



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS HUNDIMIENTOS EN LOS SUELOS DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA “PARQUE NACIONAL BARRANCA DEL CUPATITZIO” DE URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Misael Alejandro Martínez Gutiérrez.

Asesor: Ing. Anastacio Blanco Simiano.

Uruapan, Michoacán, a 19 de septiembre del 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE.

Introducción.

Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.....	3
Objetivos.....	3
Pregunta de investigación.....	5
Justificación.....	6
Marco de referencia.....	6

Capítulo 1.- Mecánica de suelos.

1.1. Historia de la mecánica de suelos.....	8
1.2. Conceptos de la mecánica de suelos.....	11
1.3. Geología.....	18
1.3.1. Formas primarias y secundarias de yacimientos.....	19
1.3.2. Formas primarias de estratificación de las rocas sedimentarias.....	21
1.4. Problemas hidráulicos de los suelos.....	22
1.5. Teoría de la consolidación.....	25
1.6. Hundimientos de suelos.....	27

1.7. Obtención de muestras de sondeos.....31

Capítulo 2.- Suelos.

2.1. Concepto de suelo.....40

2.2. Origen de los suelos y su naturaleza.....42

2.2.1 Procesos externos de la tierra.....45

2.2.2. Meteorización.....46

2.2.3. Estructura y textura del suelo.....48

2.2.4. Tipos de suelos.....49

2.2.5. Usos del suelo.....52

2.3. Clasificación e Identificación de los suelos.....53

2.3.1. Granulometría de los suelos.....55

2.3.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).....57

2.4. Identificación de suelos.....61

2.4.1. Identificación de campo de suelos gruesos.....62

2.4.2. Identificación de campo de suelos finos.....63

2.5. Propiedades de los suelos.....64

2.5.1. Estados de consistencia.....67

2.5.2. Proyección de propiedades de suelos.....	68
2.5.3. Consolidación de los suelos.....	69
2.5.4. Propiedades hidráulicas del suelo.....	70

Capítulo 3.- Resumen de macro y micro localización.

3.1. Objetivo.....	71
3.2. Alcance del proyecto.....	71
3.3. Generalidades.....	72
3.4. Macro localización.....	72
3.5. Micro localización.....	74
3.5.1. Zona de estudio.....	76
3.6. Reporte fotográfico.....	77
3.7. Estado físico actual.....	88
3.8. Alternativas de solución.....	89

Capítulo 4.- Metodología.

4.1. Método Empleado.....	90
---------------------------	----

4.1.1. Método matemático.....	93
4.2. Enfoque de la investigación.....	93
4.2.1. Alcance de investigación.....	96
4.3. Diseño de investigación.....	97
4.4. Instrumentos de recopilación de información.....	98
4.5. Descripción del proceso de investigación.....	99

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

5.1. Permeabilidad.....	101
5.2. Ecuación de Bernoulli.....	103
5.3. Ley de Darcy.....	104
5.4. Determinación en laboratorio de la permeabilidad.....	106
5.4.1. Prueba de carga constante.....	107
5.4.2. Prueba de carga variable.....	108
5.5. Movimiento del agua en el suelo.....	110
5.6. Ensayos de permeabilidad del suelo.....	114
5.6.1. Ensayo de consolidación unidimensional.....	122

5.7. Pruebas de laboratorio.....	135
Conclusiones.....	144
Bibliografía.....	148

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Los suelos conforme pasa el tiempo y sobre todo debido a las cargas nuevas que van agregándose a su propio peso hace que tengan deformaciones como pueden ser agrietamientos, hundimientos, fallas, etc. Todas estas deformaciones que afectan a los suelos tienen muchas consecuencias secundarias en las cuales se ven afectados animales, plantas, personas y sobre todo el aprovechamiento del mismo suelo para distintos usos como puede ser la construcción y la agricultura, toda estructura en general se encuentra asentada sobre los suelos, por lo tanto es de interés saber de qué manera tratar estas deformaciones y sus posibles soluciones para controlar los problemas que pueden ocasionar.

Por lo tanto, se pretende analizar una problemática que está afectando a los suelos del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” de la localidad de Uruapan, Michoacán; en donde se están sufriendo hundimientos y agrietamientos, para todo esto se requiere buscar las soluciones a estos problemas que a la larga pueden traer problemas peores y verse afectada esta reserva ecológica protegida y que tiene un gran impacto para el turismo de Uruapan, Michoacán.

Con la ayuda de la Mecánica de Suelos se buscarán los motivos que han generado estos hundimientos y las fallas, así como buscar la manera de resolver dichos problemas que están teniendo los suelos del Parque Nacional. Según Lajo (2012), se considera como hundimiento al movimiento de la superficie terrestre en el que predomina el sentido vertical descendente, todo esto tiene lugar debido a que

estos movimientos se llevan a cabo en áreas de pendiente baja. Estos hundimientos son partes de las fallas que se presentan en el área del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” por lo que se buscarán las causas que están originando este problema. Mientras que los agrietamientos son considerados como deterioros que hay en los firmes y estos pueden estar formados por una o varias discontinuidades, en ingeniería es un tema de importancia ya que se busca una solución para estas fallas, ya que son problemas que pueden afectar en la realización de obras en las que por fallas así se pueden perder vidas y recursos materiales.

En la Universidad Don Vasco, no se encontraron tesis relacionadas con el tema y las variables a tratar, sin embargo, en la Biblioteca Central Virtual de la Universidad Nacional Autónoma de México se encontraron tesis relacionadas con las variables a tratar, pero no con el tema en general, la tesis que va más de la mano al tema que se va abordar en la presente investigación lleva como título: Análisis de los hundimientos diferenciales en el sistema Churince en Cuetrocienagas, Coahuila, realizada por Mariana Rodríguez Sánchez.

Los suelos conforme al paso del tiempo y con los avances tecnológicos han sido más estudiados a detalle, por lo mismo las pruebas que se hacen ahora son de ayuda para encontrar la solución a muchos problemas que antes no era sencillo resolver, todas estas pruebas que se le hacen al suelo dan las formas y medidas en las que se va construir por lo que ayuda a trabajar con más seguridad, que es lo que un ingeniero busca en su trabajo, brindar un servicio con seguridad hacia las demás personas. Los hundimientos siempre se han encontrado presentes en la superficie terrestre ya que no es uniforme, llega a tener vacíos, fallas y debido también el

movimiento tectónico de la tierra que estos hundimientos llegan a ocurrir en cualquier parte del suelo, se deben realizar medidas para evitar estos hundimientos y que hagan llegar a la falla del suelo en general y ocurra el hundimiento.

Planteamiento del problema.

La presente investigación tiene como objetivo saber por qué se están generando todos estos problemas en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” ya que la población de la localidad de Uruapan, Michoacán en general será afectada de diversas formas:

La pregunta generada para la realización de la investigación es la siguiente: ¿Cuál es la causa de los hundimientos y agrietamientos que se han dado en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”? a la cual se le buscará una respuesta clara y precisa para dar una propuesta que beneficie al Parque Nacional. Esta investigación dará pie al seguimiento de los hundimientos y futuro aprovechamiento para la solución al problema que se tiene dentro de esta bella reserva natural, poder conservar el medio ambiente sano y que la gente se vea beneficiada al ver el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” sin falla alguna, con la tranquilidad que el turismo va agradecer los detalles y el mantenimiento que se le dará a esta falla.

Objetivos.

En la presente investigación se tienen varios objetivos, un objetivo general y varios objetivos que son particulares.

Objetivo general:

Analizar por qué en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” están sufriendo agrietamientos en las estructuras de las partes altas del parque, analizar los suelos y deslaves que se han estado presentando conforme a pasado el tiempo, dar una posible solución al problema realizando pruebas de mecánica de suelos.

Objetivos particulares:

1. Definir los conceptos principales a tratar en la presente investigación y tener un poco de la historia que tiene el Parque Nacional para ver si hay un antecedente de fallas y hundimientos pasados.

2. Analizar qué tipos de suelos en relación a los hundimientos se encuentran en el Parque Nacional.

3. Definir cuál es la posible causa de los hundimientos en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”.

4. Una vez encontrada la causa dar una solución al problema que genera los hundimientos que son generados en el Parque Nacional.

5. Determinar si tiene relación los agrietamientos que se originan por los escurrimientos del agua en la Cuenca del Rio Cupatitzio.

6. Tener en cuenta el no afectar la naturaleza y fauna del Parque Nacional con las soluciones que se propongan y las pruebas que se realicen para resolver cada uno de los objetivos.

Pregunta de investigación.

La presente investigación pretende dar solución a la problemática que se ha generado en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” que está sufriendo en la actualidad, ya que es un patrimonio natural de la localidad de Uruapan, Michoacán; por lo que se tiene la duda de:

¿Cuál es la causa de los hundimientos y agrietamientos que sufren las estructuras y que se han dado en la parte Norte del Parque Nacional?

Preguntas secundarias:

¿Qué tipo de suelos se encuentran en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”?

¿Cuáles son las consecuencias que pueden traer estos hundimientos y agrietamientos en las estructuras del sitio?

¿Cómo tratar estos problemas con la población y comerciantes del Parque Nacional?

¿Se ve afectado en general los abastecimientos de agua de Uruapan que generala la Cuenca del Rio Cupatitzio?

Justificación.

Esta investigación es importante ya que la reserva natural protegida Parque Nacional "Barranca del Cupatitzio" trae grandes beneficios a Uruapan, como son el turismo además de que muchos de los comerciantes que se encuentran dentro y fuera del Parque Nacional se ven beneficiados con el turismo que llega, ya que venden artesanías tradicionales, por lo cual este problema es muy importante resolverlo que trae grandes consecuencias a la gente que vive de la economía. Además la población de Uruapan tiene su abastecimiento de agua de la Cuenca del Río Cupatitzio que se encuentra dentro del Parque Nacional "Barranca del Cupatitzio", por lo cual la afectación del problema que hay con los hundimientos y deslaves puede afectar el cauce del río, por lo tanto, toda la población tendría graves consecuencias a este problema.

Marco de referencia.

El municipio de Uruapan del estado Michoacán cumple ahora en el 2015, 482 años de su fundación que fue realizada por el misionero de la Orden Franciscana, el seráfico Fray Juan de San Miguel. Hace 157 años el gobierno estatal del entonces General Epitacio Huerta, le otorgó el título de Uruapan del Progreso. La reserva natural protegida Parque Nacional "Barranca del Cupatitzio" se encuentra en la localidad de Uruapan, Michoacán. Esta reserva fue creada en noviembre de 1938, en el Diario Oficial de la Federación, se publicó el Decreto de Creación del Parque Nacional "Barranca del Cupatitzio", un patronato es el que se encuentra a cargo del

Parque Nacional. Se creó como tal en 1938 por la iniciativa que tuvieron dos amantes de la naturaleza y del árbol, conscientes de lo que representaban para la vida y la cultura: Lázaro Cárdenas, entonces Presidente de México y Miguel Ángel de Quevedo, quien tenía a su cargo el Departamento Forestal, de Caza y Pesca.

El Parque dejó de ser desde entonces una propiedad privada y se convirtió en un sitio de esparcimiento para la gente de Uruapan y para quienes visitaban la ciudad y la región. Posteriormente, entre 1947 y 1951, la Comisión del Tepalcatepec, llevó a cabo los proyectos y los primeros trabajos para mejorar el Parque y en los primeros años de la década de los años 60 se construyeron la mayoría de las fuentes, quioscos y puentes que hoy se cuentan entre sus principales atractivos.

En Uruapan, Michoacán, se cuenta con un clima fresco-húmedo pero este clima se ve afectado por los cambios climático ha pasado a tener un poco de clima cálido, antes el clima que se tenía hacia que lloviera durante todo el año pero todo esto se ha modificado. Aproximadamente se cuenta con una población de 135 mil habitantes. La mayor parte de la economía que produce Uruapan es el Comercio de artesanías y la exportación de Aguacate, Uruapan aún se considera como una ciudad colonial pero conforme al tiempo han entrado franquicias de centros comerciales y se han construido fábricas en las afueras de la ciudad. Gran parte de la población de Uruapan obtiene ingresos del comercio en general hay quien se dedica a la agricultura como quien es comerciante de artesanías que se realizan dentro de todo el estado de Michoacán, la mayor parte sus artesanías de madera como son: guitarras, mesas, sillas, camas, etc.

CAPÍTULO 1

MECÁNICA DE SUELOS

En el presente capítulo se abordarán los temas de la mecánica de suelos, cómo son los métodos que son utilizados en estos, las pruebas que se hacen de laboratorio y campo, la maquinaria que se utiliza para poder hacer los estudios del suelo, las teorías principales de la mecánica de suelos, conceptos generales de mecánica de suelos y así mismo cuales son los beneficios que ésta da para la ingeniería civil en general, sobre todo abordar cómo se comportan los suelos al agregar carga y construir sobre ellos, como se ve el comportamiento desde la estructura interna de los suelos, por qué fallan estos suelos y que soluciones hay para poder resolver la problemática de las fallas de los suelos.

1.1. Historia de la mecánica de suelos.

“Terzaghi dice: la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas independientemente de que tenga o no materia orgánica” (Duque, Escobar; 2002:1). Así, se puede decir que es como el padre de la mecánica de suelos, ya que, fue de los primeros hombres que comenzó a realizar investigaciones, muchas de la teorías

fueron hechas y estudiadas por él, por lo cual es una persona muy importante en para el estudio de los suelos.

La mecánica de suelos estudia lo siguiente:

- a) Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujeto a cargas, basado en simplificaciones necesarias dado el estado actual de la teoría.
- b) Investigación de las propiedades físicas de los suelos.
- c) Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

Algunos autores más importantes en la mecánica de suelos son:

- En los años 1000 A. C., la dinastía Chou iniciaron con la construcción de caminos y puentes.
- Después en el siglo XVII comenzaron a escribir las primeras obras literarias son los temas de la ingeniería de suelos y más adelante en el siglo XVIII inicia la Ingeniería Civil, esta ciencia nueva en ese entonces toma como fundamentos principales el diseño estructural.
- Vauban (1687), fue un ingeniero militar francés, el hizo reglas y fórmulas empíricas para construir muros de contención.
- Bullet (1691), también francés, hizo la primera teoría sobre empuje de tierras.
- En 1773, Coulomb (francés), relaciona la resistencia al corte con la cohesión y fricción del suelo.
- En 1857, Rankine (escocés), presenta la teoría del empuje de tierras.

- En 1856, se presenta la “Ley de Darcy” (Francia) y la “Ley de Stokes” (Inglaterra), relacionadas con la permeabilidad del suelo y la velocidad de caída de partículas sólidas en fluidos.
- Culman (1866) aplica gráficamente la teoría de Coulomb a muros de contención.
- En 1871, Mohr (Berlín) desarrolla el cálculo de esfuerzos (una representación gráfica) en un punto del suelo dado.
- 1873, Bauman (Chicago) afirma que el área de la zapata depende de la carga de la columna y recomienda valores de carga en arcillas.
- En 1885 Boussinesq (Francia) presenta su teoría de distribución de esfuerzos y deformaciones por cargas estructurales sobre el terreno.
- En 1890, Hazen (USA) mide las propiedades de arenas y el cascajo para filtros.
- En 1906, Strahan (USA) estudia la granulometría para mezclas en vía.
- En 1906, Müller, experimenta modelos de muros de contención en Alemania.
- En 1908, Watson (USA), investiga las cargas en tuberías enterradas.
- En 1911, Atterberg (Suecia), establece los límites de Atterberg para suelos finos.
- En 1913, Fellenius (Suecia), desarrolla métodos de muestreo y ensayos para conocer la resistencia al corte de los suelos y otras propiedades, además desarrolla el método sueco del círculo para calcular la falla en suelos cohesivos.

- En 1925, Terzaghi, presenta en Viena el tratado Erdbaumechanik que hace de la Mecánica de Suelos una rama autónoma de la Ingeniería. El científico de Praga, Karl Terzaghi, es el padre de la Mecánica de Suelos.

1.2. Conceptos de la mecánica de suelos.

En la mecánica de suelos el estudio principal es la teoría de la deformación. De acuerdo con Duque Escobar (2002), define a la deformación de un cuerpo, como el cambio de la forma o volumen bajo la influencia de fuerzas externas; en la corteza terrestre pueden presentarse elásticamente o residualmente.

Algunos conceptos importantes son los siguientes:

- **Elasticidad:** Es una propiedades de los cuerpos sólidos, estos pueden modificar su forma y volumen bajo la influencia de efectos físicos, y recobrar completamente su estado geométrico al eliminarlos.
- **Deformación elástica:** Es la que adquiere un cuerpo sólido que al dejar de obrar los efectos físicos recupera su forma original. En todas las deformaciones existe un límite de elasticidad que si se supera, surge una deformación residual que no desaparece completa o parcialmente al eliminar las fuerzas que la han causado. Las fuerzas interiores que surgen en el cuerpo y tienden a equilibrar la acción de las fuerzas exteriores se llaman fuerzas de elasticidad.

- **Deformaciones residuales:** Pueden ser plásticas o frágiles, será plástica cuando esta deformación se revele sin interrupción de la continuidad del material y se forme como el resultado de la acción de fuerzas externas y será frágil, si las deformaciones conducen a la destrucción del cuerpo sin una deformación plástica notable.

El suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración o alteración química de las rocas y de los residuos sobrantes de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan.

Los agentes físicos que producen estos cambios en las rocas son:

1. El sol: Ya que calienta más su exterior que su interior, provocando diferencias de expansión que generan esfuerzos muy fuertes, los cuales dan como resultado un rompimiento de la capa superficial y el desprendimiento de la misma, este proceso es conocido como exfoliación y cambia de carácter en diferentes localidades, a distintas alturas sobre el nivel del mar y en las diversas épocas de cada año, y con cada tipo de roca.
2. El agua: Y que el movimiento es un importante elemento de erosión, al arrastrar los fragmentos angulosos de las rocas y provocar la fricción de unos con otros, haciéndolos redondeados como los cantos rodados de los ríos, también deja sentir sus efectos cuando, en forma de lluvia, cae en las superficies pétreas, llena sus cavidades, abre grietas y tiende a llenar los espacios huecos de las rocas. El impacto directo del agua

sobre las rocas, como el que provoca el oleaje, también es causa de erosión de las mismas.

3. El viento: Contribuye a la erosión del suelo, cuando arrastra arenas, como el caso de los médanos y los loess.

Los principales tipos de los suelos:

- **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas, las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3") hasta 2.0 mm.
- **Arenas:** La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea.
- **Limos:** Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005mm. Su color varía

desde gris claro a muy oscuro, la permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta.

- **Arcillas:** Son partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua, químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. Su estructura es cristalina y complicada, sus átomos están dispuestos en forma laminar. Se considera como arcillas a las partículas menores a 0.002 mm.

Además otra parte importante de los suelos es la cohesión, que es la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas, estos serían los suelos cohesivos. Y los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.

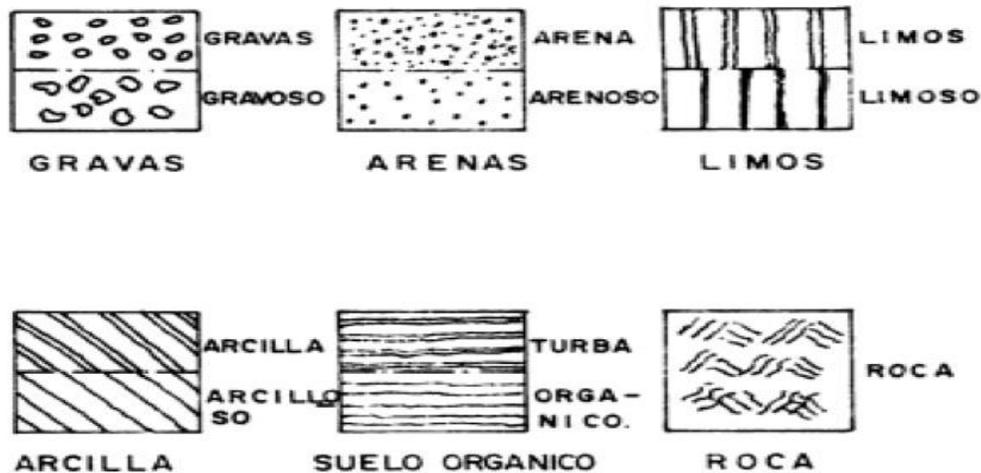


Imagen 1.01. Suelos cohesivos y suelos no cohesivos.

Fuente: Crespo; 2004:27.



Imagen 1.02. Combinaciones de suelos.

Fuente: Crespo; 2004:27.

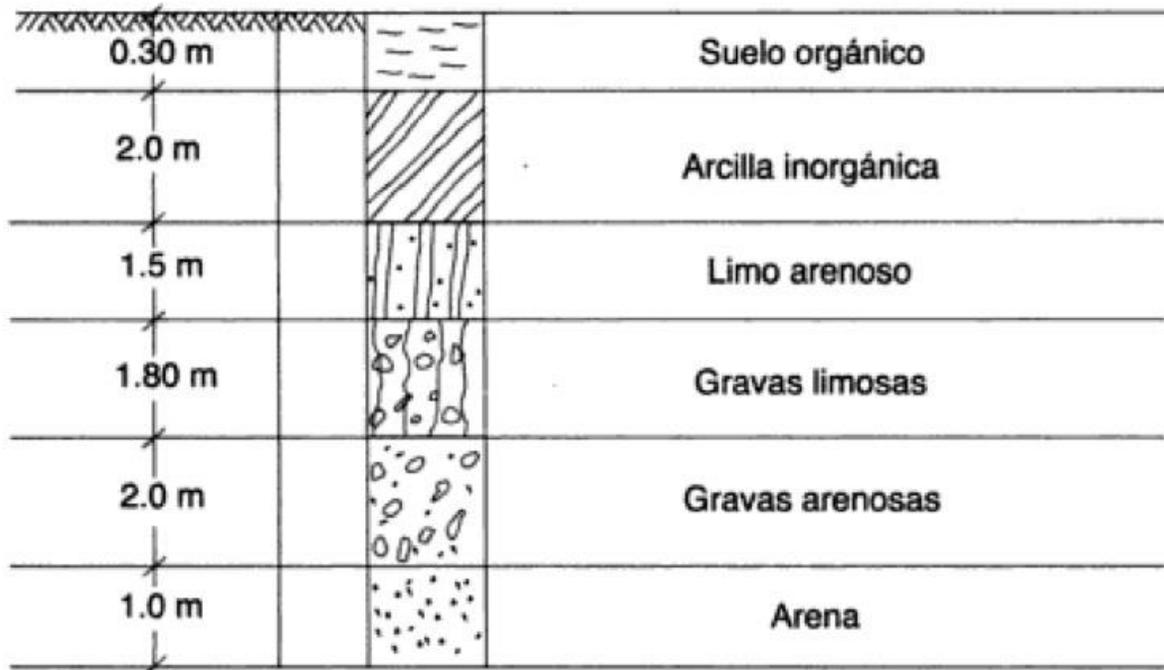


Imagen 1.03. Estratigrafía de sondeos.

Fuente: Crespo; 2004:27.

La geología que es la principal ciencia que estudia a los suelos y la corteza terrestre en general, para las deformaciones plásticas, considera la viscosidad de las rocas además de fenómenos de relajación y fluencia. Como menciona Duque Escobar (2002), la relajación es expresada como la caída de tensiones en el cuerpo, la cual mantiene constante a la deformación plástica, esto trata de un reacomodo que se lleva a cabo de partículas del cuerpo que se desplaza en el proceso de la deformación plástica hasta que este encuentra un equilibrio y la desaparición de tensiones internas. La relajación se lleva a cabo mediante una transformación continua de la deformación elástica a una residual plástica.

Cargas externas	Tensiones		Tipo de fractura durante la destrucción	
	$\pm \sigma_{m\acute{a}x}$	$\tau_{m\acute{a}x}$	de $+\sigma_{m\acute{a}x}$	de $\tau_{m\acute{a}x}$
Tracción				
Compresión				
Desplazamiento				

Imagen 1.04. Esfuerzos y deformaciones de un cuerpo por cargas externas.

Fuente: Belousov; 1979:44.

La fluencia del material es una deformación plástica que transcurre prolongadamente a tensiones constantes que no superan el límite de plasticidad. La esencia de éste fenómeno es la reagrupación de las partículas del cuerpo bajo la influencia de una carga constante, transformándose de manera ininterrumpida la

deformación elástica en plástica. Pero como la carga se mantiene la deformación elástica se repone hasta el estado anterior.

Las formas más típicas de aplicar esfuerzos a un material son dos:

1. Cargando el material a corto plazo hasta obtener su ruptura, aquí se incrementa el nivel de esfuerzos gradualmente hasta obtener la falla.
2. Dejando sometido el material por un tiempo considerable a un esfuerzo que no le causa la ruptura, en esta forma no se modifica el nivel de esfuerzos a largo plazo.



Imagen 1.05. Carga creciente instantánea y carga constante prolongada.

Fuente: Gonzalo; 2002:228.

- **En la de corto plazo y esfuerzo creciente:** La curva de esfuerzo – deformación entre O y A muestra que la deformación es proporcional al esfuerzo; si se supone la carga, antes de A, el material va recuperar su forma regresando a O; pero si A es el límite elástico, entre A y B, el

material mostrará una región de cedencia y después de B una de endurecimiento, ambas dentro de la zona plástica.

- **A largo plazo y esfuerzo constante:** El comportamiento del material es que el cuerpo que se cargue con un esfuerzo S_0 que se mantendrá constante, manteniendo su valor dentro de la zona elástica, durante un largo tiempo, las partículas del material se reacomodan internamente, de tal manera que suspendido el esfuerzo en B, queda una deformación residual d_0 . Entonces se dice que el material entró en fluencia.

1.3. Geología.

“La geología es una parte de la geotectónica, es decir, de la asignatura geológica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar” (V. Belousov; 1979:5). La corteza terrestre se encuentra compuesta de rocas que constituyen cuerpos de formas diversas, por ejemplo, las rocas sedimentarias yacen en forma de estratos, los cuales pueden ser horizontales, inclinados o encorvados en pliegues. Las rocas magmáticas intrusivas forman cuerpos en forma de domos, cilindros, gotas grandes invertidas, filones ramificados, etc. Toda la corteza terrestre se compone de cuerpos adyacentes formados por rocas diferentes.

El objetivo de la geología es estudiar las formas de yacimiento de rocas y de las formas estructurales que estas tienen, se estudia ante todo el aspecto exterior y

la morfología de las formas estructurales que tienen. El resultado del estudio es la clasificación de estas de acuerdo a sus indicios morfológicos y observar la cinemática de la formación de sus estructuras, se estudian los desplazamientos del material de la corteza terrestre que motivaron directamente el origen de formas estructurales concretas.

La importancia de la geología en las disciplinas geológicas es muy grande, debido a que sin tener un conocimiento previo de la morfología de las formas estructurales no será posible llevar a cabo un levantamiento geológico, ya que los geólogos casi siempre se ven obligados a restablecer el aspecto por completo de las formas estructurales basándose en las observaciones de fragmentos de afloramientos aislados, si no logra enlazar dichos fragmentos no podrá completar un levantamiento geológico.

1.3.1. Formas primarias y secundarias de yacimientos.

Los cuerpos formados por las rocas en la corteza terrestre son denominados formas de yacimientos de las rocas, o formas estructurales. Estas formas estructurales pueden ser de origen primario o secundario. De acuerdo con V. Belousov (1979), las deformaciones que tiene como resultado la formación de estructuras secundarias reciben el nombre de dislocaciones o alteraciones (se entiende que se trata de la alteración de la forma primaria de yacimiento de las rocas). Con términos parecidos se denominan los resultados de las deformaciones, es decir, a las propias formas secundarias de yacimiento.

El origen de fuerzas suscitadoras de las dislocaciones o alteraciones pueden ser fuerzas que surgen en el interior de la roca, un ejemplo sería, al aumentar o disminuir su volumen al absorber agua o desecarse, en otros casos son el resultado de algunos procesos químicos, cristalización, etc. La forma primaria de yacimiento puede ser alterada bajo la influencia de fuerzas “externas” respecto al cuerpo geológico, mientras que en la parte más importante de las formas secundarias de yacimiento, que son los resultados de los movimientos tectónicos, es decir, por las dislocaciones del material de la corteza terrestre, suscitadas a su vez por fuerzas tectónicas, estos resultados son el objetivo principal de los estudios geológicos. La naturaleza de estas últimas no puede ser considerada clara por completo, pero se sabe que son suscitadoras de la compresión tracción o desplazamiento simultaneo en volúmenes considerables de rocas, y no sólo en las proximidades de la superficie, sino que también a gran profundidad, muchos movimientos tectónicos abarcan todo el espesor de la corteza terrestre y otros, una parte considerable de éste. Las formas secundarias de yacimiento de las rocas se dividen en no tectónicas y tectónicas, también son denominadas como perturbaciones o dislocaciones tectónicas.

La clasificación de las formas estructurales en primarias y secundarias es suficientemente evidente en lo que se refiere a las rocas sedimentarias, cuando con el mismo objetivo se recurre a las rocas magmáticas, en donde hay dificultades. El desplazamiento del magma líquido en la corteza terrestre se puede considerar como una de las formas de movimientos tectónicos que tienen lugar en un ambiente de extraordinaria fluidez, desde este puntos de vista, cualquier forma de yacimiento de

las rocas magmáticas (tronco, pivote, lacolito, dique, manto, etc.) es, resumidamente una forma secundaria.

1.3.2. Formas primarias de estratificación de las rocas sedimentarias.

La forma primaria de estratificación de las rocas sedimentarias es la capa horizontal, se denomina capa a un cuerpo de naturaleza sedimentaria cuya superficie es considerable, su espesor es relativamente pequeño y está limitada por las superficies divisorias que lo separan de otros cuerpos geológicos adyacentes. El grosor (espesor) de la capa puede variar desde algunos centímetros hasta varios metros, mientras que en las direcciones horizontales la capa puede extenderse en centenares de metros o hasta en kilómetros. Uno de los rasgos obligatorios de la capa es la conservación de una misma composición en toda su extensión. Las pilas sedimentarias son estratiformes, es decir, se encuentran constituidas por una sucesión de capas que yacen unas sobre otras, toda capa suprayacente es de creación posterior a la capa inferior.

Como menciona V. Belousov (1979), la estratificación se observa en las pilas homogéneas, por ejemplo, en las pilas continuas de calizas, en estos casos los límites entre las capas se manifiestan solamente en las superficies de separación, ya que no existe ninguna sucesión de rocas. A la superficie inferior de la capa se le denomina muro o piso y a la superior, techo.

1.4. Problemas hidráulicos de los suelos.

Debido a la interacción que tiene el suelo y el agua, surgen varios problemas en la Ingeniería:

1. Cálculo de la cantidad de agua que se filtra a una excavación abierta para la construcción de una obra o de la cantidad de agua embalsada que se perderá por filtración a través de un dique o su fundación.
2. La influencia que la permeabilidad ejerce sobre la velocidad con que drena el agua de un estrato de arcilla cargada.
3. Efecto de las presiones de filtración que se ejerce sobre la estabilidad de taludes y fundaciones.

De acuerdo con Terzaghi (1978), la solución para los problemas mencionados está basada en la hipótesis que tiene la masa del suelo por donde escurre el agua, es homogénea o se encuentra compuesta por algunos estratos homogéneos con límites bien definidos. Estas hipótesis derivan las teorías que estudian los empujes de tierras, la estabilidad, rotura y asentamientos; aunque las hipótesis de los problemas hidráulicos son totalmente diferentes.

Los empujes, la estabilidad y los asentamientos dependen del término medio de los valores de las propiedades del suelo que se encuentran involucradas a una gran dispersión con respecto al término medio, esto tiene pocas consecuencias prácticas. Al tratarse de problemas hidráulicos, detalles geológicos que son insignificantes puede causar graves problemas en el volumen de la filtración como en la distribución de las presiones de filtración producidas en el suelo.

Todos los estratos naturales del suelo y todos los terraplenes artificiales contienen inclusiones de material con permeabilidad baja o muy alta, la presencia de estas inclusiones es difícil determinarla, al igual de los límites horizontales de estas inclusiones que solo puede ser objeto de conjeturas. Por lo tanto, las diferencias entre la realidad y los resultados que se obtienen de las investigaciones donde se involucra la filtración de agua en el suelo resultan importantes, los detalles y cuidados con que se haya explorado el subsuelo. La buena ingeniería exige seguir el siguiente procedimiento cuando se tienen problemas hidráulicos:

- El proyecto debe ejecutarse basándose en los resultados de una investigación hidráulica realizada correctamente.
- Tener cuidado durante el periodo de la construcción.
- Hacer observaciones en la obra que determinen hasta qué punto, las condiciones hidráulicas reales del subsuelo sean diferentes de las que son supuestas.
- Si las observaciones indican que las condiciones reales son menos favorables que las que se previnieron, el proyecto debe ser modificado registrando los nuevos conocimientos.

En el análisis la filtración de agua por el suelo obedece a la ley de Darcy y el suelo está constituido por un material relativamente incompresible como la arena, arena limosa o limo.

Como menciona Forch-Heimer (1917), para calcular la cantidad de filtración, es necesario determinar la intensidad y la distribución de tensiones neutras,

conocidas comúnmente como supresiones o presiones del agua de los poros. Estas tensiones pueden terminarse construyendo una red de líneas de corriente y de líneas equipotenciales, esta red es conocida como la red de filtración y representa la filtración del agua en un suelo incompresible.

Para ilustrar el método, se calcula la cantidad de agua que por filtración pasa al interior de un recinto estanco construido dentro de un lago con el tablestacado indicado. Se supone que la fila de tablestacas es impermeable y que las mismas han sido hincadas, hasta una profundidad D , en un estrato homogéneo de arena de espesor D_1 , el cual descansa sobre una base horizontal impermeable, se supone que la carga hidráulica h_1 , se mantiene constante. El agua que entra en la arena del lado agua arriba recorre caminos curvos que son llamadas líneas de corriente, una de las cuales se ha marcado con flechas y denominado AB.

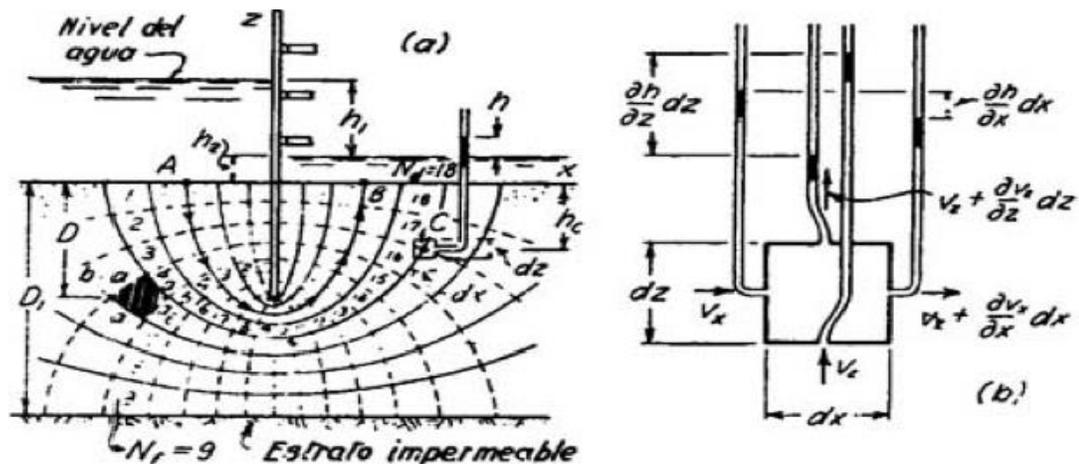


Imagen 1.06. (a) Filtración del agua por debajo de la punta de una fila única de tablestacas en arena homogénea, (b) presiones hidrostáticas actuantes en las cuatro caras del elemento de arena indicado en (a).

Fuente: Terzaghi; 1978:194.

1.5. Teoría de la consolidación.

La tensión o presión unitaria que produce la consolidación se denomina tensión o presión de consolidación. En el instante en que se aplica la carga, la presión de consolidación viene casi enteramente resistida por el agua que llena los poros del suelo, de modo que, al iniciarse el fenómeno, existe en la arcilla una sobrepresión hidrostática casi igual a la tensión de consolidación, con el pasar del tiempo la sobrepresión del agua disminuye, con lo cual aumenta la presión efectiva.

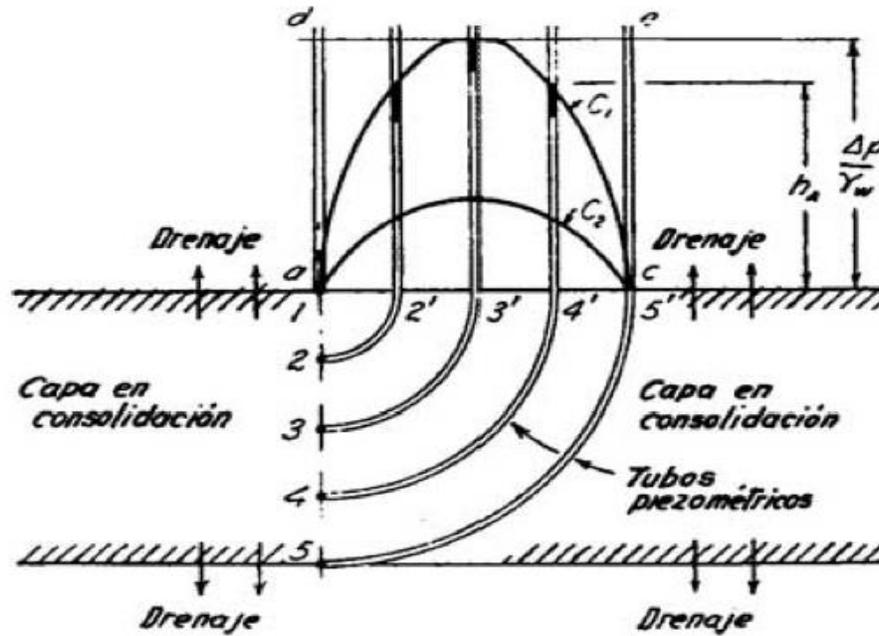


Imagen 1.07. Diagrama que ilustra la consolidación de una capa compresible de arcilla.

Fuente: Terzaghi; 1978:197.

Para calcular la velocidad y el grado de consolidación U por ciento se hacen las siguientes hipótesis:

1. El coeficiente de permeabilidad K es constante en cualquier punto del estrato que se consolida y no varía con el progreso de la consolidación.
2. El coeficiente de compresibilidad volumétrica m_v es constante en cualquier punto de la capa que se consolida y no varía con el progreso de la consolidación.
3. El drenaje del agua se produce solo siguiendo líneas verticales.
4. La lentitud con que se produce la compresión tiene por causa exclusiva la baja permeabilidad del material.

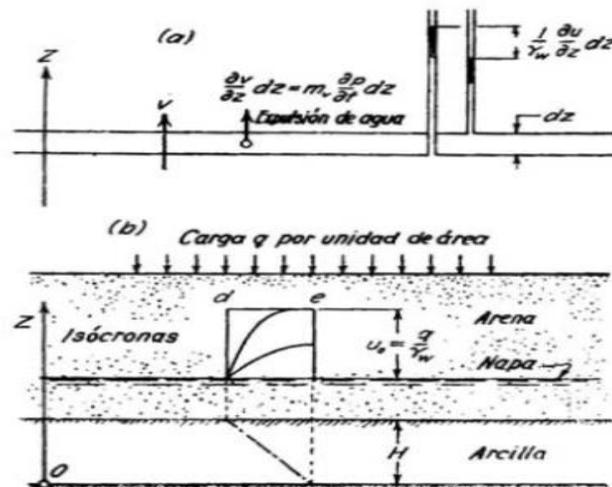


Imagen 1.08. (a) Sección vertical de un elemento delgado de una capa en consolidación, en la que se indican las presiones hidráulicas en los bordes del elemento, (b) corte vertical por la capa de arcilla en consolidación, en donde se indican las condiciones hidráulicas de borde.

Fuente: Terzaghi; 1978:200.

1.6 Hundimientos de suelos.

Los suelos se encuentran sometidos a diversos movimientos ya sean provocados por cargas que se le agregan o por fenómenos mecánicos que tienen ellos mismos. De acuerdo con Caroca (2013), se define como hundimientos de suelos a los movimientos de la superficie terrestre en el que predomina el sentido vertical descendente y que tiene lugar en áreas de muy baja pendiente, este movimiento puede ser inducido por distintas causas y se puede desarrollar con velocidades rápidas o lentas según sea el mecanismo que da lugar a tal inestabilidad. Estos movimientos si son lentos y afectan una superficie amplia con frecuencia se habla de que existe la subsidencia, si el movimiento es rápido se le llama solo colapso.



Imagen 1.09. Subsidencia.

Fuente: Caroca; 2013:3.

Las causas de la subsidencia son:

1. La deformación que se identifica con una fractura de los materiales rocosos, que está acompañada de un desplazamiento de los bloques

fallados. Estas fallas se producen como consecuencia a esfuerzos tectónicos compresivos y distintivos en los que, los esfuerzos mayores se producen en la horizontal (compresión) o en la vertical (distensión).

2. Variaciones en el nivel freático o en el estado de humedad del suelo.

Las causas de los colapsos son:

1. Implican el fallo de la estructura geológica que sostiene una porción del terreno bajo el cual existe una cavidad, esto como consecuencia de la disolución de las rocas hasta el límite de la resistencia de los materiales, algún vacío por acuíferos o por el debilitamiento por meteorización física o química de una estructura.
2. Son comunes los hundimientos en donde la roca que está debajo de la superficie es de material calizo, carbonato, de sales o disueltas naturalmente por la misma circulación que hay de agua subterránea.
3. La apariencia de los hundimientos impresiona, ya que la tierra se mantiene usualmente intacta, hasta que los espacios dentro de la tierra subterránea son grandes para seguir dando suficiente apoyo a la tierra de la superficie, si no se cuenta con apoyo suficiente para la tierra que se encuentra sobre los espacios y cavidades subterráneas, entonces puede ocurrir un colapso súbito en la tierra.



Imagen 1.10. Colapsos.

Fuente: Caroca; 2013:6.

Las características de los hundimientos son las siguientes:

- La zona que es afectada por el hundimiento tendrá una superficie mayor que la superficie la proyección horizontal que lo provoca. Aparecen efectos de tracción (desgarramientos) hacia los bordes de la zona y efectos de compresión en su parte central.
- Estas características dependerán de la profundidad de la labor y del valor del ángulo límite. Los bordes de la zona afectada dominan los efectos de desgarramiento, mientras que en el interior dominan los de compresión y en algunos movimientos laterales.

- Los efectos de desgarramiento y compresión limitarán a los bordes de la zona afectada, mientras que la zona central sufrirá un hundimiento uniforme y no se verá sometida a movimientos laterales.

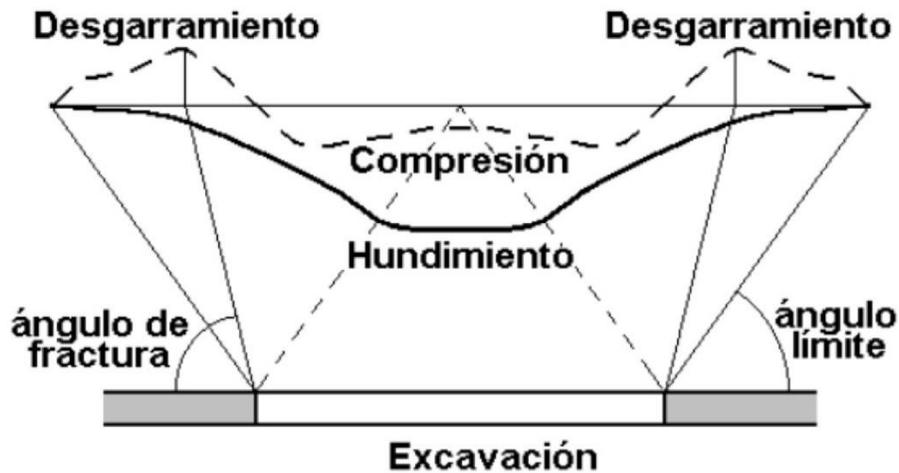


Imagen 1.11. Como se lleva a cabo los hundimientos a causa de vacíos.

Fuente: Caroca; 2013:13.

Los hundimientos en contra del tiempo confirman que las deformaciones producidas tienen un comportamiento similar al de un material deformable sometido a cargas, los valores obtenidos en cada caso van a depender de las condiciones particulares del mismo, la forma de los diagramas de deformación es la misma.

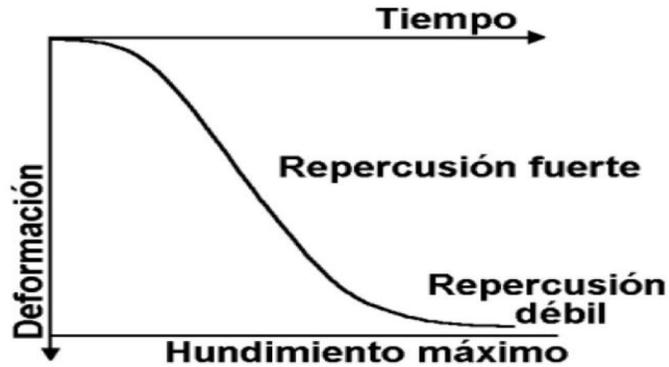


Imagen 1.12. Hundimientos vs Tiempo.

Fuente: Caroca; 2013:15.

El hundimiento de los suelos es causado en mayor medida por actividades que lleva a cabo el hombre, principalmente al remover el agua subterránea, en resumen se generan como se menciona anteriormente por la causa de pérdida de agua en tierra orgánica, la erosión de la piedra caliza subterránea, minería subterránea y las extracción de agua subterránea y de petróleo.

1.7. Obtención de muestras de suelos.

De acuerdo con Crespo (2004), para poder determinar las propiedades de un suelo en laboratorio es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo, un muestreo adecuado y representativo es de primordial importancia, pues tiene el mismo valor que el de los ensayos en sí. La muestra que se obtiene debe ser verdaderamente representativa de los materiales que se pretende usar, cualquiera de los análisis de la muestra sólo será aplicable a la misma muestra y no al material

del cual procede, de ahí la necesidad de que el muestro sea efectuado por conocedores.

Las muestras pueden ser de dos tipos:

- Alteradas: Cuando no guarda la mismas condiciones que cuando se encontraban en campo (terreno) de donde se procede.
- Inalterada: Todo lo contrario, conserva las propiedades que tiene en el campo (terreno).

Para poder obtener muestras alteradas, el muestreo se debe efectuar según el fin que persiga, para tomar muestras individuales de un sondeo a cielo abierto (el cual es un pozo de 1.50 m x 1.50 m de sección y de la profundidad requerida) se efectúa el siguiente procedimiento:

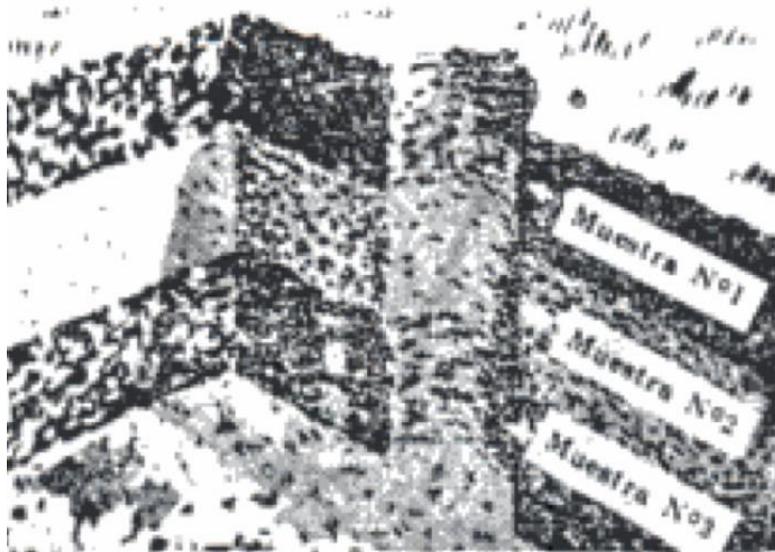


Imagen 1.13. Muestras del suelo del pozo abierto por realizar.

Fuente: Crespo; 2004:31.

- a) Se debe rebajar la parte seca y suelta del suelo con el propósito de obtener una superficie fresca.
- b) Tomar una muestra de cada capa en un recipiente y se coloca una tarjeta de identificación.
- c) Las muestras se envían en bolsas a laboratorio.



Imagen 1.14. Muestras individuales mediante perforaciones con barrena.

Fuente: Crespo; 2004:32.

- a) Se coloca el suelo excavado en hilera con el orden necesario.
- b) Se toma una porción representativa de cada clase de suelo encontrado y se colocan en bolsas separadas con su identificación que le corresponda.
- c) Las bolsas con material se envían a laboratorio.



Imagen 1.15. Muestras integrales, en zanjas abiertas o de cortes.

Fuente: Crespo; 2004:32.

- a) Se retira la capa de despalle superficial.
- b) Se quita el material seco y suelto para obtener una superficie fresca de donde obtener la muestra.
- c) Se extiende una lona impermeable al pie del talud para recoger la muestra.
- d) Se excava un canal vertical de sección uniforme desde la parte superior hasta el fondo, depositando el material en la lona impermeable.
- e) Se recoge todo el material excavado, se coloca en una bolsa con su etiqueta de identificación y se envía a laboratorio.



Imagen 1.16. Muestras integrales procedentes de perforaciones.

Fuente: Crespo; 2004:33.



Imagen 1.17. Muestras obtenidas de material acordonado, se contra y envasa el material de toda una sección.

Fuente: Crespo; 2004:33.

Para muestras inalteradas, el caso más simple corresponde al de cortar un determinado trozo de suelo del tamaño deseado (normalmente de 0.30 m x 0.30m x 0.30m), cubriéndolo para evitar humedad y empacándolo para enviarlo a laboratorio.

- a) Se limpia y alisa la superficie del terreno y se marca el contorno del trozo (Imagen 1.18).

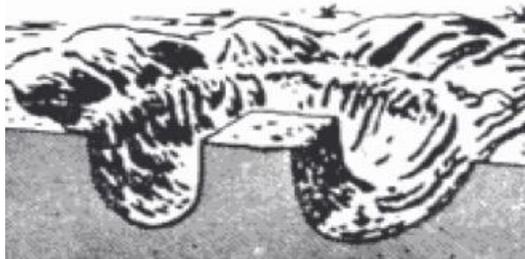


Imagen 1.18.

Fuente: Crespo; 2004:34.

- b) Se excava una zanja alrededor de esto.
- c) Se ahonda la excavación y se cortan los lados del trozo (Imagen 1.19) empleando un cuchillo de hoja delgada.

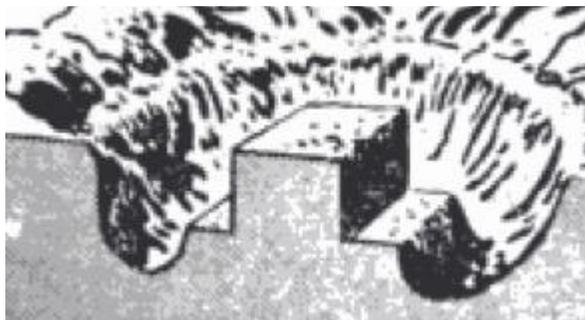


Imagen 1.19.

Fuente: Crespo; 2004:34.

- d) Se corta el trozo con el cuchillo y se retira del hoyo.
- e) La cara del trozo extraído que corresponda al nivel del terreno se marca con una señal cualquiera para conocer la posición que ocupaba en el lugar de origen (Imagen 1.20).

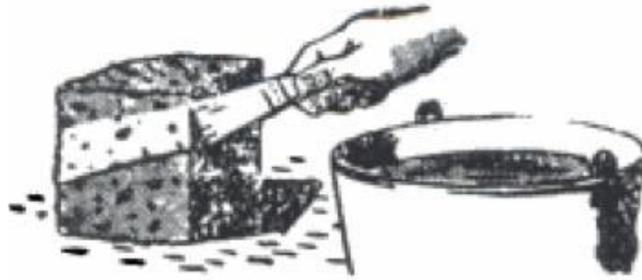


Imagen 1.20.

Fuente: Crespo; 2004:35.

- f) Si la muestra no va a ser usada pronto, necesita una protección adicional a las tres capas de parafina ya indicadas. Hecho esto se sumerge la muestra entera en parafina fundida (Imagen 1.21).



Imagen 1.21.

Fuente: Crespo; 2004:35.

g) Sumergida la muestra repetidas veces en la parafina fundida (Imagen 1.22).

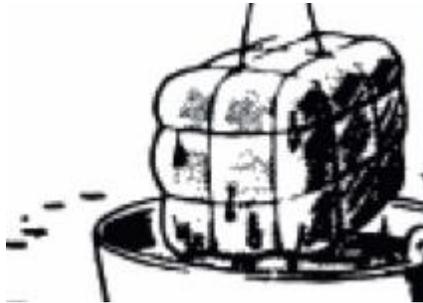


Imagen 1.22.

Fuente: Crespo; 2004:35.

h) La protección mencionada consiste en recubrir la mezcla con 1.27 cm (1/2"), como mínimo. De parafina y empacarla con aserrín, paja o papel en una pequeña caja (Imagen 1.23).

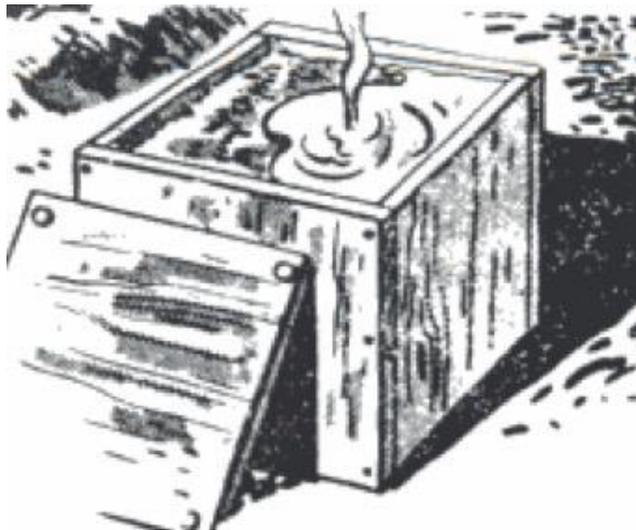


Imagen 1.23.

Fuente: Crespo; 2004:35.

Para obtener una muestra inalterada de la pared de un sondeo a cielo abierto o de la pared de un corte, el procedimiento que debe seguirse es el siguiente:

- a) Se limpia y alisa cuidadosamente la cara de la superficie y se marca el contorno.
- b) Se excava alrededor y por atrás dándole forma al trozo con un cuchillo de hoja delgada (Imagen 1.24).
- c) Se corta el trozo con el cuchillo y se retira del hoyo cuidadosamente, se marca la cara superior.
- d) Se emparafina para su traslado a laboratorio.

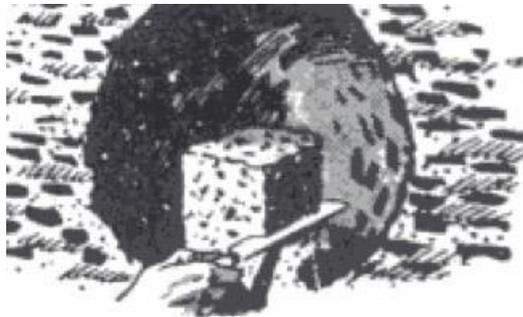


Imagen 1.24.

Fuente: Crespo; 2004:36.

La excavación de pozos a cielo abierto rinde siempre una información correcta, pues permite la inspección visual de los estratos del suelo, la mayoría de las investigaciones del suelo requieren estudios del terreno a profundidades mayores que las que pueden ser alcanzadas con excavaciones a cielo abierto. El procedimiento usual de la excavación a la profundidad donde se construirán los cimientos no da ninguna información respecto a la naturaleza del terreno que quedará debajo de los cimientos.

CAPÍTULO 2

SUELOS

En el presente capítulo, se abordará en general el concepto de suelo ya que es un tema muy importante a tratar en la presente investigación porque es en el medio donde surge la problemática a resolver todo esto debido a varios fenómenos que sufre el suelo tanto por el tiempo que tiene y el uso que se le da. Así que es importante saber la mecánica de suelos que se utiliza para resolver toda problemática con este medio y sea claro en esta investigación darle al lector las bases que se usarán para dar respuesta al problema así como una posible solución.

2.1. Concepto de suelo.

En Ingeniería Civil la rama que se encarga del tratado del suelo es la Geología y por definición del suelo se tiene que: “El suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización; representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de esta definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie.” (Juárez Badillo; 2005: 34)

Es importante comprender que los suelos son muy importantes en general para todos, ya que toda estructura realizada para beneficios de los seres vivos que

es el trabajo de un Ingeniero Civil están apoyadas y soportadas por el suelo, por lo cual es de vital importancia poder entenderlo, pero sobre todo saber estudiarlo porque interesa saber cómo se va comportar y cuáles son sus características ya que son varios los tipos de suelos que se encuentran sobre la superficie terrestre los cuales cuentan con características diferentes y, por lo tanto, reaccionan diferente ante los usos que los Ingenieros les dan en su trabajo.

En Ingeniería los suelos son considerados como sustratos sobre los cuales se realizan diferentes tipos de obras por lo que importan mucho las características físico-químicas, en mayor importancia las propiedades que son mecánicas. Se considera al suelo como un sistema multifase formado por:

- **Fase Sólida:** Es el esqueleto de la composición del suelo.
- **Fase Líquida:** Generalmente agua.
- **Fase Gaseosa:** Generalmente aire.

La fase líquida y gaseosa se encuentran dentro de los vacíos que se encuentran entre las partículas que conforman el suelo que lleva como nombre la relación de vacíos, tema importante a tratar en la Mecánica de Suelos. De forma general se puede decir que los suelos constan de cuatro componentes principales: materia mineral, materia orgánica, agua y aire. Estos componentes se encuentran íntimamente mezclados de tal manera que su separación es difícil.

2.2. Origen de los suelos y su naturaleza.

De acuerdo con Rico Rodríguez (2005), los suelos al ser unos conjuntos de partículas minerales que se generan al sufrir la descomposición y desintegración de las rocas presentan dos propiedades para poder comprender como se comportan:

- 1) El conjunto posee una organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En general, en los valores de las propiedades, verticalmente ocurren cambios mucho más rápidos que horizontalmente.
- 2) La organización de las partículas minerales es tal que el agua, que como se sabe está presente en todo suelo en mayor o menos cantidad, puede, si hay la suficiente, tener “continuidad”, en el sentido de distribución de presiones. El agua no ocupa huecos aislados, sin intercomunicación; puede llenar todos los poros que dejan entre si las partículas minerales y que se intercomunican, de manera que el agua forma una masa continua que contiene al mineral en su seno.

Bañón Blázquez (2001), señala que los suelos son provenientes de la alteración mecánica y química de las rocas que se encuentran en mayor cantidad en la superficie de la corteza terrestre, a este proceso se le llama meteorización, este proceso favorece al transporte de los materiales que forman los suelos, a partir del cual se consolidará el suelo por diferentes procesos. Es importante entender que los suelos al estar formados por la desintegración y descomposición de las rocas no siempre van a poder ocupar todos los espacios dentro de la composición del suelo,

siempre se van a encontrar vacíos que son ocupados por aire si es un suelo seco y por agua si se encuentra con humedad. Todo esto importa ser estudiado porque la mayoría de las veces que se sufren fallas y hundimientos en los suelos son generados por los espacios que se van creando entre las partículas que conforman el suelo además de que todos los suelos poseen características y propiedades diferentes porque su origen y formación no es el mismo. En la siguiente imagen se muestra la clasificación de la composición del suelo.

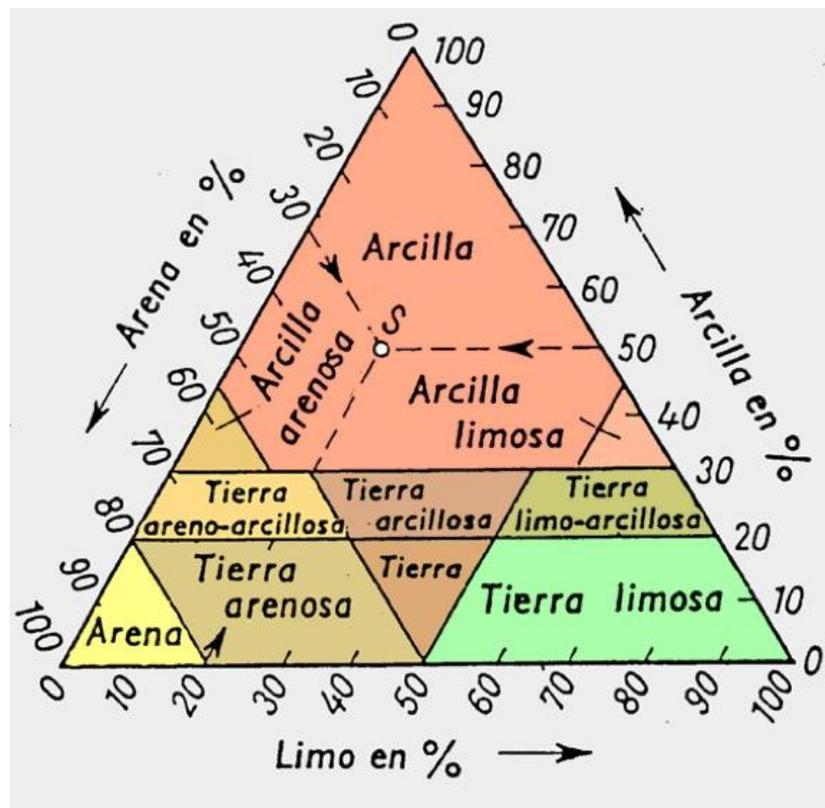


Imagen 2.01. Clasificación de la composición del suelo.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-2.

La tierra se encuentra conformada según Tarbuck (2013), el suelo cubre la mayor parte de la superficie terrestre con el 50% de toda la superficie terrestre,

mientras que el agua ocupa un 25 % y el aire el otro 25%, en el suelo el material mineral ocupa el 45% y el otro 5% es de materia orgánica. El suelo es un recurso esencial que a menudo se da por descontado y es muy importante, no es un organismo que tenga vida pero es el medio donde se desarrolla mucha vida, ya que sobre él se encuentra toda la vegetación habida en la superficie terrestre y por consecuente incluye la vida animal. Se considera al suelo como un puente de vida, este proceso se lleva acabo después de la meteorización y otros procesos que sufre la tierra.

Para todo esto, según Rico Rodríguez (2005), los suelos pueden ser residuales o transportados, ya que se pueden generar en el mismo lugar o en lugar diferente. Los medios por los cuales pueden ser transportados ocurren en el agua y en el aire ya que la sedimentación que se da en estos elementos naturales que tienen la función de medio de transporten hacen que los suelos se generen en otro sitio diferente al de su nacimiento. Por lo tanto, al haber estos tipos de suelos hacen que la estructura interna de los suelos se diferente ya que los que no son transportados y que quedan en lugar de nacimientos al ser de la misma roca madre conservan características iguales, mientras que los suelos que son transportados hacen contactos con diferentes tipos de suelos los cuales tienen características muy diferentes y son mezclas de diferentes tipos de suelos. En general los estudios de Mecánica de Suelos estudian los suelos que son transportados que son los que se encuentran en mayor cantidad sobre la superficie de la tierra y a los cuales deben realizarse diferentes tipos de estudios para poder saber el comportamiento de cada tipo suelo.

“Un perfil de suelo es un corte transversal vertical desde la superficie a través de todos los horizontes del suelos y hasta la roca madre, los horizontes solo las capas que dividen el suelos en zonas. Desde la superficie hacia abajo, se designan como O, A, E, B y C; estos cinco horizontes son comunes en los suelos de la regiones templadas, estas características varían dependiendo de la región” (Tarbuck; 2013: 219). Dependiendo de cada perfil del suelo se van teniendo características diferentes y sus propiedades van cambiando conforme van bajando los horizontes, pero se tiene en cuenta que la capa superficial del suelo y el subsuelo forman el llamado solum o “suelo verdadero”.

2.2.1. Procesos externos de la tierra.

La Tierra se considera un organismo dinámico, ya que sufre muchos procesos externos, estos procesos externos actúan de diferente manera sobre la Tierra y son los procesos que forman los suelos, causan los movimientos que sufra la tierra y llevan a cabo la descomposición de ella misma. Todos estos procesos son energía que se libera poco a poco del interior de la Tierra de diferentes formas.

Según Tarbuck (2013), los procesos externos que sufre la tierra son la meteorización, los procesos gravitacionales y la erosión, estos procesos externos se llevan a cabo en la superficie terrestre y en las capas más próximas a ella. Todos estos procesos se dan por acción de la energía solar, estos fenómenos conforman el ciclo de las rocas ya que son los responsables de la transformación y descomposición de las rocas. Durante los años que tiene la Tierra que son

aproximadamente 4.600 millones de años, los procesos que afectan la composición de la tierra son:

- **Meteorización:** Es la descomposición física (desintegración) y la alteración química (descomposición) de las rocas de la superficie terrestre y las capas cercanas a la superficie.
- **Procesos gravitacionales:** Es la transferencia de roca y suelo pendiente abajo por influencia de la gravedad.
- **Erosión:** Es la eliminación física de material por agentes dinámicos como el agua, el viento o el hielo.

De todos estos procesos la meteorización es el que da origen a los suelos, ya que, los suelos son el resultado de las descomposiciones físicas y químicas de las rocas.

2.2.2. Meteorización.

Este proceso se produce continuamente en todos los alrededores, únicamente que, al ser un proceso lento no se le da la importancia que causa la meteorización sobre la Tierra. Como se mencionó anteriormente el Ciclo de las Rocas actúa sobre la formación de los suelos y la meteorización es básica de este Ciclo, por lo que es un proceso básico del sistema de la Tierra.

Es un proceso importante también para los seres humanos, un ejemplo claro es para la obtención de minerales los cuales representan la riqueza y sustentan la vida, así como los elementos que se encuentran en el suelo como son los alimentos.

Se encuentran dos tipos de meteorización:

- **Meteorización mecánica:** Esta se lleva a cabo por fuerzas físicas que rompen la roca en trozos pequeños pero no alteran la composición del mineral de la roca.
- **Meteorización química:** Esta implica la transformación química de la roca en uno o varios compuestos nuevos.

“Cuando una roca experimenta meteorización mecánica, se rompe en fragmentos cada vez más pequeños, que conservan cada uno las características del material original, el resultado final son muchos fragmentos pequeños procedentes de uno más grande”. (Tarbuck; 2013:203) Todo esto trae como consecuencia que la meteorización mecánica hace que se incremente la cantidad del área superficial disponible para la meteorización química. En la naturaleza ocurren cuatro fenómenos físicos importantes en este tema de la formación de suelos por medio de la fragmentación de rocas, estos procesos son: la fragmentación por helada, expansión provocada por la descompresión, expansión térmica y la actividad biológica.

2.2.3. Estructura y textura del suelo.

Como se sabe el estudio del suelo tiene relación con la vegetación y el clima, por ejemplo, el agua al escurrir es un agente necesario para la formación del suelo, ya que conforme escurre va acarreado diferentes materiales y disolviendo algunos otros, todo esto hace que exista la formación de plantas y otros organismos que se forman con materia orgánica la cual enriquece los suelos. En cuestión a la vegetación juega un papel muy importante en el intemperismo, ya que al realizar las plantas sus procesos químicos y beber agua, alteran la composición de los suelos.

De acuerdo con Sánchez, Zapata y Balanzario (1996), los suelos están compuestos por materia orgánica sólida, materia orgánica viva o muerta, agua, sales solubles y elementos gaseosos. Todos estos elementos conforman a los diferentes tipos de suelos, los cuales son importantes conocer para ver si se pueden aprovechar y trabajar con ellos ya que alteran en su totalidad el suelo que se quiere trabajar o el que se va aprovechar.

La textura del suelo también influye en la composición de estos, depende de las partículas que predominan en el mismo, dependiendo de qué suelo sea, si es una arcilla, limo o arena. En los suelos se observan diferentes perfiles:

- **Capa de tierra vegetal:** Esta contiene hojas y restos de materia orgánica transformada en humus.
- **Capa de roca madre:** Esta es la zona de arena, arcilla o grava procedentes de la roca madre intemperizada.

- **Capa de material lixiviado:** Es la zona de material fino y de acumulación.

2.2.4. Tipos de suelos.

“En las clasificaciones actuales de los suelos se tienen en cuenta varios factores, como el perfil y sus horizontes, el color, la consistencia, la acidez y la estructura, entre otros”. (Sánchez, Zapata y Balanzario; 1996: 172)

- **Entisoles:** Son suelos de desarrollo tan reciente y superficial que solo se ha formado un horizonte delgado.
- **Vertisoles:** Son suelos arcillosos oscuros, producto de la contracción y dilatación.
- **Inceptisoles:** Son suelos inmaduros, con materia original muy resistente y abundancia de cenizas volcánicas; se trata de tierra con mucha pendiente y con depresiones.
- **Aridisoles:** Son suelos de regiones áridas que se forman en una región climática donde la evapotranspiración potencial sobrepasa a la precipitación durante la mayor parte del año y no se infiltra agua en el suelo; la materia orgánica se vuelve de color oscuro.
- **Molisoles:** Son suelos de pastizales, estepas y praderas, con horizontes profundos, oscuros y relativamente fértiles.
- **Espodosoles:** Se conocen ampliamente como arenas grises y ácidas, sobre margas arenosas y oscuras.

- **Alfisoles:** Son suelos forestales con alto contenido de bases y existencia moderada de capas de arcilla.
- **Eltisoles:** Son suelos forestales con bajo contenido de bases, profundos e intemperizados, asociados con climas húmedos y cálidos.
- **Oxisoles:** Son suelos muy intemperizados y ricos en sesquióxidos, de las regiones intertropicales.
- **Histosoiles:** Son suelos orgánicos que se forman siempre que la producción de materia orgánica sobrepasa a su mineralización; por lo general están saturados de agua, lo cual impide que el oxígeno circule.

Existe también la siguiente clasificación de los suelos basada en las propiedades que tienen cada uno de ellos como son la cohesión, si tienen materia orgánica, si son granulares o si son utilizados para el relleno.

- **Suelos Granulares:** Estos suelos están formados por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas. Su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física: lajamiento, termoclastia, hialoclastia o fenómenos de hidratación física. Su característica principal es su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad.
- **Suelos cohesivos:** Estos suelos se caracterizan por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (inferior a 0.08 mm.), lo que confiere unas propiedades de superficie ciertamente importantes. La cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos; se define como la fuerza interparticular producida

por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando este no esté saturado.

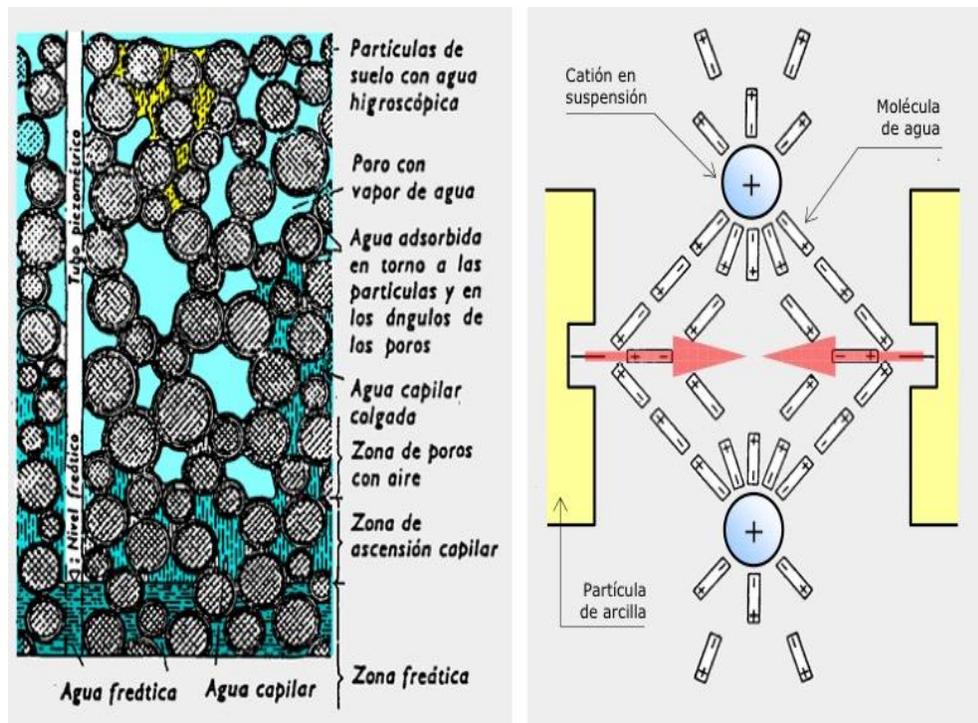


Imagen 2.02. Origen de la cohesión en suelos.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-4.

- **Suelos orgánicos:** Son suelos formados por la descomposición de restos de materia orgánica de origen animal o vegetal, y que, generalmente cubren los primeros metros de la superficie. Su característica principal, es la alta comprensibilidad y mala tolerancia del agua, a lo que debe unirse la existencia de procesos orgánicos que pueden reducir sus propiedades resistentes, es mala para la construcción.

- **Suelo de relleno:** Se entiende por relleno a todo depósito de materiales procedentes de aportes de tierras procedentes de otras obras o también se considera como relleno a los escombros procedentes de demoliciones, vertederos industriales, basureros, etc. Estos suelos son poco fiables, ya que no se compactan al ser depositados.

2.2.5. Usos del suelo.

Se sabe que para que el ser humano viva, la cubierta vegetal capta energía solar y esta extrae una parte del agua que se encuentra infiltrada donde están disueltas las sustancias necesarias para su desarrollo. Sánchez, Zapata y Balanzario (1996), indican que los suelos solo existen gracias a la vegetación; ya que así, los transportes de minerales y materia orgánica están influidos por la vegetación. Se tiene que reconocer que en esta cubierta vegetal hay varios procesos erosivos al fijar mediante sus raíces el transporte mecánico de partículas que se encuentran en los suelos. Los usos que se le dan a los suelos son los siguientes:

- **Uso agrícola:** Son suelos aptos para la actividad agrícola, en los cuales el riego desempeña un papel muy importante para los índices de producción y productividad. En las áreas de temporal sólo son cultivables en épocas de lluvia.
- **Uso pecuario:** Buena parte de los suelos fértiles se destinan a la alimentación directa del ganado, como es el caso de los pastizales, la mayoría de los cuales no requieren la intervención del hombre para

generar el producto. En algunas porciones se induce el crecimiento de los pastos mediante el uso de fertilizantes y semillas mejoradas.

- **Uso forestal:** Las agrupaciones de bosques se ubican en los suelos de buena calidad, los cuales se deterioran por efecto de la deforestación irracional. Al destruir el nicho ecológico de los bosques se ocasiona cambios climáticos y fuerte erosión.

En los suelos de México debido a su situación geográfica, la forma, su tamaño, la variedad de climas que hay, todas las formas de relieve y sus características geológicas e hidrológicas, hacen que haya muchas variedades de suelos dentro del Territorio Nacional. En México se encuentran la mayoría de los suelos que hay en todo el mundo, han sufrido diversos cambios, que son ocasionados por diversos factores del medio geográfico.

Es importante el suelo de México para el sector agrícola, teniendo en cuenta la relación con la superficie total, que es baja, debido a que más del 80 % del territorio mexicano es montañoso y esto limita al uso de las tierras.

2.3. Clasificación e Identificación de los suelos.

Todos los suelos son producto de la desintegración de los macizos rocosos, ya que los macizos rocosos se encuentran expuesto a los procesos de intemperismo, los componentes se alteran por acción del agua, viento, hielo y por la forma en la que es transportado. Estos macizos rocosos en pocas palabras rocas, se clasifican en ígneas, metamórficas y sedimentarias. “La capacidad de carga (calidad) asignada a

la roca, para el diseño o el análisis, debe reflejar el grado de alteración de los minerales debido al intemperismo, la frecuencia de discontinuidades dentro de la masa rocosa y la susceptibilidad del deterioro cuando la roca es expuesta a la intemperie” (Merritt, Loftin y Ricketts; 2008:323).

Clasificación	Modo de formación
Eolianos Duna	Deposición por viento (en costas y desiertos)
Loess	Depositados durante los periodos glaciales
Aluvio	Depositados por ríos y corrientes
Lacustrino	Aguas lacustres, incluyendo lagos glaciales
Planicie de inundación	Aguas de inundación
Coluvio	Movimiento de suelos pendiente abajo
Talo	Movimiento pendiente debajo de escombros de roca
Morrena del terreno	Depositados y consolidados por los glaciares
Morrena terminal	Arrastradas y transportadas en el frente de hielo
Deslaves	Aguas de deshielo de los glaciares
Playa o barra	Deposición por olas
Estuarino	Deposición en estuarios de ríos
Lagunal	Deposición en lagunas
Ciénega salina	Deposición por mareas en zonas protegidas
Suelo residual	Alteración completa por la intemperización en sitios
Saprolito	Alteración y disolución incompletas pero intensas
Laterita	Alteración compleja en un medio ambiente tropical
Roca descompuesta	Alteración avanzada dentro de la roca madre

Tabla 2.1. Clasificación de suelos.

Fuente: Merritt, Loftin y Ricketts; 2008:323.

Los suelos son demasiados complejos al quererlos estudiar debido a la forma en la que se encuentran presentes sobre la naturaleza, por lo que, se tuvo que realizar una clasificación de los suelos para que se pudieran llevar a cabo estudios sobre ellos y poder identificarlos con mayor facilidad. La Mecánica de Suelos hizo un sistema de clasificación de suelos, este pretendía cubrir las características

principales que eran necesarias para poder identificar cada tipo de suelos, estas características debían cumplir con las propiedades mecánicas de los suelos, ya que, estas propiedades son las que importan para la realización de obras en la Ingeniería Civil.

Los suelos pueden ser clasificados considerando las siguientes características por:

- **Sus características químicas:** ya que tienen características como son los grados de acidez (son los pH) y otra es la absorción de coloides; estas características permiten la existencia de vegetación y otros compuestos sobre los suelos.
- **Por la textura que tienen los suelos, estos pueden ser:** fina o gruesa.
- **Por su estructura:** Dispersa, agregada y floculada. Estas características definen la porosidad, ya que permitirán o no la circulación del agua sobre el suelo, lo cual es muy importante a considerar para saber las capacidades de carga que va tener el suelo.

2.3.1. Granulometría de los suelos.

“El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciamiento uniforme entre hilos denominado abertura o luz de malla, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar” (Bañón

Blázquez; 2001:15-6). Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, aquí se pasan los suelos secos y se retienen en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura del tamiz.

Se procede después de observar las cantidades de suelos retenidas en los diferentes tamices, para realizar una gráfica semilogarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida para cada abertura de tamiz.

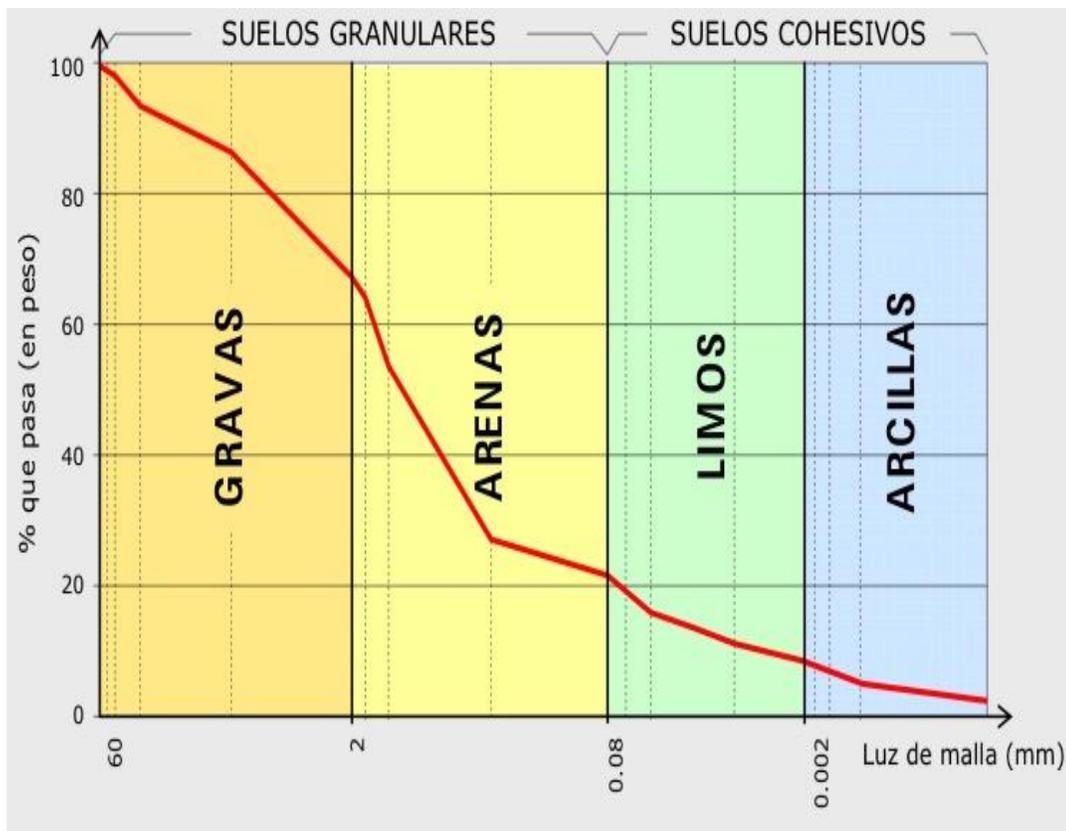


Imagen 2.03. Curva granulométrica de un suelo.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-6.

Por clasificación granulométrica se tiene la siguiente tabla.

TIPO	DENOMINACIÓN		TAMAÑO (mm)
SUELOS GRANULARES	Bolos y bloques		> 60
	Grava	Gruesa	60 - 20
		Media	20 - 6
Fina		2 - 6	
SUELOS COHESIVOS	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	

Imagen 2.04. Clasificación granulométrica de los suelos.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-7.

2.3.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

Fue Arthur Casagrande quien en 1942 ideó este sistema genérico de clasificación de suelos, que fue empleado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los EE.UU. para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II Guerra Mundial. Diez años más tarde, fue ligeramente modificado por el Bureau of Reclamation, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue

adoptado por la ASTM (American Society Of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados.

Se vale de símbolos de grupo, consiste en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades.

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Imagen 2.05. Símbolos de los grupos (SUCS).

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-21.

En función de estos símbolos, se hacen las siguientes combinaciones que definen los tipos de suelos.

SÍMBOLO	Características generales		
GW GP GM GC	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
			Pobremente graduadas
		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
SW SP SM SC	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
			Pobremente graduadas
		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
ML MH	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
CL CH	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
OL OH	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Imagen 2.06. Tipología de suelos (SUCS).

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-21.

De la anterior tabla se deduce, que hay una distinción entre tres grandes grupos de suelos:

- a) **Suelos de grano grueso (G y S):** Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz 0.080 UNE (#200 ASTM).
- b) **Suelos de grano fino (M y C):** Formados por suelos con al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.

c) **Suelos orgánicos (O, Pt):** Constituidos fundamentalmente por materia orgánica, son inservibles como terreno de cimentación.

De acuerdo con Bañón Blázquez (2001), después de estudios experimentales de varias muestras de suelos finos, Casagrande ubicó en un diagrama donde relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). Este diagrama lo nombró la carta de Casagrande de suelos cohesivos, en el destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

$$\text{Línea A: } IP = 0.73 * (LL - 20)$$

$$\text{Línea B: } LL = 50$$

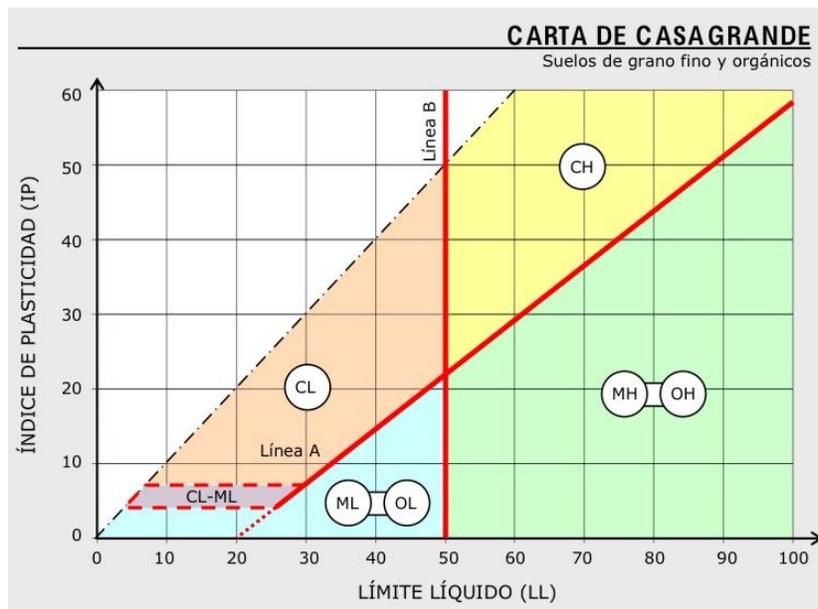


Imagen 2.07. Carta de Casagrande para suelos cohesivos.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-22.

Características de los suelos de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	Densidad óptima P.M.	CBR In situ
SUELOS DE GRANO GRUESO	Gravas	GW	Excelente	Excelente	2.00 - 2.24	60 - 80
		GP	Bueno a excelente	Excelente	1.76 - 2.08	25 - 60
		GM { d u	Bueno a excelente	Aceptable a mala	2.08 - 2.32	40 - 80
			Bueno	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	20 - 40
		GC	Bueno	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	20 - 40
	Arenas	SW	Bueno	Excelente	1.76 - 2.08	20 - 40
		SP	Aceptable a bueno	Excelente	1.60 - 1.92	10 - 25
		SM { d u	Aceptable a bueno	Aceptable a mala	1.92 - 2.16	20 - 40
			Aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20
		SC	Malo a aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas (LL < 50)	ML	Malo a aceptable	Aceptable a mala	1.60 - 2.00	5 - 15
		CL	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.60 - 2.00	5 - 15
		OL	Malo	Mala	1.44 - 1.70	4 - 8
	Limos y arcillas (LL > 50)	MH	Malo	Aceptable a mala	1.28 - 1.60	4 - 8
		CH	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.44 - 1.76	3 - 5
		OH	Malo a muy malo	Casi impermeable	1.28 - 1.68	3 - 5
SUELOS ORGÁNICOS		Pt	Inaceptable	Aceptable a mala	-	-

Imagen 2.08. Características de los suelos de acuerdo con el SUCS.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-23.

2.4. Identificación de suelos.

El problema que se presenta para poder identificar un suelo, es la importancia fundamental en ingeniería; en resumen para poder identificar un suelo debe ser colocarlo dentro de los grupos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S). Según Rico (2005), la identificación de suelos ayuda a conocer las

propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, las cuales va adquirir dependiendo del grupo al que pertenezca. En el Sistema Unificado se encuentran criterios para clasificar el suelo en laboratorio; estos criterios de tipo granulométrico y de investigación de características de plasticidad. Se ofrecen criterios para identificación de suelos en campo, ya que hay casos en los que no se dispone de un laboratorio y equipo para poder hacer las pruebas necesarias al suelo.

2.4.1. Identificación de campo de suelos gruesos.

Según Rico Rodríguez (2005), los materiales que están constituidos por partículas gruesas pueden identificarse en campo simplemente visualmente. Con una muestra seca del suelo sobre una superficie plana puede deducirse, con aproximaciones sobre su graduación, tamaño de partículas, forma y su composición mineralógica. Para poder distinguir las gravas de las arenas se usa el tamaño $\frac{1}{2}$ cm, que es equivalente a la malla #4 y, para la los finos se considera el tamaño de las partículas correspondiente a la malla #200.

Para poder sacar la graduación del material, se requiere de experiencia para poder diferenciar los suelos bien graduados de los que están mal graduados. La experiencia se va obteniendo comparando graduaciones estimadas con las que se obtienen en laboratorio en los casos que se tenga oportunidad de hacerlo y con el paso de los años, conforme se va trabajando.

2.4.2. Identificación de campo de suelos finos.

Las ventajas que ofrece el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, es obtener el criterio para poder identificar en el campo los suelos finos, contando como se mencionó anteriormente, la experiencia. “La principal base de criterio para identificar suelos finos en el campo es la investigación de las características de dilatancia, tenacidad y resistencia en estado seco. El color y el olor del suelo pueden ayudar, especialmente en suelos orgánicos” (Rico Rodríguez; 2005:98). Estas características se definen:

- **Dilatancia:** Arenas limpias muy finas dan la reacción más rápida, mientras que las arcillas plásticas no tienen reacción. Los limos inorgánicos, tales como el típico polvo de roca, dan una reacción rápida moderada. La velocidad con que la pastilla cambia su consistencia y con la que el agua parece y desaparece, define la intensidad de la reacción e indica el carácter de los finos del suelo.
- **Tenacidad:** Es la potencialidad de la fracción coloidal arcillosa de un suelo, se identifica por la mayor o menor tenacidad del rollito al acercarse al límite plástico y por la rigidez de la muestra al romperse finalmente entre los dedos.
- **Resistencia en estado seco:** Una alta resistencia en seco es característica de las arcillas del grupo CH.
- **Color:** El campo del color en exploraciones suele ser un dato útil para diferenciar los distintos estratos de la superficie terrestre y poder identificar los tipos de suelo.

- **Olor:** Los suelos orgánicos (OH y OL) tienen por lo general un olor distintivo, que puede usarse para identificación.

2.5. Propiedades de los suelos.

Las propiedades básicas de los suelos se pueden dividir dependiendo sus características físicas, por parámetros índice y características mecánicas. Las propiedades físicas son: el tamaño, la densidad, distribución de partículas, contenido de agua y la gravedad específica.

- **Contenido de agua (w):** De una muestra de suelo, representa el peso del agua libre contenida en la muestra, expresado como porcentaje de su peso seco.
- **Grado de saturación (G_w):** De la muestra, es el porcentaje de la relación entre el volumen del agua libre contenida en la muestra y su volumen total de vacíos V_v .
- **Porosidad (n):** Es una medida de la cantidad relativa de vacíos, es la relación y el volumen total V del suelo: $n = \frac{V_v}{V_m}$.
- **Relación de vacíos (e):** Esta definida por la relación entre V_v y el volumen ocupado por las partículas del suelo V_s .

De acuerdo con Merritt, Loftin y Ricketts (2008), los parámetros índices de los suelos cohesivos, se constituyen por el límite líquido, límite plástico, límites de contracción y actividad. Estos parámetros son llamados límites de Atterberg y son

útiles para poder clasificar los suelos y obtener una correlación con las propiedades de los suelos.

- **Límite líquido:** Se determina mediante el método de la cuchara de Casagrande. Se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que puede contener una pasta formada por 100 gr. de suelo seco que haya pasado por el tamiz 0.40 UNE, se coloca sobre el artefacto y se acciona el mecanismo de éste, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco que se realiza antes con una espátula normalizada, en una longitud de 13 mm. El ensayo se dará por válido cuando se obtengan dos determinaciones, una de entre 15 y 25 golpes, y otra de entre 25 y 35. La humedad correspondiente al límite líquido será la correspondiente a 25 golpes.
- **Límite plástico:** Se define como la menor humedad de un suelo que permite realizar con él cilindros de 3 mm. de diámetro sin que se desmoronen, realizándose dos determinaciones y hallando la media. Este ensayo se realiza con 200 gr. de muestra seca y filtrada a través del tamiz 0.40 UNE. Como el caso anterior.
- **Límite de contracción:** Representa el contenido de agua, a partir del cual dejan de ocurrir variaciones volumétricas con la reducción del contenido de agua.

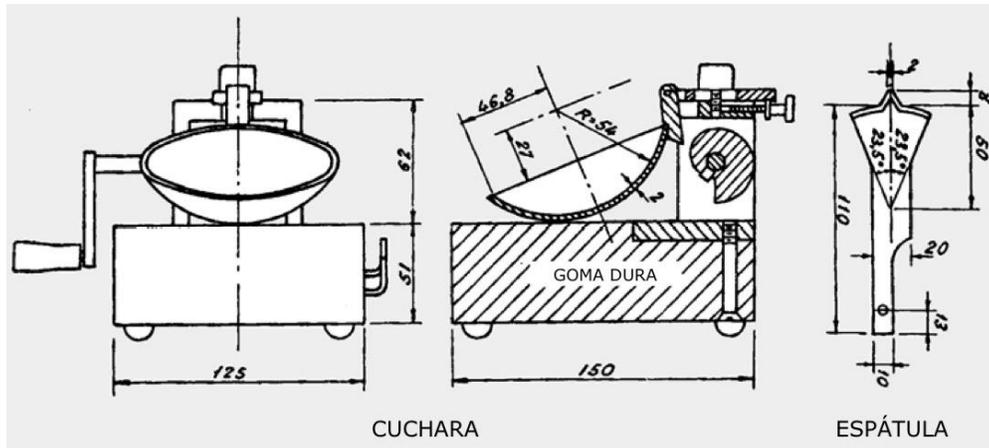


Imagen 2.09. Cuchara de Casagrande.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-10.

Índice	Definición*	Correlación
Plástico	$I_p = W_l - W_p$	Resistencia, compresibilidad, compactibilidad y otros
Líquido	$I_l = \frac{W_n - W_p}{I_p}$	Compresibilidad y estado de esfuerzos
Contracción	$I_s = W_p - W_s$	Potencial de contracción
Actividad	$A_c = \frac{I_p}{\mu}$	Potencial de expansión y otros

* W_l = límite líquido; W_p = límite plástico; W_n = contenido de humedad, %; W_s = límite de contracción; μ = porcentaje de suelo más fino que 0.002 mm (tamaño de arcilla).

Imagen 2.10. Límites de Atterberg.

Fuente: Merritt, Loftin y Ricketts; 2008:331.

En la siguiente tabla se muestran los valores más frecuentes de los parámetros mencionados.

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
IP	Índice de plasticidad	0 - 3	10 - 15	10 - 100

Imagen 2.11. Valores frecuentes de los límites de Atterberg.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-11.

2.5.1. Estados de consistencia.

El comportamiento de un suelo está regido por la presencia de agua sobre él, siendo relevante en los suelos donde predomine el componente arcilloso, ya que en ellos los fenómenos de interacción superficial se imponen a los de tipo gravitatorio.

Estos grados de consistencia son los siguientes:

- a) **Líquido:** La presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantenían unido al suelo (por

cohesión) y lo convierte en una papilla, un líquido viscoso sin capacidad resistente.

- b) **Plástico:** El suelo es fácilmente moldeable, presentando grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico, por lo que no recupera su estado inicial una vez cesado el esfuerzo.
- c) **Semisólido:** El suelo deja de ser moldeable, pues se quiebra y resquebraja antes de cambiar de forma.
- d) **Sólido:** El suelo alcanza la estabilidad, ya que su volumen no varía con los cambios de humedad, el comportamiento mecánico es óptimo.

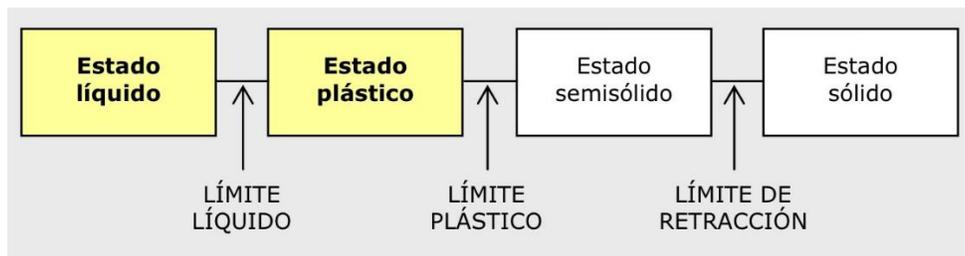


Imagen 2.12. Estados de consistencia de un suelo.

Fuente: Bañón Blázquez; 2001:15-9.

2.5.2 .Proyección de propiedades de suelos.

La proyección de propiedades y parámetros de suelos describe el comportamiento que tienen los suelos bajo esfuerzos inducidos y los cambios ambientales que sufren, todo esto importa para la geotecnia. Principalmente las

aplicaciones geotécnicas son la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de suelos.

2.5.3 Consolidación de los suelos.

De acuerdo con Juárez Badillo, Rico Rodríguez (2011), la consolidación es un proceso en donde disminuye el volumen del suelo, todo esto provocado por el aumento y soporte de las cargas que se apoyan sobre el suelo. Durante este proceso de consolidación la posición de las partículas sólidas en el plano horizontal permanecen así, el movimiento ocurre en la dirección vertical, esta es la llamada consolidación unidimensional o unidireccional.

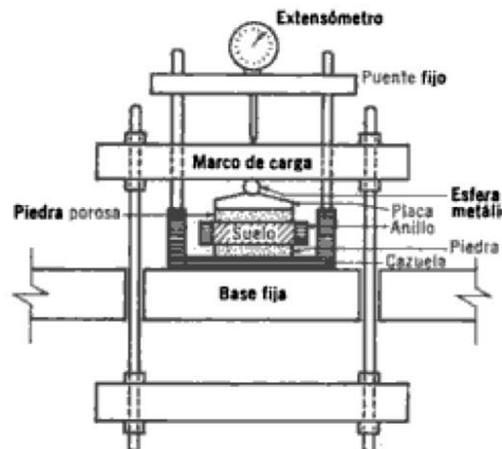


Imagen 2.13. Consolidómetro.

Fuente: Juárez Badillo, Rico Rodríguez; 2005:248.

2.5.4 Propiedades hidráulicas del suelo.

El suelo cuenta con propiedades hidráulicas importantes que se deben considerar al momento de construir en ellos, los problemas relativos al flujo de líquidos en general, pueden dividirse en dos grupos: los que se refieren a flujo laminar y aquellos que tratan con flujo turbulento. “Se define laminar cuando las líneas de flujo permanecen sin juntarse entre sí en toda su longitud, excepción hecha del efecto microscópico de mezcla molecular, el flujo turbulento ocurre cuando la condición anterior no se cumple. La línea de flujo se define como la línea ideal que en cada punto tiene la dirección del flujo; en todo el punto el vector velocidad y la línea de flujo que pasa por él, serán tangentes.

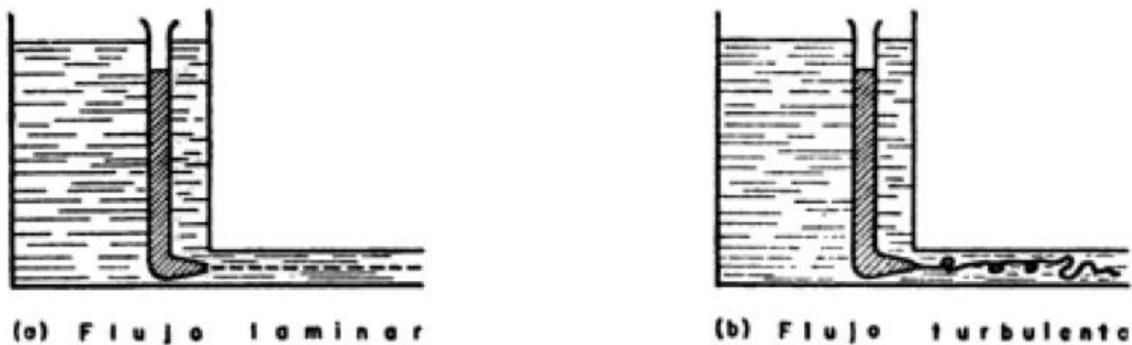


Imagen 2.14. Distinción experimental objetiva entre el flujo laminar y el turbulento.

Fuente: Juárez Badillo, Rico Rodríguez; 2005:192.

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACION

En el presente capítulo se muestran las características geográficas, geológicas, naturales, climáticas, hidrográficas, socioeconómicas, culturales, etc., donde se llevará a cabo el estudio de mecánica de suelos. En forma resumida se muestran todas estas características que son importantes a tener en cuenta para poder realizar correctamente el proyecto, los factores climáticos, geológicos e hidrográficos son los más importantes a tener en cuenta en esta zona de estudio.

3.1. Objetivo.

La presente investigación se planteó como objetivo analizar por qué en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” están sufriendo agrietamientos en las estructuras de las partes altas del parque, analizar los suelos y deslaves que se han estado presentando conforme a pasado el tiempo, dar una posible solución al problema realizando pruebas de mecánica de suelos.

3.2. Alcance del proyecto.

El presente proyecto tiene como alcance dar respuesta a la problemática sufrida en el Parque Nacional de Uruapan, analizar las causas que han generado los deslaves y hundimientos de los senderos en la parte alta del Parque Nacional. Con

ayuda de la mecánica de suelos se harán pruebas de laboratorio que darán las respuestas que busca dicho proyecto, además de beneficiar a la parte estudiantil, sirviendo a esta como base para investigaciones futuras que vayan a tener relación dentro del área de mecánica de suelos.

3.3. Generalidades.

En el estado de Michoacán se encuentra en la parte centro – oeste de la República Mexicana, se encuentra rodeado en la parte norte de los estados de Guanajuato, Jalisco y Querétaro, así la parte oeste se encuentra el Océano Pacífico y el estado de Colima y en la parte este se encuentran los estados de Guerrero y el Estado de México. De acuerdo con www.e-local.gob.mx las coordenadas del estado de Michoacán son entre 20° 23' 27" y 17° 53' 50" en la latitud norte y, entre, 100° 03' 32" y 103° 44' 49" en longitud oeste. Aproximadamente abarca una extensión superficial de 58836.95 km^2 , con 1490 km^2 de aguas maritimas.

3.4. Macro localización.

El estado de Michoacán cuenta con 113 municipios dentro de su territorio en los cuales podemos encontrar a la ciudad de Uruapan, la cual es una de las más importantes del estado ya que ocupa el segundo lugar en número de habitantes con 315,350 habitantes.

En las siguientes imágenes se muestra la localización del estado de Michoacán en la República Mexicana así como las ciudades principales del estado, Michoacán cuenta con una amplia variedad de climas y ecosistemas gracias a todo esto se cuenta con gran biodiversidad tanto en plantas como animales.



Imagen 3.1. Ubicación del estado de Michoacán.

Fuente: programacontactoconlacreacion.blogspot.com

En la siguiente imagen se muestra unas gráficas donde se indica los números de habitantes que hay en el estado de Michoacán, tanto hombre como mujeres teniendo un mayor porcentaje las mujeres, tanto Nacionalmente como en el estado.

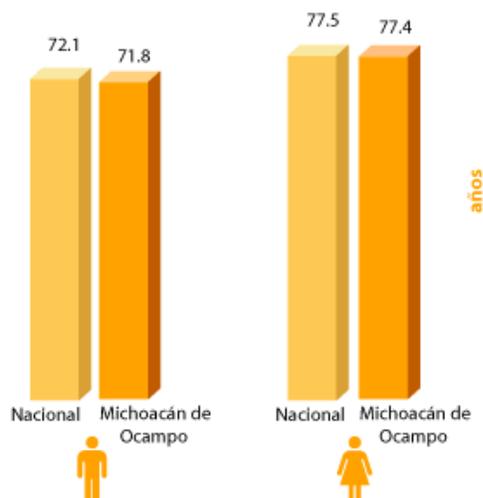


Imagen 3.2. Número de habitantes del estado de Michoacán.

Fuente: ciberhabitat.gob.mx

3.5. Micro localización.

La ciudad de Uruapan es catalogada como la “Capital mundial del aguacate”, debido a la gran producción que se tiene de esta fruta, una de las principales actividades económicas con las que se cuenta es la exportación del aguacate. Según www.uruapanmich.com el término de Uruapan viene del purépecha Ulhupani, el cual significa el lugar de la fecundidad de los botones florales u de la eterna formación. La ciudad sigue creciendo día a día siendo de las más importantes del estado, Uruapan fue asentado en el año 1522 sobre la colonia actual llamada Magdalena siendo ahí el centro de la ciudad, ahora con el crecimiento que ha tenido la ciudad, el centro es

ahora en la avenida principal, llamado Paseo Lázaro Cárdenas justamente en donde fue antes la estación del tren que antes era de los principales medios de transporte y que en la actualidad ha dejado de funcionar, en el año del 1863 Uruapan pasó a ser la capital del estado debido a causas de la invasión de Francia al país.

El clima de Uruapan es muy variado, la mayor parte del tiempo se mantiene templado pero ahora en la actualidad tiene temperaturas cálidas en el día y frías por las noches, además de que llueve durante el verano que es aproximadamente entre los meses de Junio a Septiembre, tiempo atrás las lluvias eran durante todo el año pero debido al cambio climático que sufre en mundo en general esto ha cambiado drásticamente al punto de que ya sólo en esos meses llueve y no como antes que era todo el año.

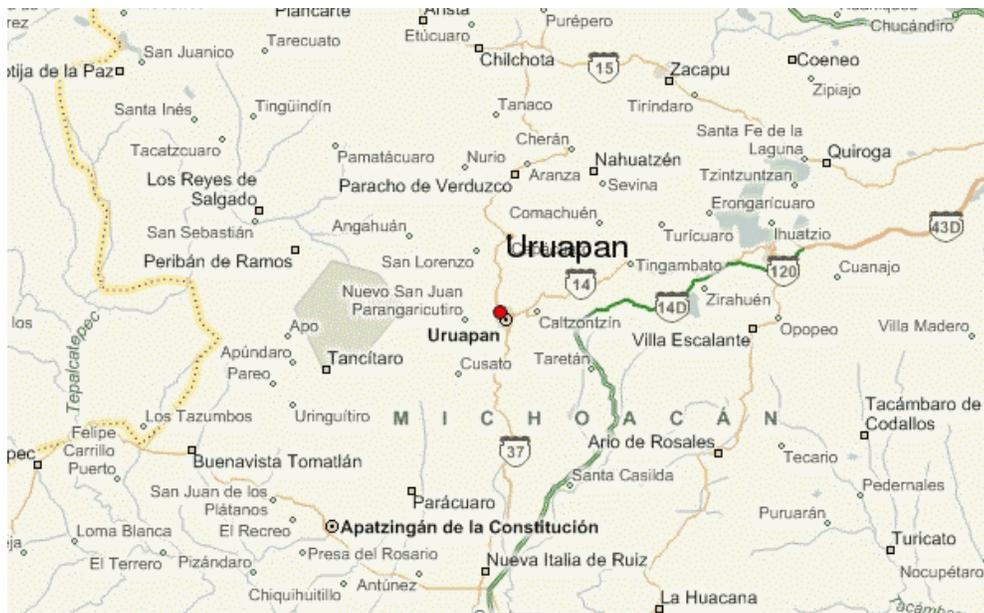


Imagen 3.3. Ubicación de Uruapan Michoacán.

Fuente: es.weather-forecast.com

3.6. Reporte fotográfico.

En la siguiente fotografía se encuentra la entrada principal al Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, se alcanza a observar que a las afueras del parque se encuentra gran número de puestos comerciales los cuales han aumentado considerablemente el número de comercios, enfrente de este se encuentra un mercado artesanal donde se venden cosas tradicionales del estado, así como la realización de muebles y otros objetos de madera.

Estos comercios debido al aumento considerado de puestos necesitan una reubicación.



Fotografía 3.1. Entrada al Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”

Fuente: Propia

Unas fotografías más de la entrada al Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”.



Fotografía 3.2. Entrada al Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”

Fuente: Propia



Fotografía 3.3. Entrada al Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”

Fuente: Propia

En la siguiente fotografía se observa el mercado artesanal que se encuentra frente al Parque Nacional, este mercado genera su economía gracias al turismo que visita al Parque principalmente.



Fotografía 3.4. Mercado artesanal y puesto.

Fuente: Propia.

Como punto a considerar es necesaria la reubicación de todos estos puestos comerciales ya que se han incrementado considerablemente lo cual hace que la belleza del Parque Nacional se empañe al haber tanto puesto comercial, como consejo sería bueno considerar reubicar a toda esta gente para beneficio tanto del parque como de los comerciantes.

En la siguiente imagen se muestran las tomas donde pipas locales se abastecen de agua de la cuenca del río Cupatitzio, donde es un punto a considerar como causante del problema que se pretende resolver en la presente investigación. Todo esto debido al uso desmedido del llenado de pipas lo cual ha causado la disminución del cauce del río Cupatitzio, donde todo esto causa vacíos en la tierra que a lo largo del tiempo causa fallas sobre el suelo.



Fotografía 3.5. Carga de pipas.

Fuente: Propia.

Se observa en la siguiente fotografía que a los alrededores de Parque Nacional ya se encuentran algunas huertas de aguacate, que es la principal fuente económica de la localidad de Uruapan. Estas huertas de aguacate ocupan mucho consumo de agua ya que la planta de aguacate necesita mucha agua para su crecimiento y producción de la fruta, todo esto se toma también del cauce del río Cupatitzio a través de bombas por lo cual también es importante tomar como consecuencias de las fallas analizadas en la presente investigación.



Fotografía 3.6. Huerta de aguacate en los bordes del Parque Nacional.

Fuente: Propia.

En las siguientes fotografías se muestran los problemas en el sitio, como se observa en la fotografía 3.7., debido a los hundimientos que se han ido presentando en los suelos del Parque Nacional se alcanza a observar en esta fuente que es una de las principales fuente del Parque, que el agua no baja uniformemente, baja en mayor cantidad en un lado y en el otro lado a disminuido debido a la inclinación del suelo lo cual afecto el flujo de caída del agua, anteriormente el agua tenía una caída más uniforme que como se encuentra en la actualidad.



Fotografía 3.7. Fuente donde se muestra la inclinación por hundimientos.

Fuente: Propia.

En las siguientes fotografías se muestran los senderos más afectados del Parque Nacional donde se alcanza a observar que algunos de los muros que tenían la función de pasamanos se han hundido completamente, se han puesto pasamanos de madera para suplir temporalmente a estos muros.



Fotografía 3.8. Hundimientos presentados en los senderos y muros.

Fuente: Propia.

Otra fotografía de los senderos más afectados del Parque, aquí también se han puesto pasamanos de madera auxiliares, los cuales se usan para seguridad de los visitantes y que no vayan a sufrir algún accidente.



Fotografía 3.9. Hundimientos presentados en los senderos.

Fuente: Propia.

En las siguientes fotografías se observa el canal que tiene la función de distribuir el agua a todas las fuentes que se encuentran en el Parque Nacional, tiene varias compuertas que son controladas por personal del Parque que se abren estratégicamente para que el agua sea correctamente distribuida a todo el Parque ya que en tiempos de lluvias se necesita tener un buen control de estas debido a las crecidas que llega a tener la cuenca del Rio Cupatitzio.



Fotografía 3.10. Canal distribuidor de aguas a las fuentes del Parque Nacional.

Fuente: Propia.

También es utilizada tubería como apoyo para las zonas que no tiene fácil acceso el agua para llegar, en todo este sendero se encuentra este canal, algunos de los hundimientos más presentados se encuentra en los alrededores de este canal de abastecimiento.



Fotografía 3.11. Canal distribuidor de aguas a las fuentes del Parque Nacional.

Fuente: Propia.

En las siguientes fotografías se presentan además de los hundimientos el desborde de uno de los muros que arrastró completamente todo el muro de

pasamanos el cual ya se encuentra sustituido temporalmente por otros pasamanos de madera, aquí también se vio afectado el piso, el cual se tuvo que reemplazar.



Fotografía 3.12. Deslave que provocó la pérdida del sendero.

Fuente: Propia.

Una fotografía más del deslave que afectó a los muros y del piso que ya fue reemplazado por personal del Parque Nacional.



Fotografía 3.13. Colocación de madera provisional.

Fuente: Propia.

3.7. Estado físico actual.

Se tienen diversas problemáticas que se pretenden aclarar con los resultados que va arrojar el presente proyecto, las cuales son:

1. Debido a la extracción excesiva del agua en el Rio Cupatitzio ha generado vacíos sobre la tierra los cuales han provocado estos hundimientos.
2. Uso excesivo de agua de las huertas de aguacate que también se extrae del Rio Cupatitzio.
3. Llenado de pipas para distintos usos en la localidad del agua.

4. En tiempo de lluvias el canal en la parte norte del Parque Nacional, es llenado el cual genera un gran peso sobre los suelos que se encuentran ya afectados los cuales provocan hundimientos.

3.8. Alternativas de solución.

Las soluciones que se pretenden buscar son:

1. Con la ayuda de la mecánica de suelos dar respuestas a las causas de los hundimientos ya mencionados.
2. Dar soluciones para poder corregir todos estos problemas que se sufren en el Parque Nacional.
3. Promover entre la gente el cuidado del agua, dar un buen uso y no desperdiciarla ya que el uso excesivo del agua está provocando todos estos problemas.
4. Hacer pruebas de laboratorio a los suelos que sufren hundimientos.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se abordarán los temas que fueron utilizados para realizar esta investigación, es importante definir cada uno de los pasos que se emplearon, ya que todos estos pasos fueron vitales para poder cumplir con los objetivos a los que está destinada la presente investigación, elegir el método de investigación más apropiado para alcanzar los resultados y objetivos esperados.

4.1. Método empleado.

Se entiende por técnica a la aplicación práctica del método, ya que el método y la técnica conforman la práctica y teoría de la investigación. El método de investigación evita llevar un desorden en donde el investigador puede perderse, hace la función que tiene una brújula, sirve para guiar al investigador y que para él sea más fácil alcanzar los objetivos deseados, estos métodos de investigación dicen al investigador qué hacer y qué no hacer.

De acuerdo como Tamayo y Tamayo (2000), la metódica se encuentra dividida en dos sistemas, uno de ellos está conformado por los métodos de deducción mientras que el otro sistema está formado por el área de la inducción. Los métodos deductivos derivan aspectos particulares de las leyes, axiomas, normas o teorías, mientras que los métodos inductivos comienzan con los conocimientos particulares todo esto para poder encontrarlas incidencias determinantes que, después pasarán a

ser leyes. El método deductivo aplica en el quehacer científico, en el porqué de los axiomas, principios y postulados de los cuales se obtienen resultados para la aplicación práctica, se entiende por axioma a la verdad evidente por sí misma.

La presente investigación emplea el método de investigación científico, el cual es una secuencia estándar para formular y responder a una pregunta. Según Tamayo y Tamayo (2000), en las ciencias es aplicado el método inductivo en sus tres estadios principales:

- 1. La observación:** Es la percepción clara y exacta del fenómeno, requiere un adiestramiento previo unido a una aptitud inquisitiva natural, requiere el empleo de aparatos especiales en la ciencia y de conocimientos profundos de la rama que se pretende conocer.
- 2. La hipótesis:** Es una suposición que se proyecta en el campo de las posibilidades, con buenas razones para presumir que puede ser probable, es un razonamiento que todavía no es una prueba, puede ser variable por ciertas circunstancias que se han obtenido en la observación.
- 3. Experimentación:** Es la provocación de fenómeno, que es hecha a voluntad del investigador, la metodología científica comenta las coincidencias constantes y la coincidencia única. Este proceso llega a la determinación de una ley, proceso de generalizar con base en la verdad, se pone en juego el verdadero método inductivo.

“La definición descriptiva es una proposición cuyo predicado contiene toda la comprensión del sujeto y la diferencia específica. La diferencia experimental

se saca de las semejanzas o diferencias de los ejemplares entre sí, mediante la enumeración completa de los caracteres, éstos separan los accidentales y los esenciales”. (Tamayo y Tamayo; 2000:37)

El método científico está fundado estrictamente a técnicas experimentales, operaciones lógicas y a la imaginación racional, todo esto ayuda a servir como instrumentos para la adquisición de conocimientos científicos. Se desarrolla en la práctica y es afinado en contacto directo con la realidad.

La estructura teórica de la investigación científica está constituida por varios principios:

- **Simplicidad:** Es adoptar la explicación más simple entre todas las que se presentan como posibles.
- **Regularidad:** Se entiende la incidencia de ciertos fenómenos o comportamientos en el proceso de las leyes del universo.
- **Continuidad:** Informa un doble aspecto, en primer lugar la posibilidad de proseguir siempre una investigación puesto que cada descubrimiento puede dar paso a otros, en segundo la imposibilidad de efectuar una conclusión radical en la investigación del conocimiento.

4.1.1. Método matemático.

La investigación presente está basada en el método matemático, debido a que se comparan cantidades en todos los casos presentes, los cuales van a utilizarse para poder dar cuentas de las propiedades que tienen los suelos afectados que serán analizados en esta investigación, para así mismo buscar la solución a los objetivos antes planteados para todo esto se ocuparan la realización de experimentos que ayudaran a cumplir y hallar la solución a los objetivos.

4.2. Enfoque de la investigación.

La investigación incluye por definición al conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que son aplicados al estudio del fenómeno. El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo, de acuerdo con Hernández Sampieri (2010), el enfoque cuantitativo es la recolección de datos para probar las hipótesis, todo esto con base a la medición numérica y los análisis estadísticos, con la finalidad de poder establecer los patrones de comportamiento y probar teorías. Estos procesos son secuenciales y realizados a base de pruebas, debe llevar como se menciona un proceso secuencial por lo que no se puede brincar pasos, estos ordenes son rigurosos pero se permite redefinir alguna fase del proceso.

En la siguiente imagen se muestran los pasos a seguir para llevar correctamente a cabo el enfoque cuantitativo en la presente investigación:

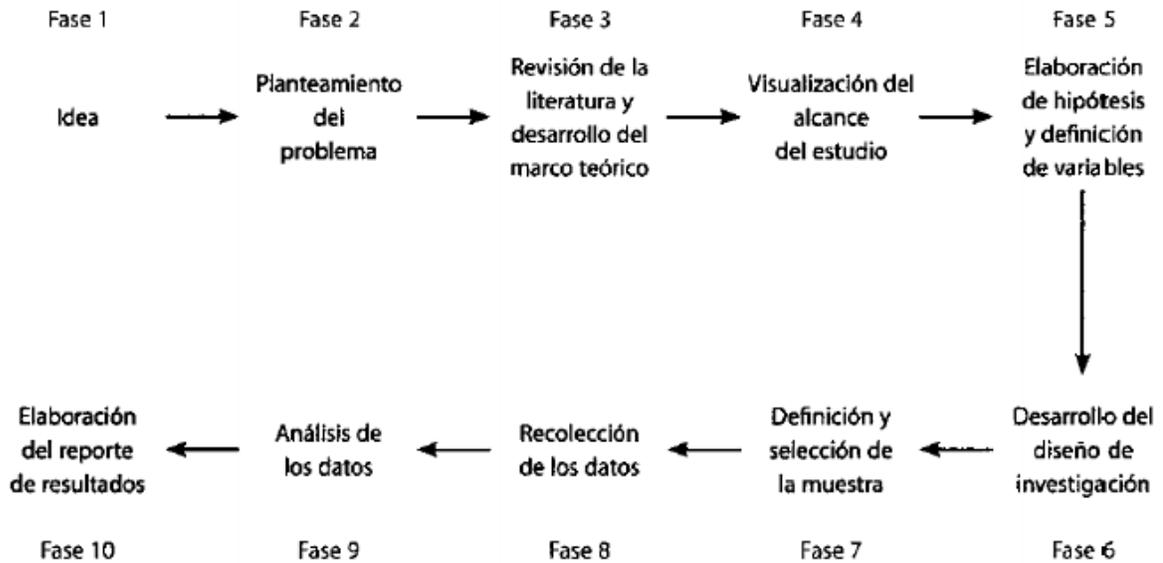


Imagen 4.1. Proceso cuantitativo.

Fuente: Hernández y Cols ; 2010: 5.

De acuerdo con Hernández y Cols (2010), la investigación con enfoque cuantitativo debe ser lo más objetiva y precisa posible, ya que los fenómenos que van observarse no deben ser afectados de ninguna forma por el investigador. Se debe utilizar el razonamiento deductivo, por lo que se comienza con la teoría de la cual derivan expresiones lógicas nombradas hipótesis, la cuales serán sometidas a pruebas y se les buscara respuesta a ellas.

Las características del enfoque cuantitativo son las siguientes:

1. El investigador plantea un problema de estudio delimitado y concreto.
2. El investigador considera lo que ha investigado anteriormente y construye un marco teórico, del cual derivan varias hipótesis.

3. Las hipótesis se generan antes de recolectar y analizar los datos.
4. La recolección de datos se fundamenta en la medición.
5. Se deben analizar a través de métodos estadísticos las mediciones que se presentan mediante números.
6. En el proceso se busca el máximo control para lograr que otras explicaciones posibles distintas a la propuesta de estudio, sean desechadas y se excluya la incertidumbre para minimizar el error.
7. Los análisis cuantitativos se interpretan a la luz de las predicciones iniciales y de estudios previos.
8. Debe ser lo más objetiva posible.
9. Los estudios cuantitativos siguen un patrón predecible y estructurado, se debe tener presente que las decisiones críticas se efectúan antes de recolectar los datos.
10. Se pretende generalizar los resultados encontrados en un grupo o segmento a una colectividad mayor.
11. Se intenta explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones casuales entre elementos.
12. Si se sigue los procesos, los datos generados poseen los estándares de validez y confiabilidad.
13. Se utiliza la lógica o razonamiento deductivo.
14. Se pretende identificar leyes universales y causales.
15. La búsqueda cuantitativa ocurre en la realidad externa al individuo.

La presente investigación está realizada con un enfoque cuantitativo, ya que se necesitan de cálculos, pruebas y experimentos para poder resolver los objetivos planteados en la investigación.

4.2.1. Alcance de investigación.

Para resolver los objetivos principal y secundarios se debe visualizar la posibles soluciones y plantear los alcances que debe tener la investigación para cumplir dichos objetivos.

Señala Hernández y Cols (2010), para comenzar a realizar cualquier investigación se plantea una pregunta: ¿De qué depende que el estudio se inicie como descriptivo, exploratorio, correccional o explicativo?, la respuesta a esta pregunta depende de algunos factores que son:

1. Estado del conocimiento sobre el problema de investigación ayudado por la revisión de la literatura.
2. Perspectiva que está prevista a estudiar.

Los estudios mencionados son:

- Estudios Descriptivos: Buscan especificar las características, las propiedades y perfiles de grupos procesos o cualquier otro fenómeno que tenga que ser sometido a un análisis, se deben seleccionar preguntas para poder recabar información que sea necesaria para poder tener una buena descripción de lo que se está investigando. “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 y Cols; 2010:102).

- Estudios Exploratorios: Se realizan cuando se examina el tema de investigación. “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; 2010:101).

La presente investigación es un estudio descriptivo ya que se buscan resultado mediante pruebas realizadas en campo y laboratorio, las cuales, arrojaran los resultados que van a cumplir con los objetivos que se mencionaron con anterioridad, estos resultados ayudaran a proponer una solución para resolver el problema.

4.3 Diseño de investigación.

La definición de diseño se refiere a la estrategia o al plan que sirve para obtener la información que el investigador desea. El enfoque cuantitativo del que investiga utiliza diseños para analizar las hipótesis que se tienen respecto a los

lineamientos de la investigación. Para el enfoque cuantitativo, la calidad que tiene la investigación se relaciona con la aplicación del diseño, se debe tener en cuenta, que este diseño puede variar durante la investigación ya que en el proceso puede haber cambios que alteren a este.

El método de diseño que se empleó en la presente investigación, es el no experimental, ya que la investigación es utilizada sin manipular las variables. Se trata de estudios donde varían las variables independientes para ver cómo actúan en otras variables. Como menciona Hernández y Cols (2010), el objetivo es observar los fenómenos como son dados en su contexto natural. En los estudios no experimentales no se generan situaciones, son observadas situaciones que ya existen y que no son provocadas.

El diseño de investigación también es transeccional o transversal, la cual recolecta datos en un momento y tiempo único, “el propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, es como tomar una fotografía de los que sucede.” (Hernández Sampieri; 2010:151)

4.4 Instrumentos de recopilación de información.

Los instrumentos utilizados en la presente investigación para cumplir con los objetivos planteados son los siguientes:

- AutoCAD 2013: Es utilizado este software de computadora para poder esquematizar el problemas, dibujar la zona del problema y que sea más

fácil explicar cómo y dónde se originó la falla que se tiene como objetivo resolver.

- Office Excel 2013: Utilizado para el registro de datos obtenidos en campo y poder llevar un control de resultados para poder observar los problemas mediante gráficos y resultados obtenidos de ecuaciones matemáticas (fórmulas) mencionados con anterioridad en la teoría de mecánica de suelos.

4.5 Descripción del proceso de investigación.

Por principio, fue planteado el problema a resolver en la investigación, se realizó la hipótesis que es la pregunta de investigación en donde es mencionado el problema y con la que se va trabajar a lo largo de toda la investigación con el objetivo de tener respuestas y soluciones a dicha pregunta.

Como consecuente, se llevó a cabo una investigación documental de libros y artículos ya existentes sobre los temas que engloban al problema, obtenidos de la biblioteca de la Universidad Don Vasco, así como fuentes de internet y pruebas hechas en laboratorio de mecánica de suelos ubicado en la misma universidad.

Para comenzar a realizar los cálculos matemáticos, la búsqueda de los problemas y soluciones, se fue al sitio del problema para observar y analizar el problema, así mismo ver las pruebas mecánicas que son necesarias realizar en el suelo afectado. Después de saber las pruebas mecánicas que se tienen que hacer

se llevan al sitio los instrumentos de laboratorio para poder realizar las pruebas necesarias y poder obtener los resultados que ayudaran a resolver el problema.

Por último, ya hechas las pruebas de laboratorio, registro de datos y teniendo clara la teoría de los temas en general, se plantean las soluciones que se tienen al problema. Todo esto es importante ya que el problema que se va resolver, beneficiara a la población de Uruapan Michoacán y al turismo que viene a visitar a la reserva ecológica Barranca del Cupatitzio, sin que haya peligro de algún accidente y que la gente no pueda conocer en su totalidad a todo el parque nacional, ya que este problema traería consigo muchas consecuencias que afectarían muchas zonas del parque si no se le busca solución.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DE DATOS.

En el presente capítulo se muestran los resultados de campo, el cual consiste en analizar los suelos mediante métodos empíricos de permeabilidad, se dará una breve explicación de en qué consisten estos métodos empíricos así como las pruebas y resultados que se realizarán en campo, los resultados arrojados de estos métodos darán respuesta a las preguntas de investigación y se verán cumplidos los objetivos que tienen fin a resolverse en la presente investigación. Todos estos objetivos ya resueltos tendrán beneficios no sólo para el mismo Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, sino para toda la localidad de Uruapan, Michoacán y todos los comerciantes que viven del turismo que llegue a visitar al Parque Nacional.

5.1. Permeabilidad.

La permeabilidad es la facilidad con la que un fluido se mueve a través de un medio poroso, el fluido es el agua y el medio poroso la masa del suelo, esta presencia de agua en el suelo, es uno de los factores que tiene más importancia para los Ingenieros Civiles, por lo cual, es necesario un estudio geotécnico cuidadoso que requiere la participación de un ingeniero civil y un geólogo. Se considera que los suelos y las rocas en general tienen una permeabilidad media o cierto grado de permeabilidad, considerando al agua a través de los vacíos, de los poros, de las discontinuidades o de las fisuras.

De acuerdo con Braja (2001), los suelos tienen vacíos que están interconectados a través de los cuales el agua puede fluir de puntos de alta energía a puntos de baja energía. El estudio del flujo de agua a través de un suelo es importante en la mecánica de suelos, ya que es necesario para estimar las cantidades de infiltraciones subterráneas bajo varias condiciones hidráulicas, todo esto se hace para investigar problemas que implican el bombeo de agua para construcciones y para los análisis de estabilidad en las presas de tierra así como las estructuras de retención de tierra sometidas a fuerzas de infiltración.

“La permeabilidad de los suelos depende de varios factores: viscosidad del fluido, distribución del tamaño de los poros, distribución granulométrica, relación de vacíos, rugosidad de las partículas minerales y saturación del suelo. Otros factores mayores que afectan la permeabilidad de las arcillas son la concentración iónica y el espesor de las capas de agua adheridas a las partículas de arcilla” (Braja; 2001:83). Es importante saber que tan permeables son los suelos ya que todas las construcciones y obras de la ingeniería civil son apoyadas sobre el suelo, por lo cual se deben tener todos los cuidados y hacer los estudios necesarios para que toda obra no tenga fallas durante su vida útil, ya que los ingenieros tienen una gran responsabilidad ya que todas las obras que realizan dan servicios a más personas y se corre el peligro de daños a seres vivos lo cual no se quiere que haya.

Todos los suelos tienen permeabilidad por más mínima que sea, por ende existen varios métodos para poder calcular los valores de permeabilidad para los distintos tipos de suelos, todas estas pruebas de campo son analizadas en laboratorios de mecánica de suelos.

5.2. Ecuación de Bernoulli.

En la mecánica de fluidos es común que se mencione la ecuación de Bernoulli, la cual indica que la carga total en un punto de agua en movimiento se da como la suma de las cargas de presión, velocidad y elevación:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z$$

Donde:

- h = carga total
- u = presión
- v = velocidad
- g = aceleración de la gravedad
- γ_w = peso específico de agua

En esta ecuación de Bernoulli, la carga de altura Z es la distancia vertical de un punto dado arriba o debajo de un plano de referencia, la carga de presión es la U del agua en ese punto dividida entre el peso específico γ_w del agua. Si esta ecuación se aplica al flujo de agua a través de un suelo medio poroso, el término que contiene la carga de velocidad se desprecia porque la velocidad de infiltración es pequeña, la carga total en cualquier punto se representa adecuadamente por: $h = \frac{u}{\gamma_w} + z$.

5.3. Ley de Darcy.

Henri Philibert Gaspard Darcy en 1856 publicó una ecuación empírica para calcular la velocidad de descarga del agua a través de suelos saturados; la cual está basada principalmente en las observaciones que hizo Darcy, las cuales son relativas al flujo de agua a través de arenas limpias y es expresada por:

$$v = ki$$

Donde:

- v = velocidad de descarga, es la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de una sección transversal total unitaria de suelo perpendicular a la dirección del flujo.
- k = coeficiente de permeabilidad.

Donde el coeficiente de permeabilidad se expresa en la unidades de cm/s o m/s y la descarga en m^3 , se debe señalar que la longitud se expresa en mm o en m, por lo tanto, el coeficiente de permeabilidad debería expresarse en mm/s en vez de cm/s. Sin embargo, los ingenieros en geotecnia continúan usando cm/s como la unidad del coeficiente de permeabilidad. Una relación entre la velocidad de descarga y la velocidad de infiltración se deriva con referencia a la siguiente figura, en la cual se muestra un suelo de longitud L con un área de sección transversal total A , si la cantidad de agua que fluye a través del suelo en unidad de tiempo es q , entonces:

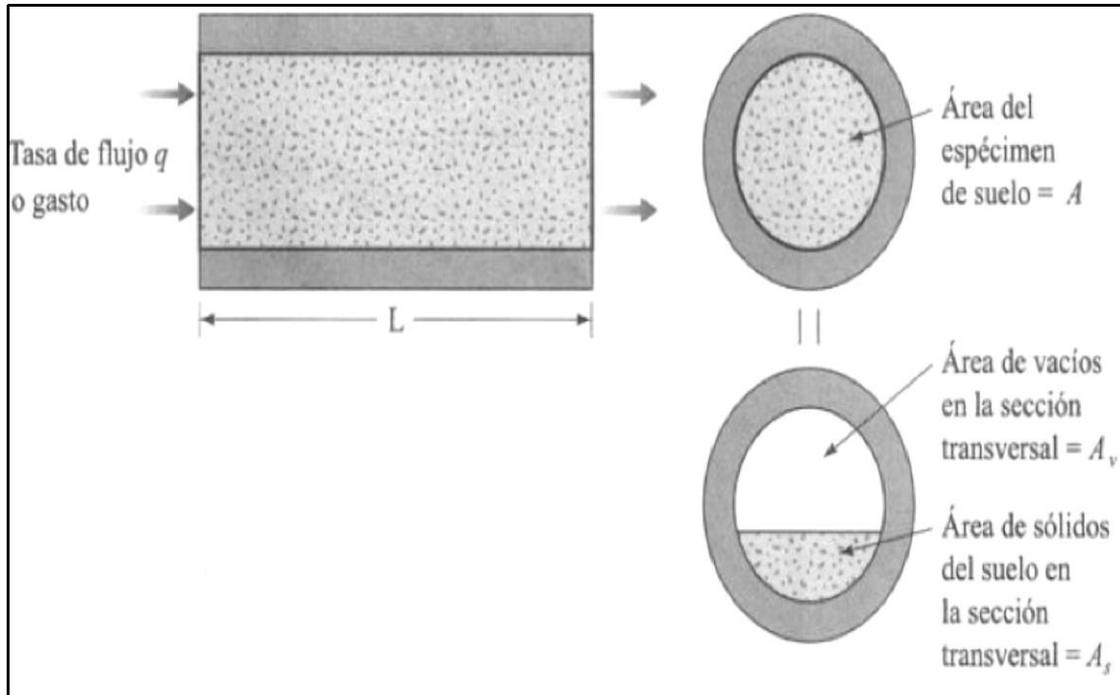


Imagen 5.1. Obtención de la ecuación de Darcy.

Fuente: Braja; 2001:82.

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava limpia	100 – 1
Arena gruesa	1.0 – 0.01
Arena fina	0.01 – 0.001
Arcilla limosa	0.001 – 0.00001
Arcilla	0.000001

Tabla 5.1. Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados.

Fuente: Braja; 2001:84.

El valor del coeficiente de permeabilidad k varía ampliamente para diferentes suelos, en la tabla 5.1 se dan algunos valores típicos para suelos saturados. La permeabilidad de suelos no saturados es menor y crece rápidamente con el grado de saturación, la permeabilidad también se relaciona con las propiedades del fluido que pasa a través del suelo por la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} \bar{K}$$

donde γ_w = peso específico del agua
 η = viscosidad del agua
 \bar{K} = permeabilidad absoluta

La permeabilidad absoluta " \bar{K} ", está expresada en unidad de longitud al cuadrado.

5.4. Determinación en laboratorio de la permeabilidad.

Dos pruebas estándar de laboratorio se usan para determinar la permeabilidad hidráulica del suelo: la prueba de carga constante y la prueba de carga variable.

Menciona Braja (2001), la prueba de carga constante se usa principalmente para suelos de grano grueso, sin embargo, para los de grano fino, las tasas de flujo a través del suelo son muy pequeñas y se prefieren por ello las pruebas de carga variable. A continuación se dará una explicación de cada una de estas pruebas.

5.4.1. Prueba de carga constante.

Un arreglo típico de la prueba de permeabilidad bajo carga constante se muestra en la imagen 5.2, en este tipo de arreglo de laboratorio, el suministro de agua se ajusta de tal manera que la diferencia de carga entre la entrada y la salida permanece constante durante el periodo de prueba. Después que se ha establecido una tasa constante de flujo, el agua es recolectada en una probeta graduada durante cierto tiempo. El volumen total de agua Q recolectada se expresa como:

$$Q = Avt = A(ki)t$$

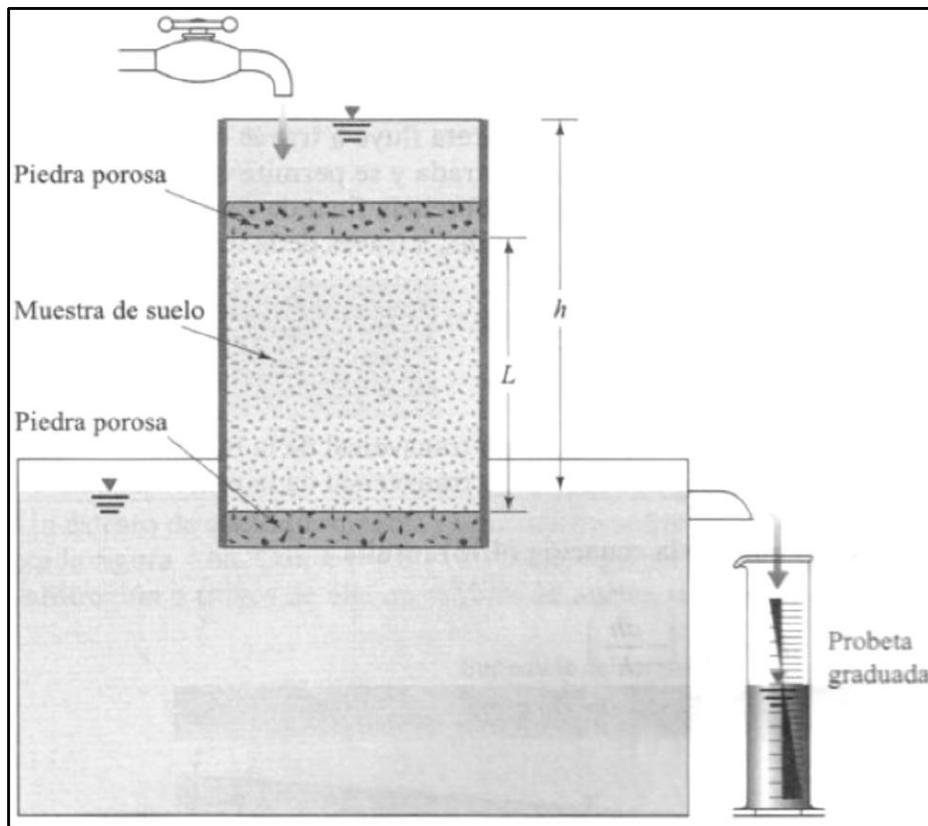


Imagen 5.2. Prueba de permeabilidad bajo carga constante.

Fuente: Braja; 2001:85.

Donde:

- A = área de la sección transversal de la muestra de suelo.
- T = duración de la recolección del agua.

Además:

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

Donde L = longitud del espécimen, por lo tanto se sustituye en la ecuación anterior y se tiene:

$$Q = A \left(k \frac{h}{L} \right) t$$

5.4.2. Prueba de carga variable.

Un arreglo típico de la prueba de permeabilidad bajo carga variable se muestra en la figura 5.3, en donde el agua de una bureta fluye a través del suelo, la diferencia inicial de carga h_1 , en el tiempo $t = 0$ es registrada y se permite que el agua fluya a través de la muestra de suelo de manera que la diferencia final de carga en el tiempo $t = t_2$ sea h_2 . La tasa de flujo q del agua, a través de la muestra en cualquier tiempo t se expresa por:

$$q = k \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt}$$

Donde:

- a = área de la sección transversal de la bureta.

- A = área de la sección transversal de la muestra de suelo.

Por lo tanto resulta:

$$dt = \frac{aL}{Ak} \left(-\frac{dh}{h} \right)$$

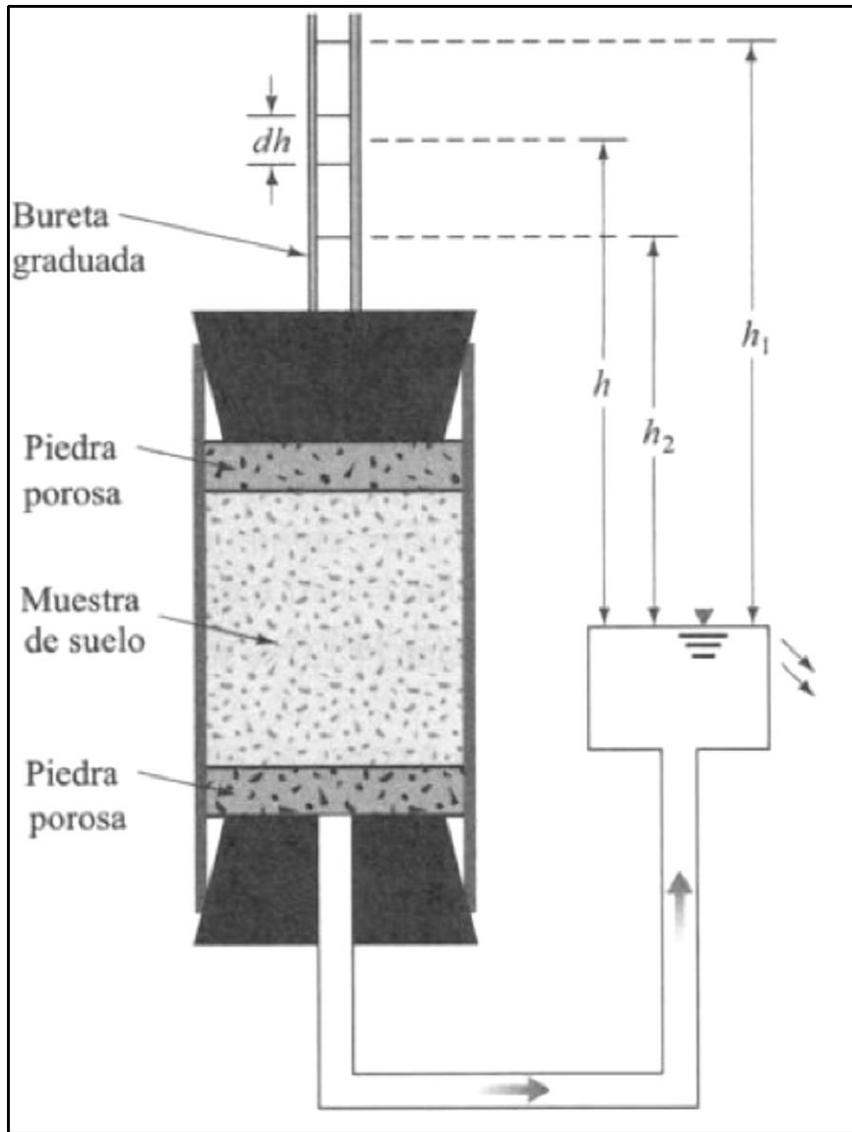


Imagen 5.3. Prueba de permeabilidad bajo carga variable.

Fuente: Braja; 2001:86.

5.5. Movimiento del agua en el suelo.

El flujo de agua a través de medios porosos como el suelo es de gran interés en la Mecánica de Suelos; centrandose su atención sobre el flujo combinado a través de todos los poros de una muestra y no el flujo que ocurre en cada poro individualmente. Este flujo está regido por algunas leyes y propiedades típicas del suelo y del fluido.

En la siguiente imagen se muestran los movimientos de aire y agua que se encuentran en el interior de los suelos, así como cuando se encuentra un estrato impermeable que no deja pasar el agua.

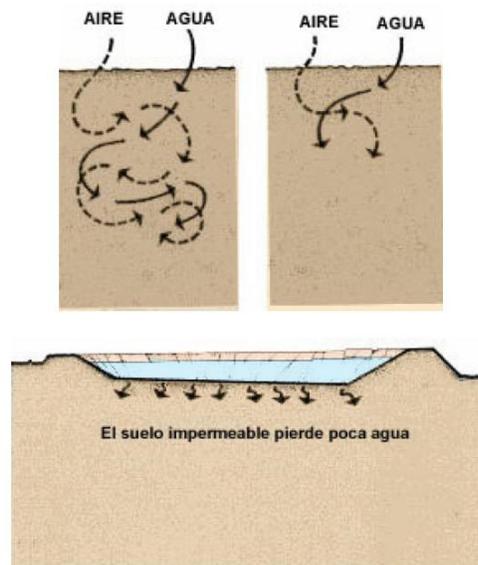


Imagen 5.4. Suelo impermeable.

Fuente: Carrera; 2014:1.

Recordando que la permeabilidad es la facultad con la que el agua pasa a través de los poros del suelo, es decir la capacidad de fluir entre estos.

La siguiente imagen presenta como se comporta el suelo permeable cuando pierde demasiada agua y las capas como se encuentran posicionadas en un suelo permeable.

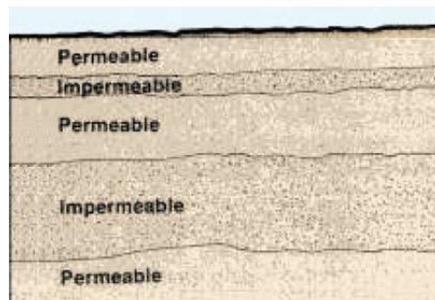
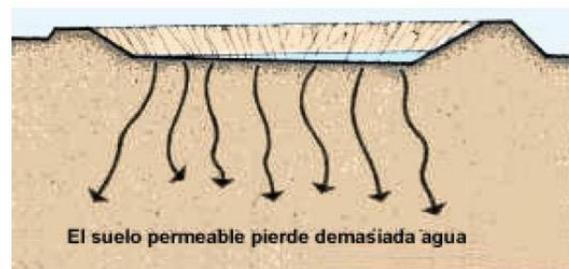


Imagen 5.5. Suelo permeable.

Fuente: Carrera; 2014:1.

Existen varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de los suelos, unos directos porque se basan en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición del coeficiente de permeabilidad del suelo "k"; y otros indirectos porque el coeficiente es hallado de forma indirecta por pruebas y técnicas que primariamente persiguen otros fines.

Estos métodos son los siguientes:

a) **Directos:**

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Prueba directa de los suelos en el lugar.

b) **Indirectos:**

- Calculo a partir de la curva granulométrica.
- Calculo a partir de la prueba de consolidación.
- Calculo con la prueba horizontal de capilaridad.



Imagen 5.6. Coeficientes de permeabilidad "K".

Fuente: Carrera; 2014:3.

Los factores que influyen en la permeabilidad de los suelos son:

- **La relación de vacíos del suelo:** Cuando un suelo es comprimido o vibrado, el volumen ocupado por los sólidos permanece invariable, mientras que el volumen de vacío disminuye, por lo tanto, la permeabilidad también disminuye. Casagrande propone el coeficiente de permeabilidad “K”.
- **La temperatura del agua:** De un análisis teórico del valor del coeficiente de permeabilidad del suelo es proporcional a la viscosidad cinemática del agua.
- **La estructura y estratificación del suelo:** El coeficiente de permeabilidad de un suelo inalterado es distinto al del mismo suelo remoldeado, cambia su estructura y estratificación. En el remoldeado quedan libres partículas de suelo, que al fluir el líquido las mueve y reacomoda, obstruyendo canales. En particular, si una arcilla es amasada a contenido de humedad constante, su valor de “k” disminuye con respecto al original.
- **La existencia de agujeros, fisuras, etc. en el suelo:** Heladas, ciclos alternados de humedecimiento y secado, efectos de vegetación y pequeños organismos pueden cambiar las condiciones del suelo, provocando discontinuidades, fisuras, agujeros, etc., que hacen que las características de permeabilidad de los suelos sean diferentes.

5.6. Ensayos de permeabilidad del suelo.

Anteriormente se han mencionado algunos de los ensayos que se hacen en laboratorio, falta mencionar algunos métodos más, que también son utilizados para medir la permeabilidad, ya que este estudio geotécnico es importante realizar antes de la construcción. En caso de que hubiere agua subterránea en movimiento, en régimen permanente u ocasional, debe determinarse la permeabilidad de dicho terreno. Es preciso efectuar ensayos "In Situ", no siempre las mediciones de permeabilidad hechas con muestras de laboratorio no son confiables ni concluyentes sobre el comportamiento del terreno.

Estas mediciones son puntuales y mediante ellas se practican perforaciones para su obtención de valores indicativos de la permeabilidad del suelo. Existen dos tipos de mediciones:

- **Nivel constante:** Se introduce un caudal conocido para mantener el mismo nivel dentro de la perforación. Al estabilizar el proceso, con ese caudal conocido, la longitud y diámetro de la perforación, se calcula la permeabilidad.
- **Nivel variable:** Se introduce o se extrae un volumen de agua en un sondeo de diámetro pequeño (entre 5 y 10 cm) en forma súbita, esto provoca un descenso a ascenso instantáneo del nivel y tiempo a medida que va recuperando el nivel original.

Además de las pruebas de carga variable y constante, existen más pruebas como son los ensayos de carga variable decreciente y carga variable creciente. En general cualquiera de los métodos de carga variable deben ser usados solo cuando la permeabilidad del suelo sea lo suficientemente baja, para permitir una determinación del nivel de agua certero, por ejemplo limos o arcillas. En el ensayo de carga decreciente el flujo se dirige desde la perforación hacia el suelo que lo rodea, en el de carga creciente del agua fluye desde los alrededores hacia el pozo.

- **Método de la carga variable decreciente:** En este ensayo, la perforación se llena con agua, la que luego podrá filtrarse hacia el suelo, la tasa de cambio del nivel superficial de agua se observa midiendo la profundidad del nivel de agua debajo del extremo superior de la perforación a 1, 2 y 5 minutos luego de haber empezado el ensayo y luego a intervalos de 5 minutos hasta la diferencia entre 2 lecturas consecutivas sea despreciable o el número de lecturas permita determinar satisfactoriamente la permeabilidad.
- **Método de la carga variable creciente:** Este método consiste en dejar fluir el agua dentro del pozo, midiendo la tasa de cambio en el nivel del agua a medida que asciende, hasta que el ascenso del nivel del agua en el pozo se torne muy pequeño. Los intervalos de lectura varían de acuerdo a la permeabilidad del suelo y nunca son menores a 5 minutos.
- **Ensayo de carga constante:** En aquellos suelos donde los valores de permeabilidad son altos, se utiliza el método de carga constante. Son de interés para el caso de materiales como las arenas o gravas, en

donde la extracción de muestras inalteradas para realizar experiencias en laboratorio se torna imposible o muy dificultosa, el método de la carga constante consiste en añadir agua a la perforación en una proporción suficiente como para mantener un nivel de agua constante cerca o en el borde del agujero, por un periodo no menor a 10 minutos. El agua entrante debe medirse, las anotaciones deben incluir el gasto de agua a los 5 minutos de haberse iniciado la experiencia y por intervalos de 5 minutos hasta la cantidad de agua ingresada sea constante.

Las pruebas descritas anteriormente se realizan a medida que se avanza en la perforación, cada vez que se alcanza el nivel en donde quiere realizarse el estudio, utilizando en dichas perforaciones agua limpia a los fines de evitar la formación de filtros u obstrucción de poros por presencia de sedimentos y eliminando dentro de las mismas todo el material alterado, a través de la utilización de equipo adecuado. El Código Técnico de la Edificación "CTE" menciona dos ensayos empleado para medir la permeabilidad del terreno en sonde (In Situ), los cuales son:

- **Ensayos Lefranc:** Ensayo de carga constante o variable; se le emplea para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular, situados por debajo del nivel freático y en rocas muy fracturadas. Consiste en rellenar de agua el sonde y medir el caudal que se necesita para mantener constante el nivel; o se mide la velocidad de descenso del nivel de agua. Se mide el caudal de admisión cada 5 minutos manteniendo en la boca del sondeo el nivel

constante durante 45 minutos. Si la admisión es muy alta, se mide por minuto durante 20 minutos y luego cada 5 minutos hasta completar los 45 minutos. Este ensayo, antes de medir tiempos y caudales, requiere que el sondeo se llene de agua, controlando que el aire es expulsado y luego se estabiliza el nivel y velocidad de descenso, lo cual indica que ya se ha logrado el régimen permanente.

- **Ensayo Lugeon (Terreno Rocoso):** En los macizos rocosos la permeabilidad representa una de las características de mayor variabilidad dentro de la misma formación rocosa. Es por ello que, al cuantificar la permeabilidad lo que se obtiene es un orden de magnitud. Este ensayo se efectúa en el interior de sondeos, es un procedimiento muy difundido que sirve para calcular el coeficiente de permeabilidad en profundidad. Su aplicación es muy útil para valorar la permeabilidad global de un macizo rocoso, por ello se lo usa en terrenos poco permeables y cohesivos. Consiste en la medida del volumen de agua que se puede inyectar en un tramo del sondeo, de longitud "L", durante un tiempo T y a una determinada presión H que ha de mantenerse constante. El tramo donde se va a realizar el procedimiento se aísla mediante un obturador superior, y es el fondo del sondeo que actúa como obturador inferior. La permeabilidad obtenida se expresa en unidades Lugeon (Lg). La unidad Lugeon vale 1 litro por minuto y metro, bajo una presión de 10 Kg/cm²; esto equivale aproximadamente
 - 1×10^{-7} m/s.

Ensayo de campo preciso para medir las tasas de permeabilidad:

A continuación se muestra como se hace las pruebas en campo para poder medir las tasas de permeabilidad de los suelos.

Paso 1.- Excave un hoyo de aproximadamente 30 cm de diámetro hasta alcanzar el horizonte superior menos permeable.

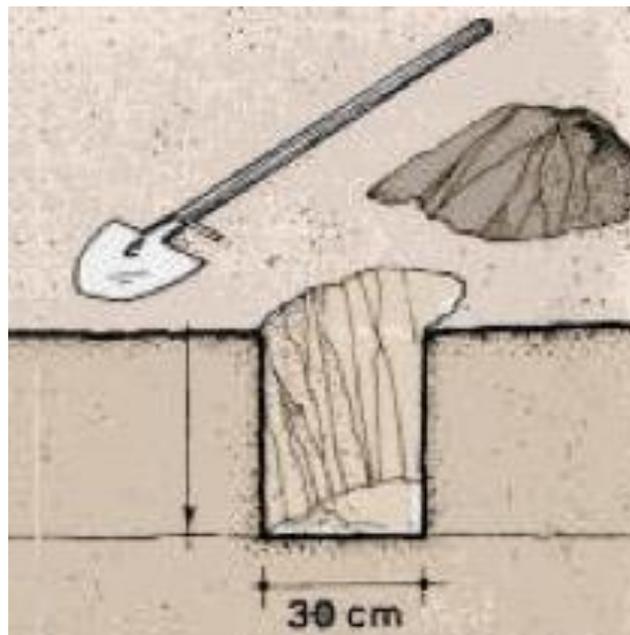


Imagen 5.7. Excavación de hoyo con 30 cm de diámetro.

Fuente: Carrera; 2014:7.

Paso 2.- Recubra completamente las paredes del hoyo con arcilla pesada mojada o revístalas con una lámina de material plástico, si dispone de ella, para impermeabilizarlas.

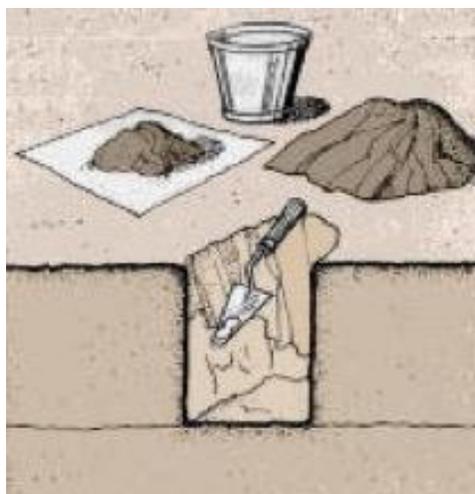


Imagen 5.8. Recubrimiento de paredes con arcilla.

Fuente: Carrera; 2014:7.

Paso 3.- Vierte agua en el hoyo hasta que esta alcance unos 10 cm de profundidad.

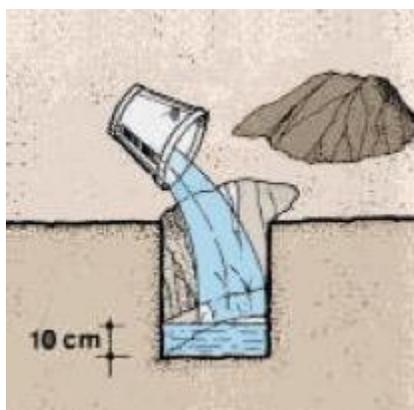


Imagen 5.9. Verter agua en el hoyo a 10 cm.

Fuente: Carrera; 2014:7.

Al principio el agua se filtrará con bastante rapidez y tendrá que reponerla a medida que desaparezca. La filtración disminuirá cuando los poros del suelo se saturen de agua. Entonces podrá medir la permeabilidad del horizonte de suelo en el fondo del hoyo.

Paso 4.- Cerciórese de que el agua contenida en el hoyo tiene unos 10 cm de profundidad como antes. Si no es así, añada agua hasta alcanzar esa profundidad.

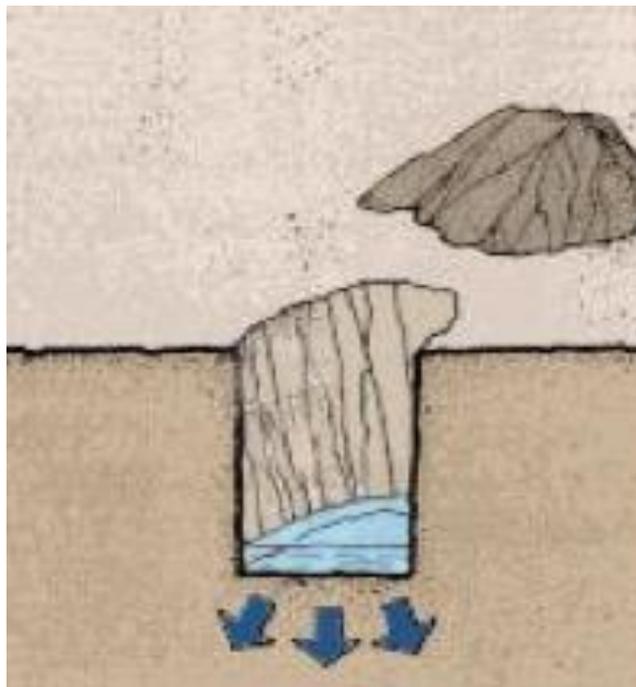


Imagen 5.10. Comportamiento del agua en el hoyo.

Fuente: Carrera; 2014:7.

Paso 5.- Introduzca en el agua una vara de medir y anote la profundidad exacta del agua en milímetros.

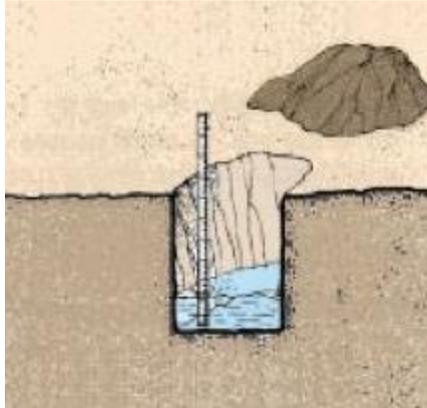


Imagen 5.11. Vara dentro del agua.

Fuente: Carrera; 2014:7.

Paso 6.- Compruebe el nivel del agua en el hoyo cada hora, durante varias horas. Anote la tasa de filtración por hora, si el agua se filtra con demasiada rapidez, añada agua hasta alcanzar nuevamente el nivel de 10 cm. Mida con sumo cuidado la profundidad del agua.

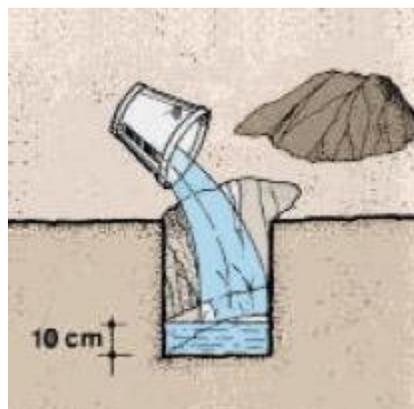


Imagen 5.12. Tasa de filtración de agua por hora.

Fuente: Carrera; 2014:7.

Paso 7.- Cuando las mediciones por hora sean casi iguales, la tasa de permeabilidad es constante y puede dejar de medir. Si hay grandes diferencias en la filtración por hora, continúe añadiendo agua en el hoyo para mantener la profundidad de 10 cm hasta que la tasa de filtración se mantenga casi igual.

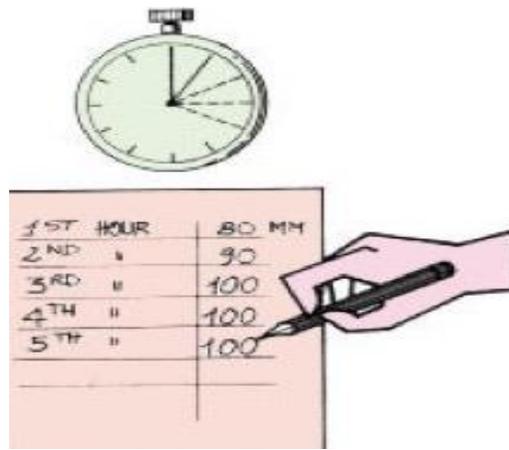


Imagen 5.13. Mediciones de tiempo.

Fuente: Carrera; 2014:8.

El horizonte de suelo debe tener un espesor por lo menos de 0.7 a 1 metros.

5.6.1. Ensayo de consolidación unidimensional.

Para comenzar con la prueba de consolidación unidimensional, es necesario contar con material de laboratorio y en especial con un consolidómetro que se muestra a continuación, además de la prueba que se va ensayar y cómo debe ser colocada.

La siguiente imagen muestra lo que es únicamente el consolidómetro:

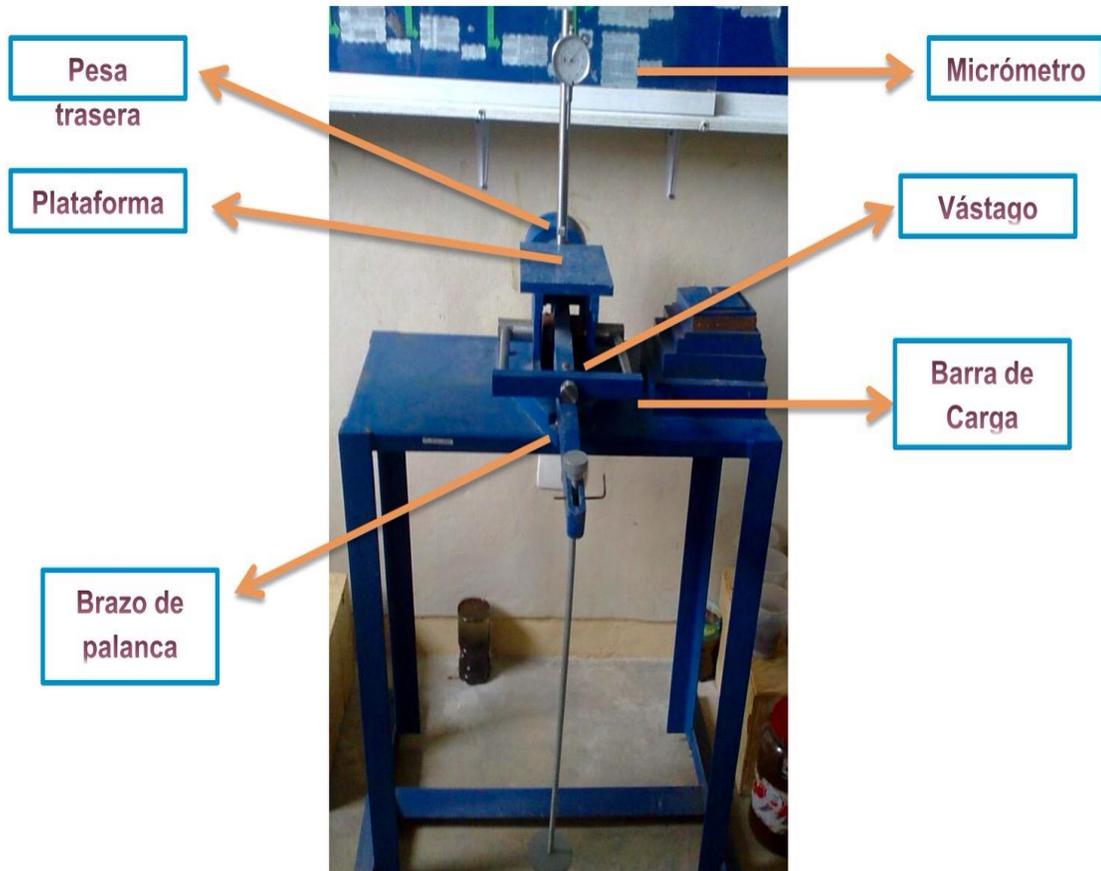


Imagen 5.7. Consolidómetro y sus partes.

Fuente: Propia.

En la siguiente imagen se muestra la parte del ensaye y las partes que lo componen:

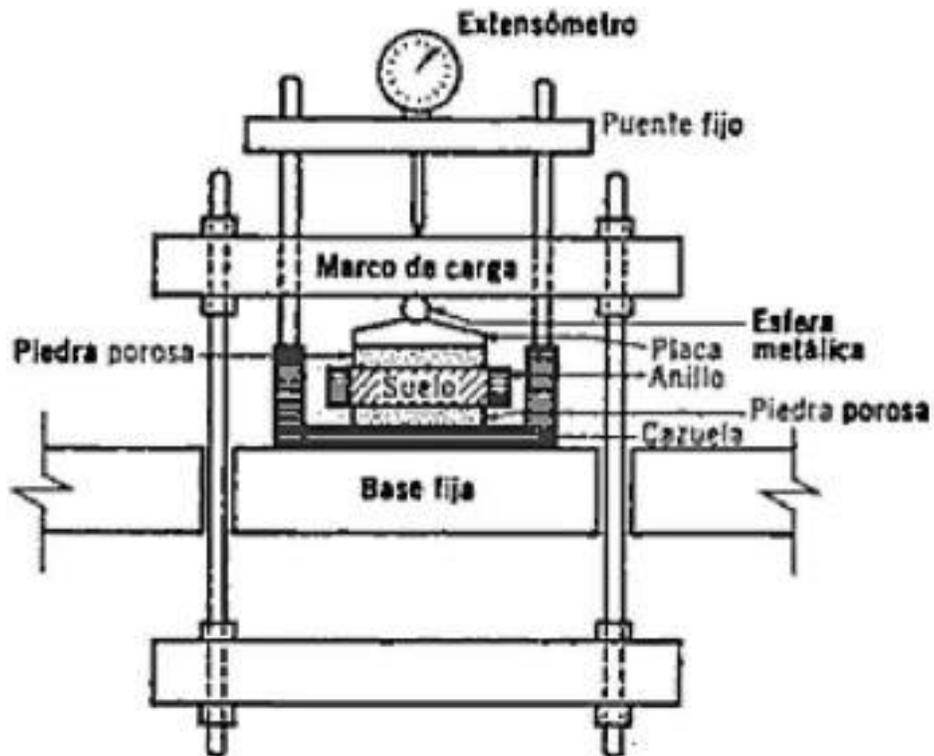


Imagen 5.8. Colocación y partes del ensayo.

Fuente: biblioteca.uns.edu.pe.

Se debe contar con el material listo, este consiste en la muestra alterada de suelo del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, la cual debe ser saturada para lograr que al momento de la prueba el material sea más manejable para poder colocarlo en el anillo. Una vez que se tiene la muestra y habiendo logrado su consistencia adecuada, se procede a colocarla con mucho cuidado en el anillo.

A continuación se presentan fotografías de la prueba en campo que se hizo en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, utilizando el método más adecuado que es el de consolidación unidimensional, para analizar el problema de

hundimientos que se están sufriendo y filtraciones de agua a través de muros y laderas.

La siguiente fotografía se observa cómo es la colocación de la muestra de suelos en los anillos para la consolidación, se debe cortar material ya sea con un cuchillo o navajas de cúter, excavar con las navajas para hacer una pequeña plataforma de material y ahí colocar los anillos, se le debe dar forma a la plataforma del anillo para irlo hundiendo hasta que se queda todo el material dentro del anillo. A continuación se presenta la prueba:



Fotografía 5.1. Colocación del material de la prueba.

Fuente: Propia.

La siguiente fotografía muestra la realización de la plataforma para sacar el anillo con el material, así como la limpieza de raíces y hojas que se encontraban en el suelo:



Fotografía 5.2. Colocación del material de la prueba.

Fuente: Propia.

La siguiente imagen muestra ya el material dentro del anillo, al cual se le debe dar un enrase para que se caiga el exceso de material del anillo.



Fotografía 5.3. Material dentro del anillo.

Fuente: Propia.

El enrase se debe hacer perfectamente a los bordes de ésta, para que queden justo con los del anillo, para poder colocar el papel filtro que se pone en la parte superior e inferior junto con las piedras porosas, no debe existir deslindamientos o perdidas de material que puedan resultar contraproducentes en la prueba:

Se debe tener en cuenta que la prueba antes de ser puesta en el consolidómetro se debe pesar, la siguiente fotografía se muestra el pesaje de la prueba.



Fotografía 5.4. Pesaje de la prueba.

Fuente: Propia.

Lo siguiente es colocarle a la prueba papel filtro del tamaño de las piedras porosas, puede ser cualquier hoja de papel y recortar de la forma de circular de las

piedras porosas, luego se coloca en la parte superior la placa y balina que entrarán en contacto directo con el micrómetro.

La siguiente fotografía muestra la colocación de la prueba ya en el consolidómetro junto con los demás elementos, el micrómetro se debe cuidar cuidadosamente y asegurarse que toque correctamente al consolidómetro:



Fotografía 5.5. Colocación de la prueba en el consolidómetro.

Fuente: Propia.

La prueba se debe nivelar perfectamente para que exista una correcta distribución de las carga que se transmiten por medio del brazo de palanca hacia la barra de carga y, además, se debe tener en cuenta la colocación de agua dentro de

la cápsula hasta el nivel del anillo en la segunda carga que se hará, ya que se requiere evitar pérdidas por temperatura a la que se realice la prueba.

La siguiente fotografía muestra la primera carga que se le hace a la prueba, con la pesas del consolidómetro:



Fotografía 5.6. Primera carga con las pesas del consolidómetro.

Fuente: Propia.

En la segunda carga de cuatro que se le deben aplicar se debe saturar de agua la prueba todo esto para que no pierda temperatura y vaya afectar las propiedades del material.



Fotografía 5.7. Colocación de agua para saturar la prueba.

Fuente: Propia.

La siguiente fotografía muestra los consolidómetros que fueron utilizados en el laboratorio de materiales de la Universidad Don Vasco en Uruapan Michoacán.



Fotografía 5.8. Consolidómetros de la Universidad Don Vasco.

Fuente: Propia.

Durante los siguientes tres días después de la colocación de la prueba se estuvieron tomando medidas que arrojaban los micrómetros. La prueba de consolidación después de la colocación de cada pesa se deben estar registrando las medidas que arroja el micrómetro en el orden siguiente: Después de los primeros 4 segundos, luego 15 segundos, a los 30 segundos, al 1 minuto, a los 2 minutos, a los 4 minutos, a los 8 minutos, a los 15 minutos, a la ½ hora, a la 1 hora, a las 2 horas y 8 horas. Todo esto después de la colocación de cada una de las pesas, cada prueba de consolidación lleva en su proceso cuatro cargas, por lo cual es una prueba que se debe llevar a cabo una buena observación y registro de las medidas en los micrómetros.

En las siguientes fotografías se muestran las observaciones de las medidas en los micrómetros que se llevaron a cabo en los días siguientes a la colocación:



Fotografía 5.9. Día 2, observación de la prueba después de la tercer carga.

Fuente: Propia.



Fotografía 5.10. Último día de observación de las cargas de consolidación.

Fuente: Propia.

Después de las 32 horas de observación de las cargas que se aplicaron en el consolidómetro, se comienza con las descargas. En las descargas se lleva a cabo el siguiente proceso: Se comienza quitando la última pesa que se agregó y cada 10 minutos se comienza a tomar medidas, hasta cuando empiece arrojar la misma medida se descarga la siguiente pesa y, así, sucesivamente con las demás pesas.

La siguiente fotografía se muestra el proceso de las descargas realizadas en el laboratorio de suelos:



Fotografía 5.11. Descarga de la prueba.

Fuente: Propia.



Fotografía 5.12. Descargas de la prueba.

Fuente: Propia.

En la siguiente imagen se muestran todas las pesas después de que se descargó cada una de las pruebas:



Fotografía 5.13. Pesas de la prueba de consolidación.

Fuente: Propia.

Después de todas las descargas se lleva a cabo el secado de la prueba y se le quita el agua junto con el papel filtro y las placas, todo esto cuidando la prueba para que no se vaya a perder material, se deja secar, se muestra a continuación las pruebas desmontadas del consolidómetro:



Fotografía 5.14. Pruebas desmontadas de los consolidómetro.

Fuente: Propia.

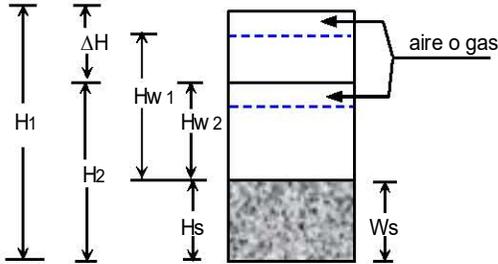
PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL.

OBRA: TESIS PARQUE NACIONAL "BARRANCA DEL CUPATITZIO" FECHA INICIO : 05/10/2015
 UBICACIÓN : URUAPAN, MICHOACÁN FECHA FIN : 08/10/2015
 No. ENSAYE : 1 SONDEO No: 1
 MUESTRA No: 1 PROF: _____ MUESTRA No. _____
 DESCRIPCION: MAATERIAL FINO DE TIPO LIMOSO, COLOR CAFÉ OSCURO CALCULISTA: _____

DETERMINACION DE W	PRINCIPIO DE LA PRUEBA.	FINAL DE LA PRUEBA.
ANILLO Y VIDRIO No.	1	1
PESO TARA + SUELO HUMEDO.	371.70	383.24
PESO TARA + SUELO SECO.	335.00	335.00
PESO DEL AGUA.	36.70	48.24
PESO TARA.	190.00	190.00
PESO SUELO SECO. Ws	145.00	145.00
CONTENIDO DE AGUA. W %	25.3%	33.3%
W % PROMEDIO.	W1 =	W2 = 33.3%

ANILLO No: 1 DIAMETRO ANILLO cm: 7.70 AREA ANILLO A cm² = 46.57

ALTURA DEL ANILLO = ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA = H1 25.00 mm.



PESO ESP. RELATIVO SOLIDOS. Ss = 2.950

ALTURA DE SOLIDOS. mm. Hs = 10 Ws / A Ss = 10.555

VARIACION EN LA ALTURA DEL PRINCIPIO AL FINAL DE LA PRUEBA. ΔH mm. = 3.9370

Lectura Inicial = 1542.00
Lectura Final = 1387.00

ALTURA FINAL DE LA MUESTRA mm.	H2 = H1 - ΔH = <u>25.0 - 2.0447</u> <u>21.063</u>
ALTURA INICIAL DEL AGUA. mm.	Hw1 = W1 Ss Hs = <u>(1.511) (2.75) (3.813)</u> <u>7.881</u>
ALTURA FINAL DEL AGUA. mm.	Hw2 = W2 Ss Hs = <u>(1.854) (2.75) (3.813)</u> <u>10.359</u>
RELACION DE VACIOS INICIAL.	e1 = (H1 - Hs) / Hs = <u>(25.0 - 3.813) / 10.555</u> <u>1.368</u>
RELACION DE VACIOS FINAL	e2 = (H2 - Hs) / Hs = <u>(22.955 - 3.813) / 10.555</u> <u>0.995</u>
GRADO DE SATURACION INICIAL. %	G1 = Hw1 / (H1 - Hs) = <u>7.881 / (25.0 - 3.813)</u> <u>54.56%</u>
GRADO DE SATURACION FINAL. %	G2 = Hw2 / (H2 - Hs) = <u>10.359 / (22.955 - 3.813)</u> <u>98.59%</u>

EN EL CALCULO DE RELACIONES DE VACIOS, USENSE LOS VALORES SIGUIENTES :

Hs = 2H0 10.555 mm. H1 25.00 mm.

OBSERVACIONES: _____

**HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CONSOLIDACION.
CARGAS.**

Consolidómetro No. 1
 Micrómetro Número. Mitutoyo en : 0.01 Ptg.
 Constante para conversión a milímetros : 0.0254

Hoja No. 2/4
 Ensaye -
 Prof. 0.00

Incremento :		0.199 kg/cm ²				Carga Total		0.3798 kg/cm ²			
FECHA TEMP.	HORA	TIEMPO.				RAIZ TIEMPO	LECTURA	DEFORM. LINEAL	DEFORM APARAT	DEFORM TOTAL	OBSERV.
		HRS.	MIN.	SEG.	SEG.						
					0	0.00	1365.0				
				4	4	2.00	1365.0	0.000		0.000	
				15	15	3.87	1365.0	0.000		0.000	
				30	30	5.48	1365.0	0.000		0.000	
			1	0	60	7.75	1365.0	0.000		0.000	
			2	0	120	10.95	1365.0	0.000		0.000	
			4	0	240	15.49	1365.0	0.000		0.000	
			8	0	480	21.91	1365.0	0.000		0.000	
			15	0	900	30.00	1365.0	0.000		0.000	
			30	0	1800	42.43	1365.0	0.000		0.000	
		1	0	0	3600	60.00	1365.0	0.000		0.000	
		2	0	0	7200	84.85	1365.0	0.000		0.000	
		4	0	0	14400	120.00	1365.0	0.000		0.000	
		8	0	0	28800	169.71	1365.0	0.000		0.000	
DEFORMACION TOTAL :							1365.0	0.000		0.000	
Incremento :		0.199 kg/cm ²				Carga Total :		0.5788 kg/cm ²			
FECHA TEMP.	HORA	TIEMPO.				RAIZ TIEMPO	LECTURA	DEFORM. LINEAL	DEFORM APARAT	DEFORM TOTAL	OBSERV.
		HRS.	MIN.	SEG.	SEG.						
					0	0.00	1365.0				
				4	4	2.00	1364.0	0.025		0.025	
				15	15	3.87	1364.0	0.025		0.025	
				30	30	5.48	1364.0	0.025		0.025	
			1	0	60	7.75	1364.0	0.025		0.025	
			2	0	120	10.95	1364.0	0.025		0.025	
			4	0	240	15.49	1364.0	0.025		0.025	
			8	0	480	21.91	1364.0	0.025		0.025	
			15	0	900	30.00	1364.0	0.025		0.025	
			30	0	1800	42.43	1364.0	0.025		0.025	
		1	0	0	3600	60.00	1364.0	0.025		0.025	
		2	0	0	7200	84.85	1364.0	0.025		0.025	
		4	0	0	14400	120.00	1364.0	0.025		0.025	
		8	0	0	28800	169.71	1364.0	0.025		0.025	
DEFORMACION TOTAL :							1364.0	0.025		0.025	

**HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CONSOLIDACION.
DESCARGAS.**

Consolidómetro No. 1
 Micrómetro Número. Mitutoyo en : 0.01 Ptg.
 Constante para conversión a milímetros : 0.0254

Hoja No. 3/4
 Ensaye -
 Prof. 0.00

FECHA TEMP.		HORA	TIEMPO.				RAIZ TIEMPO	LECTURA	DEFORM. LINEAL	DEFORM APARAT	DEFORM TOTAL	OBSERV.
			HRS.	MIN.	SEG.	SEG.						
Decremento : -0.199 kg/cm ² Carga Total 0.3798 kg/cm ²												
						0	0.00	1364.0				
			10	0	000	24.49	1373.0	-0.229		-0.229		
			20	0	1200	34.64	1373.0	-0.229		-0.229		
			30	0	1800	42.43	1373.0	-0.229		-0.229		
RECUPERACION TOTAL :								0.229				
Decremento : -0.199 kg/cm ² Carga Total 0.1808 kg/cm ²												
						0	0.00	1373.0				
			10	0	000	24.49	1379.0	-0.152		-0.152		
			20	0	1200	34.64	1379.0	-0.152		-0.152		
			30	0	1800	42.43	1379.0	-0.152		-0.152		
RECUPERACION TOTAL :								0.152				
Decremento : -0.121 kg/cm ² Carga Total 0.0598 kg/cm ²												
						0	0.00	1379.0				
			10	0	000	24.49	1384.0	-0.127		-0.127		
			20	0	1200	34.64	1384.0	-0.127		-0.127		
			30	0	1800	42.43	1384.0	-0.127		-0.127		
RECUPERACION TOTAL :								0.127				

**HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CONSOLIDACION.
DESCARGAS.**

Consolidómetro No. 1
 Micrómetro Número. Mitutoyo en : 0.01 Ptg.
 Constante para conversión a milímetros : 0.0254

Hoja No. 4/4
 Ensaye -
 Prof. 0.00

Decremento : <u>-0.060</u> <i>kg/cm²</i>		Carga Total		0.0000 <i>kg/cm²</i>							
FECHA TEMP.	HORA	TIEMPO.				RAIZ TIEMPO	LECTURA	DEFORM. LINEAL	DEFORM APARAT	DEFORM TOTAL	OBSERV.
		HRS.	MIN.	SEG.	SEG.						
00/01/1900	12:50			0		0.00	1384.0				
			10	0	600	24.49	1385.0	-0.025		-0.025	
			20	0	1200	34.64	1387.0	-0.076		-0.076	
			30	0	1800	42.43	1387.0	-0.076		-0.076	
RECUPERACION TOTAL :								0.076			

CONSOLIDACION RESUMEN DE DATOS Y CALCULOS.

OBRA: TESIS PARQUE NACIONAL "BARRANCA DEL CUPATITZIO"	CONSOLID. No. 1	Peso Volumétrico gw = 1.561 ton/m ³
LOCALIZACION: URUJAPAN, MICHOACÁN	FECHA: 08/10/2015	Peso sólidos. Ws = 145.00 gm.
No. ENSAYE: 1 PROF: 0.00	OPERADOR: 0	Densidad: Ss = 2.950
SONDEO: 1 ESTRATO: TRES	CALCULISTA: 0	Area probeta. Ac = 46.57 cm ²
DESCRIPCION: MAATERIAL FINO DE TIPO LIMOSO, COLOR CAFÉ OSCURO	REVISO:	Esp. sólidos 2H0 = 10.555 mm.
		Esp. inicial. H1 = 25.00 mm.

TEMP	PRESION P	DEFORM LINEAL	DEFORM ACUMUL	DEFORM UNITARIA	ESPEJOR COMP.	2H-2H0	e=2H-2H0/2H0	REL. CONS PRIMARIA	av	Mv	Hm	Hm ²	t ₅₀	Cv	em	Km 20°	Pm
(°)	kg/cm ²	δ (mm)	δ _{ac} (mm)	e %	2H (mm)	mm		r	cm ² /kg	cm ² /kg	cm	cm ²	seg	cm ² /seg		cm/seg	kg/cm ²
	0.0000	0.000	0.000	0.00	25.00	14.445	1.368										
	0.0598	2.616	2.616	10.46	22.384	11.828	1.121										
	0.1808	1.880	4.496	17.98	20.504	9.949	0.943										
	0.3798	0.000	4.496	17.98	20.504	9.949	0.943										
	0.5788	0.025	4.521	18.08	20.479	9.923	0.940										
	0.3798	0.229	4.750	19.00	20.707	10.152	0.962										
	0.1808	0.152	4.597	18.39	20.860	10.304	0.976										
	0.0598	0.127	4.470	17.88	20.987	10.431	0.988										
	0.0000	0.076	4.394	17.58	21.063	10.508	0.995										

$r = \frac{ds - d_{100}}{d_{60} - d_f}$

$C_v = \frac{0.197 Hm^2}{t_{50}}$

$av = \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1}$

$km = \frac{C_v av \gamma_w}{(1+em) 1000}$

$M_v = \frac{av}{1+e}$

SUCS =

LL =

LP =

IP =

W_i = 25.3%

e_i = 1.368

G_i = 54.6%

W_f = 33.3%

e_f = 0.995

G_f = 98.6%

av = Coef. de Compresibilidad.

Mv = Coef. de Variación Volumétrica.

Cv = Coef. de Consolidación.

r = Rel. de Consolidación Primaria.

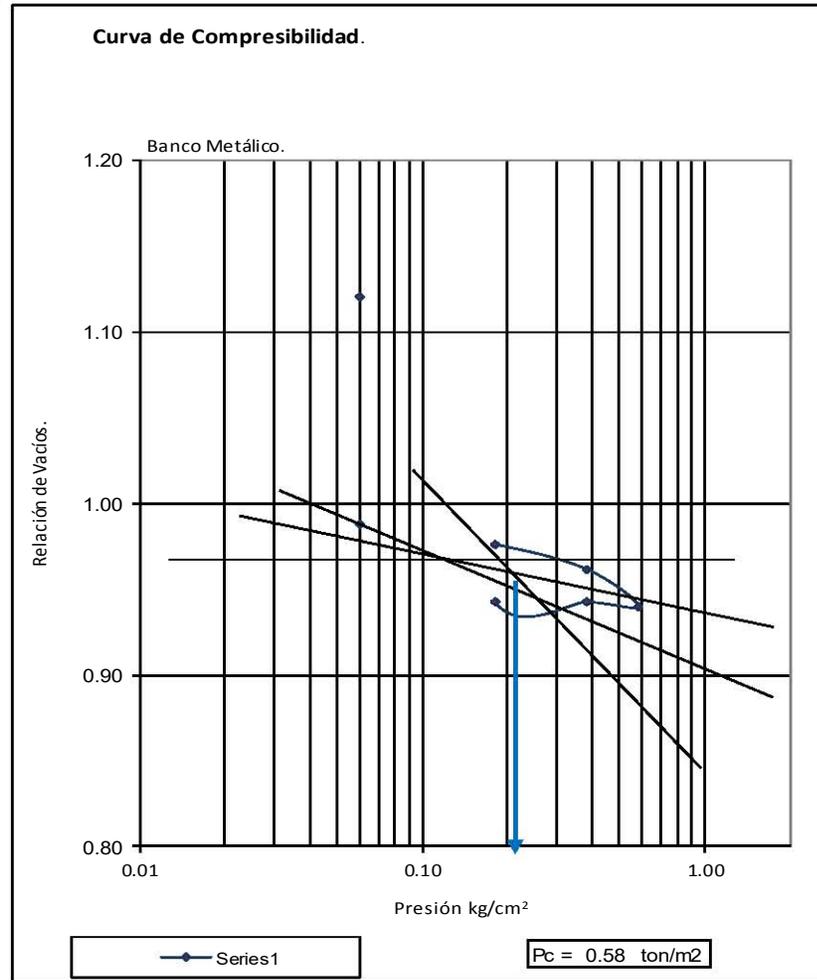
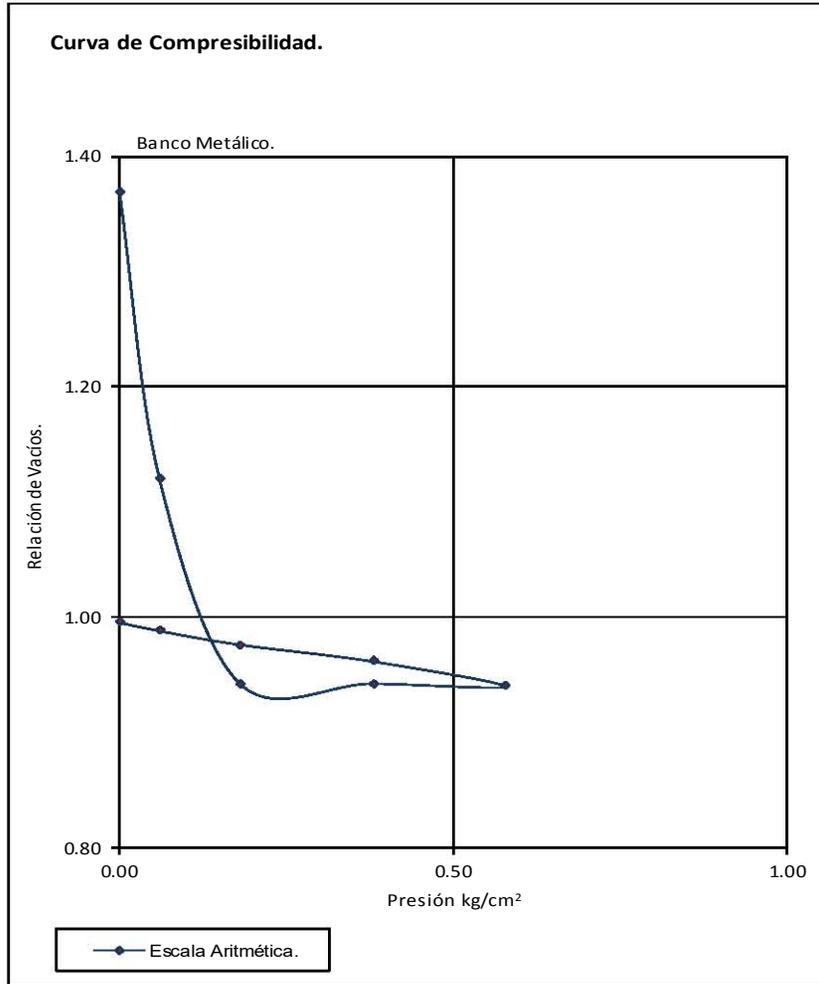
km = Coef. de Permeabilidad.

em = Rel. vacios media.

Pm = Presión media.

OBSERVACIONES : _____

CURVAS DE COMPRESIBILIDAD



TIPO DE OBRA: TESIS PARQUE NACIONAL "BARRANCA DEL CUPATITZIO"

FECHA: _____

LUGAR: URUAPAN, MICHOACÁN

OPERADOR: _____

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: MATERIAL FINO DE TIPO LIMOSO

CALCULO: _____

ENSAYE: _____ SONDEO: UNO ESTRATO: UNO PROFUND: _____

REVISÓ: _____

Finalmente con los resultados obtenidos de los aparatos de pre consolidación de la Universidad Don Vasco, se pudieron obtener los resultados buscados para resolver los objetivos de la presente investigación como son:

- La humedad del suelo.
- La carga que resiste el suelo.
- Permeabilidad.

Todos estos resultados que se obtuvieron de la prueba de consolidación son importantes para poder resolver la problemática que sufre el Parque Nacional, dar posibles soluciones después de las pruebas y poder observar si los problemas que se notaban a simple vista como son las infiltraciones, agrietamientos, hundimientos del suelo, deslaves, etc.; eran las principales causas de esta problemática.

Con los resultados obtenidos se observa que sí son causas principales los agrietamientos e infiltraciones del agua además de que los suelos en donde se presentan los deslaves y hundimientos, la tierra se encuentre muy suelta, además, se encuentran muchos árboles que con las mismas raíces han ido creando vacíos en la tierra los cuales hacen que el suelo pierda capacidad de carga y se empiezan a presentar deslaves y hundimientos.

La principal causa de este problema es que en la parte alta del Parque Nacional se ubica el canal que distribuye agua a todas las fuentes que se encuentran, y en una zona de este canal se está infiltrando mucha agua al subsuelo, por lo que se provocan estos hundimientos, una de las soluciones principales sería

revestir este canal para que ya no haya más infiltraciones al subsuelo y se vayan a presentar más deslaves.



Imagen 5.15.- Canal que distribuye agua a las fuentes del Parque Nacional.

Fuente: Propia.

En la imagen anterior se aprecia cómo en el canal se empieza a generar un remolino y es porque el agua se infiltra en esa zona al subsuelo, lo cual es necesario revestirlo para poder solucionar este problema.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se planteó como objetivo general, analizar por qué en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” están sufriendo agrietamientos en las estructuras de las partes altas del parque, analizar los suelos y deslaves que se han estado presentando conforme a pasado el tiempo, dar una posible solución al problema realizando pruebas de mecánica de suelos. Por lo cual el objetivo se cumplió al observar que las causas que generaron dichos agrietamientos y hundimientos fueron por las infiltraciones de agua que se generan desde el canal que distribuye el agua a todas las fuentes del Parque Nacional, ya que en una zona se presentaba turbulencias en el agua, donde se estaba infiltrando agua al subsuelo la cual afecto a los senderos y muros del parque causando hundimientos y deslaves. El objetivo general de la presente investigación se pudo resolver al realizar pruebas de consolidación de suelos para poder observar que capacidad de carga tienen los suelos del Parque Nacional, así como, la permeabilidad de dichos suelos.

Se plantearon así mismo objetivos particulares, comenzando por definir los conceptos principales a tratar en la presente investigación y tener un poco de la historia que tiene el Parque Nacional para ver si hay un antecedente de fallas y hundimientos pasados, este objetivo fue resuelto al pedir información dentro del Parque Nacional acerca de la historia y los conceptos principales se muestran en cada uno de los capítulos que conforman la investigación.

Posteriormente se analizará qué tipos de suelos en relación a los hundimientos se encuentran en el Parque Nacional, este objetivo se cumplió al

observar en las pruebas de consolidación, que los suelos del Parque Nacional son arcillas que se encuentran muy saturadas de agua, debido a todas las infiltraciones de agua que hay, ya que la Cuenca del Río Cupatitzio es rica en agua. Los suelos al ser muy húmedos pierden capacidad de carga y aún más al tener infiltraciones al subsuelo, las cuales causan los hundimientos y deslaves de los suelos.

Se tiene que definir cuál es la posible causa de los hundimientos en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, este fue resuelto al observar que en el canal de distribución de agua para las fuentes hay ciertas turbulencias, las cuales se generan por haber infiltraciones al subsuelo.

Una vez encontrada la causa dar una solución al problema que provoca los hundimientos que son generados en el Parque Nacional, la solución que se tiene para este problema es, revestir el canal en su totalidad para poder evitar más infiltraciones al subsuelo, todo esto va ayudar para que los suelos se puedan estabilizar y aumenten su capacidad de carga para evitar los hundimientos y deslaves.

Se debe determinar si tiene relación los agrietamientos que se originan por los escurrimientos del agua en la Cuenca del Río Cupatitzio, dichos agrietamientos si tienen relación con la problemática de los hundimientos, ya que esos agrietamientos han generado vacíos en el subsuelo, por lo cual, estos agrietamientos hacen que se provoquen hundimientos en los vacíos que estaban llenos de agua anteriormente.

Tener en cuenta el no afectar la naturaleza y fauna del Parque Nacional con las soluciones que se propongan y las pruebas que se realicen para resolver cada

uno de los objetivos, dicho objetivo se cumplirá ya que las soluciones que serán revestir el canal de distribución de agua para la fuentes no afectara la naturaleza de ninguna manera y, los métodos que se utilizaron para resolver la presente investigación no afectaron en nada a la naturaleza, ya que sólo se tomaron muestras de tierra para formar los anillos de consolidación de los consolidómetros.

Es importante la presente investigación, ya que, el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” es un patrimonio natural de la localidad de Uruapan, Michoacán; y lo menos que se quiere, es verlo afectado, debido a la problemática presentada en el Parque se genera la siguiente pregunta:

¿Cuál es la causa de los hundimientos y agrietamientos que sufren las estructuras y que se han dado en la parte Norte del Parque Nacional?

La respuesta para la pregunta es, debido a las infiltraciones que se han generado desde el canal de distribución de agua para la fuentes del Parque Nacional al subsuelo, han generado hundimientos y deslaves, ya que el agua infiltrada a arrastrado material y producido vacíos que hacen asentamientos de suelo, todo esto ha destruido parte de los senderos principales que utilizan habitantes de Uruapan, Michoacán; pero principalmente el turismo que visita este patrimonio de la localidad, por lo cual, es importante dar posibles soluciones y que sean aplicadas para poder resolver el problema.

Por lo anterior la propuesta de solución para este problema es: Revestir el canal de distribución se encuentra para repartir el agua en todas las fuentes del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, esta solución es de las más fácil a aplicar,

porque es la más económica de realizar, por lo cual se da esta propuesta a la directiva del Parque Nacional y poder generar un proyecto para que esta problemática se vea resuelta y, el turismo y población Uruapense pueda seguir disfrutando de la belleza del Parque, ya que no es un lugar cualquiera.

BIBLIOGRAFÍA

Bañón Blázquez Luis, (2001).

Manual de carreteras. Volumen 2: construcción y mantenimiento.

Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A. España.

Belousov V. (1979)

Geología Estructural.

Ed. MIR Moscú. Rusia.

Braja M. Das. (2001)

Fundamentos de ingeniería geotécnica.

Ed. Thomson Learning. USA.

Crespo Villalaz. (2004)

Mecánica de suelos y cimentaciones.

Ed. Limusa. México.

Duque Escobar Gonzalo, Escobar Potes Carlos Enrique. (2002)

Mecánica de suelos.

Ed. Manizalez. Colombia.

Duque Gonzalo Escobar. (2002)

Manual de geología para ingenieros.

Ed. Manizalez. Colombia.

Hernández Sampieri Roberto y Cols. (2010)

Metodología de la investigación.

Ed. Mc. Graw. Hill, México.

Juárez Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso. (2005)

Mecánica de suelos 1.

Ed. Limusa. México.

Matías Cerda Manual Caroca. (2013)

Hundimientos Mineros.

Ed. Inacap. Chile.

Merritt Frederick S, Loftin M. Knet, Ricketts Jonathan T. (2008)

Manual del Ingeniero Civil, Tomo 1.

Ed. Mc. Graw Hill. México.

Rico Rodríguez Alfonso. (2005)

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

Ed. Limusa. México.

Sánchez Cervón Julio, Zapata Zepeda José Enrique, Balanzario Zamorate José.

(1966)

Ciencia de la tierra.

Ed. Trillas. México.

Tarbuk Edward J, Lutgens Frederick K. (2010)

Ciencia de la tierra. Una introducción a la geología física.

Ed. Pearson. 10 a Edición. México.

Terzahi Karl, Peck Ralph B. (1978)

Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.

Ed. El ateneo. Argentina.