

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela de Ingeniería Civil

MANEJO Y USO DE ARCILLA EN EL PROYECTO CUPATITZIO - TEPALCATEPEC.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Alfredo Ruiz Abarca

Asesor:

Ing. Anastacio Blanco Simiano

Uruapan, Michoacán, 2008.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES:

Por darme la vida y esta formación, por proporcionarme las herramientas para afrontar los nuevos retos que se me presenten, por ser un ejemplo de superación a seguir en mis aspiraciones, por su sacrificio en alguna vez incomprendido, por su comprensión y confianza, por su amor y amistad incondicional, por esto y muchas otras cosas, gracias.

A MIS HERMANOS:

Por compartir sus momentos de alegría, por recordarme como sonreír cuando pensé haberlo olvidado, por brindarme su confianza, por compartir sus problemas e inquietudes, por ser como son, gracias.

A MIS ABUELOS:

Por compartir sus experiencias, por mostrarme y guiarme en la vida, por colmarme de bendiciones y muestras de cariño, por la gran familia que han consolidado y orgullosamente digo soy parte de ella, por que como ustedes no hay dos, gracias.

A MIS TIOS:

Por ser parte importante en mi desarrollo, por compartir tristezas y alegrías, por ser impulsarme a superarme en la vida, por considerarlos mis amigos, gracias.

A MIS PRIMOS:

Por ser únicos, por brindarme su amistad, por sus consejos, por escucharme y confiar en mi sus preocupaciones, porque aún estando lejos, estamos juntos, por aprovechar cada instante de la vida en pasarla bien y olvidarnos por un instante de los problemas, gracias.

A MIS ANGELES:

A todos ellos que no pudieron ver la culminación de mi preparación profesional, pero siempre están conmigo en cada instante que pienso en ellos, en cada momento que los recuerdo con cariño, en cada lección de vida que tuve de ellos y en cada sonrisa que intercambiamos juntos, gracias.

A MIS PROFESORES:

Porque ustedes son los responsables de mi formación profesional, por mostrarme el camino de la honradez y la rectitud, por desarrollar en mí los buenos hábitos del razonamiento, por obsequiar sus conocimientos y sus experiencias, gracias.

ÍNDICE.

Introducción.

Antecedentes. . . . .	.01
Planteamiento del problema. . . . .	.03
Objetivo. . . . .	.04
Pregunta de investigación. . . . .	.05
Justificación. . . . .	.05
Marco de referencia. . . . .	.06

Capítulo 1.- Suelos.

1.1. Definición. . . . .	.10
1.2. Origen. . . . .	.11
1.2.1. Residuales y Transportados. . . . .	.12
1.2.2. Tipo y origen de los suelos arcillosos. . . . .	.12
1.3. Clasificación. . . . .	.14
1.3.1. Sistema de clasificación de aeropuertos. . . . .	.14
1.3.2. S.U.C.S. . . . .	.16
1.3.3. Identificación en campo. . . . .	.21
1.4. Propiedades del suelo. . . . .	.26
1.4.1. Suelos cohesivos, friccionantes y orgánicos. . . . .	.26
1.4.2. Propiedades hidráulicas. . . . .	.28
1.4.2.1. Tensión superficial y capilaridad. . . . .	.34
1.4.3. Deformabilidad. . . . .	.35

1.4.4. Consolidación.	.36
1.4.5. Resistencia al esfuerzo cortante.	.38
1.4.6. Estados y límites de consistencia.	.39
1.5. Características.	.43
1.5.1. Materia orgánica e inorgánica.	.43
1.5.2. Estructura.	.44
1.5.3. Expansión y contracción.	.45

Capítulo 2.- Arcillas en obras civiles.

2.1. Identificación de las arcillas.	.46
2.1.1. Pruebas en campo.	.46
2.1.2. Pruebas en laboratorio.	.49
2.1.3. Olor y color.	.51
2.2. Compactación de arcillas.	.52
2.2.1. Análisis de laboratorio.	.52
2.2.2. Compactación en campo.	.56
2.2.3. Tipos de equipo.	.56
2.3. Estabilizaciones químicas de las arcillas.	.58
2.3.1. Cemento.	.60
2.3.2. Cal.	.62
2.4. Uso de arcillas en construcción.	.65
2.4.1. Reposición de arcillas por material inerte en canales de riego	.65
2.4.2. Delantales, pantallas y corazones impermeables en diques.	.67
2.4.3. Mampostería de ladrillo.	.68

2.5. Desventajas de las arcillas en construcción.	. . .	.71
2.5.1. Cimentación sobre arcillas.	. . .	.72
2.5.1.1. Origen de daños estructurales.	. . .	.73
2.5.1.2. Prevención y repartición de daños.	. . .	.75
2.5.1.3. Conclusiones.	. . .	.77

Capítulo 3.- Metodología.

3.1. Método empleado.	. . .	.79
3.2. Enfoque de la investigación.	. . .	.79
3.2.1. Alcance de la investigación.	. . .	.80
3.3. Diseño de la investigación.	. . .	.81
3.4. Instrumentos de recopilación de información.	. . .	.82
3.5. Descripción del proceso de investigación.	. . .	.84

Capítulo 4.- Análisis e interpretación de resultados.

4.1. Bancos de material.	. . .	.86
4.1.1. Banco de material “Jacona”.	. . .	.88
4.1.1.1. Localización.	. . .	.88
4.1.1.2. Levantamiento topográfico.	. . .	.88
4.1.1.3. Exploración y muestreo.	. . .	.89
4.1.1.4. Extensión, espesores y volúmenes.	. . .	.89
4.1.1.5. Programa de ensayos de laboratorio.	. . .	.90
4.1.1.6. Análisis de resultados..	. . .	.90
4.1.2. Banco de material “La Loma”.	. . .	.92

4.1.2.1.	Localización.	. . . . .	.92
4.1.2.2.	Levantamiento topográfico.	. . . . .	.92
4.1.2.3.	Exploración y muestreo.	. . . . .	.92
4.1.2.4.	Extensión, espesores y volúmenes.	. . . . .	.93
4.1.2.5.	Programa de ensayos de laboratorio.	. . . . .	.93
4.1.2.6.	Análisis de resultados..	. . . . .	.93
4.2.	Extracción y colocación del material.	. . . . .	.104
4.3.	Revestimiento y estructuras de concreto.	. . . . .	.111
4.3.1.	Proceso constructivo para un canal lateral sobre arcillas expansivas.	. . . . .	.119
4.4.	Resultados obtenidos al termino de la obra.	. . . . .	.122
	Conclusiones.	. . . . .	.123
	Bibliografía.	. . . . .	.125
	Otras fuentes.	. . . . .	.127
	Anexos.		

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis titulado Manejo y uso de arcilla en el proyecto Cupatitzio - Tepalcatepec, en el estado de Michoacán, se tuvo como objetivo dar a conocer cuáles son las características y el comportamiento de las arcillas en diferentes obras civiles, así mismo, la metodología que se debería de utilizar para cada caso en especial; pretendiendo para ello en el Capítulo 1 dar a conocer de una manera simple a los diversos tipos de suelos, dándole un sentido científico tanto a su origen como a su comportamiento mecánico, además de que en el capítulo 2 se inclina a favor de los suelos finos expansivos conocidos como “*arcillas*”, para esto, fue expuesta la arcilla como material de construcción y los procedimientos constructivos para el aprovechamiento del comportamiento y las propiedades de éstas.

El método que se ha empleado en la presente investigación es el método científico deductivo, ya que va de lo general a lo particular. El método científico parte de información generalmente aceptada como verdad para que posteriormente puedan ser inferidos, con ayuda del razonamiento lógico y de algunas suposiciones, cumpliéndose así de gran manera el objetivo de la investigación al poder señalar que se encontró luego del análisis que sí se realizó adecuadamente la obra en cuestión, además de que el proceso de construcción fue el idóneo, ya que, el canal de riego se encontraba sobre suelo expansivo y debido a esto, se pudo obtener un aprovechamiento racional del agua en la zona e impedir filtraciones al subsuelo con ayuda de un buen control de calidad en la obra.

Asimismo, se considera que este trabajo beneficiará a la comunidad de Ingeniería Civil, estudiantes de Ingeniería Civil, la población localizada principalmente en esta zona de riego y en general quien consulte este trabajo o quien aproveche las aguas de riego de este canal.

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

Los suelos son el tipo de material más antiguo de las construcciones y uno de los más complicados de estudiar. Existen una infinidad de distintos suelos y esto debido a que el suelo no está compuesto de un solo y puro material, sino que se conforma de la mezcla de varios compuestos minerales, por otra parte, el suelo fue interés de estudio hasta principios del siglo XX.

Gracias a documentos históricos se sabe que el estudio de “La Mecánica de Suelos” comenzó a desarrollarse en países del llamado primer mundo como Suecia y los Estados Unidos de Norteamérica, entre otros.

Dentro de esta universidad, se puede encontrar una serie de trabajos de tesis con distintos e interesantes temas, de las cuales se hará referencia a las siguientes tesis de la carrera de ingeniería civil:

La primera lleva por nombre “*Procedimientos Constructivos de Terracerías Para la autopista Morelia – Lázaro Cárdenas del Subtramo Uruapan – Nueva Italia del 11+000 al 18+000*”, la cual hace mención de datos más que nada técnicos y administrativos acerca del subtramo de la obra que se nombra en el título, como son la topografía y geología del lugar, volúmenes de obra, maquinaria, los procedimientos constructivos, control de calidad, supervisión del proceso

constructivo. Así mismo, se concluye con el beneficio que se obtendrá al comenzar a utilizar esta autopista, él cual es la conexión entre el Puerto Marítimo de la ciudad de Lázaro Cárdenas con la capital del estado (Morelia).

Por otra parte, la tesis "*Estudio y Proyecto Para la Estabilización de Taludes en el C.D. Pátzcuaro – Uruapan Comprendida Entre los km 62+070 al km 64+170*", se hace una evaluación de los problemas que presentan los taludes del tramo, así como una propuesta viable para su estabilización tomando como referencia el tipo de material y la topografía del lugar en cuestión, las conclusiones que arrojó esta investigación es que todos los taludes son estables pero presentan un grave problema de erosión superficial.

Por último, el tema que probablemente se encuentra más relacionado con esta investigación se titula "*Propiedades Índice y Mecánicas en Suelos de Uruapan, Michoacán*", en donde se realizaron sondeos para extraer muestras inalteradas de suelo en pozos a cielo abierto en puntos estratégicos de esta ciudad, para esto se tomo como referencia la ubicación geográfica de la ciudad y sus alrededores, su composición geológica y crecimiento urbano, y de manera igual se realizaron distintas prácticas de laboratorio, para determinar sus propiedades índice y mecánicas, en donde al fin se concluyó con la dificultad que existe en elaborar un criterio unificado de la capacidad de los suelos en la ciudad, por lo que se recomienda realizar un estudio de mecánica de suelos para cada caso específico.

Planteamiento del Problema.

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

La presente investigación contiene un enfoque teórico, acerca de los distintos usos de las arcillas en las diferentes obras de ingeniería civil, tomando en cuenta para esto, las características y propiedades que poseen las arcillas como elemento mecánico y constructivo. Concluyendo con un caso práctico, como lo es el proceso constructivo de un canal para agua de riego revestido y construido sobre arcilla.

Los suelos arcillosos son muy susceptibles a experimentar procesos de expansión y contracción, estos sucede por la acción del agua en la estructura del suelo, para evitar esto se cuenta con diversos procesos de estabilización que serán mencionados posteriormente. Por otro lado, estos suelos poseen una característica muy favorable y a su vez inigualable para otro tipo de suelos y es su impermeabilidad, esta puede lograrse por un proceso constructivo en el cual intervienen el tipo de compactación y la humedad del material.

Objetivo.

En este trabajo de tesis, se pretende dar a conocer cuáles son las características y el comportamiento de las arcillas en diferentes obras civiles, así mismo, la metodología que se debería de utilizar para cada caso en especial.

Objetivo general.

Determinar si en verdad los suelos arcillosos son una problemática, o simplemente un elemento más que requiere de estudio y dedicación para transformar eso que se señala como problema en una solución viable al momento de manipular este tipo de materiales.

Adentrándose en los estudios de la mecánica de suelos, se encuentran comparaciones entre los distintos tipos de suelo, ponderando las características y propiedades mecánicas de las arcillas en particular, a partir de esto se proponen los siguientes puntos.

Objetivos particulares.

Los principales objetivos a cubrir en esta tesis son:

- a) Señalar el origen, clasificación, tipos, propiedades, características y usos de arcillas.
- b) Estudiar el comportamiento de las edificaciones cimentadas sobre arcilla.
- c) Describir los tipos de estabilización de las arcillas en vías terrestres.
- d) Demostrar la eficiencia de las pantallas impermeables de arcilla.
- e) Mostrar los manejos más comunes de las arcillas en obras hidráulicas.

Pregunta de investigación.

Con la presente investigación se pretenden resolver las siguientes preguntas:

¿Qué es una arcilla y cuál es su comportamiento?

¿Cuál es su manejo en el proceso constructivo?

¿Qué problemas causa a la construcción?

Justificación.

Dentro del vasto tema de la mecánica y el comportamiento de suelos se puede encontrar que las arcillas es de los suelos el más problemático a la hora de manipularlo para lograr un comportamiento satisfactorio a corto y largo plazo, esto porque no es un material homogéneo, de ahí surge la necesidad que exista una investigación extensa y detallada del uso y manejo de arcillas.

El presente trabajo está dirigido a todos aquellos ingenieros, estudiantes y personas en general, que estén interesados en conocer acerca de las arcillas. En ingeniería nunca se está exento de trabajar con suelo de diferente origen y mucho menos en esta región del país donde podemos encontrar cualquier tipo de ellos, desde las gravas y arenas que podemos localizar en la costa, hasta los limos y arcillas de las zonas montañosas del estado de Michoacán.

Principalmente, esta investigación quiere ser una herramienta más de consulta para las futuras y actuales generaciones de ingenieros acerca de todo lo que se refiere a las arcillas como un elemento en la construcción.

Marco de Referencia.

El Estado de Michoacán de Ocampo está localizado en la parte centro occidente de la república Mexicana sobre la costa del océano Pacífico, entre los $17^{\circ}54'34''$ y $20^{\circ}23'37''$ de latitud Norte y los $100^{\circ}03'23''$ y $103^{\circ}44'09''$ de longitud Oeste. El estado ocupa una extensión superficial de 5,986,400 hectáreas, también posee 210.50 kilómetros de costa sobre el Pacífico.

El valle de Tepalcatepec se encuentra en la región de tierra caliente del estado, a menos de 400 metros sobre el nivel del mar y al pie de la sierra madre del sur, la cual cruza todo el estado con una hilera longitudinal y quebrada de cerros como frontera hacia el océano.



Foto 1 Croquis de ubicación de la presa en el estado: Comisión Nacional del Agua

El valle cuenta con temperaturas de 25 a 32 °C como promedio aun que se han registrado temperaturas de hasta 42 °C, esta zona es una de las más calientes de la república, de allí que recibe el nombre la región de tierra caliente. Debido a su localización geográfica, la región recibe poca humedad del pacifico y presenta escasas lluvias, que se evapora por el calor excesivo.

La flora de la región consta de mezquites, huizaches, cactus y breñas, su fauna se compone principalmente de alacranes, reptiles, pequeños mamíferos y aves migratorias procedentes del norte de la república. Esta región podría ser inhabitable e infértil de no existir la corriente del rio Tepalcatepec.



Foto 2 Estado geográfico de la región: Google Earth, Software.

El rio grande de Tepalcatepec corre a través de 200 kilómetros que tienen la planicie, que va desde Jalisco hasta el Infiernillo. El rio riega las tierras de tres

municipios que son: Apatzingán, Buenavista y Tepalcatepec, cultivándose principalmente algodón, ajonjolí, arroz, melones y sandías.

El proyecto Cupatitzio – Tepalcatepec consta principalmente de la presa Chilatán cuyo apelativo oficial es “Constitución de Apatzingán” debido a su confluencia histórica y geográfica, puesto que esta fue construida para irrigar el valle de Apatzingán.

Anteriormente la superficie real dominada en el Distrito de Riego es de 64,343 hectáreas, pero actualmente la superficie de riego se extendió a 108,791 hectáreas que comprenden a 9 municipios del estado de Michoacán: Aguililla, Apatzingán, Buenavista, Francisco J. Mujica, Gabriel Zamora, La Huacana, Parácuaro, Nuevo Urecho y Tepalcatepec.

De acuerdo con la planeación general del proyecto, la presa Chilatán cuenta con 2 obras de toma para riego, una alta localizada en la margen derecha y una baja con descarga al cauce, para el margen izquierda mediante el aprovechamiento de la presa derivadora Piedras Blancas.

La toma alta tiene una capacidad de descarga de 30 m³/seg y está formada por un túnel de sección de medio punto de 3.50 mts de diámetro, una longitud de 235 metros y estructura de rejas. En ellas, las aguas se controlan por medio de 4 compuertas deslizantes de 1.83 mts. x 1.83 mts. (2 de servicio y 2 de emergencia).

La toma baja tiene una capacidad para conducir 70 m³/seg, se alimenta por medio de una lumbrera de sección circular con diámetro de 6 mts.

Esta toma baja descarga al río y llega así a la derivadora de Piedras Blancas, de donde se inicia el canal de la margen izquierda mediante una nueva obra de toma. Este canal, con gasto de 50 m³/seg, se proyecta por arriba del actual canal Tepalcatepec, tiene 92.50 kilómetros de longitud y está totalmente revestido e concreto de sección trapecial con taludes de 1.5:1. Este revestimiento es el objeto del estudio de la investigación.

La intención de revestir el canal es evitar las excesivas filtraciones de agua al subsuelo debido a que representa la principal causa de pérdida o disminución del caudal. A causa del encuentro con arcillas se tuvo que realizar la restitución por un material inerte, en este caso material de terraplén o un suelo ML, esta clasificación se describe con mayor detalle en el capítulo 1 de esta tesis.

CAPÍTULO 1

SUELOS

En el presente capítulo se pretende dar a conocer de una manera simple a los diversos tipos de suelos, dándole un sentido científico tanto a su origen como a su comportamiento mecánico ante agentes externos como internos, sin dejar de lado sus propiedades químicas y las distintas clasificaciones a lo largo del tiempo.

1.1 Definición.

Tomado del latín, la palabra “suelo” deriva en “*solum*”, que significa tierra o parcela. Su definición es variable según el área que se piensa estudiar, cómo dice Juárez Badillo (2000).

Por ejemplo, desde el punto de vista de un Ingeniero Agrónomo la palabra suelo es aplicable a “la parte superficial de la corteza capas de sustentar vida vegetal”. (Juárez Badillo, 2000, 34) sin embargo, Sowers (1993) comenta que para un agricultor el termino suelo está definido como una sustancia que da vida a las plantas, estas definiciones son limitadas y simples.

En la Ingeniería geología el suelo es todo material intemperizado o erosionado en el lugar en que se encuentra ahora y con un contenido de materia orgánica sobre la superficie terrestre, esta definición es confusa y no toma en cuenta muchas otras variaciones del suelo.

En este particular tema y desde tomando el punto de vista de Arias Rivera (1993) en cuenta, se definirá al suelo como “*el material formado por partículas minerales (producto de la descomposición de las rocas) y vacíos, los cuales pueden o no estar ocupados por agua*”. (Arias Rivera, 1993, 1). Esto da un parámetro y una delimitación de los suelos respecto a las rocas sanas, pero a su vez, enmarca en un concepto su origen, formación y composición física. Por lo cual partiremos de lo anterior mencionado para el desarrollo del presente capítulo.

1.2 Origen.

Como se mencionó en su definición, el suelo es el resultado final de procesos de “*desintegración mecánica*” y “*descomposición química*” de las rocas.

La desintegración mecánica refiere a la intemperización de las rocas o bien es la exposición de un medio rocoso a los agentes físicos ambientales, los cuales señalan los cambios de temperatura, esfuerzos telúricos, acción de congelación, efectos de los organismos vivos, fuerza de gravedad, la abrasión de las precipitaciones pluviales y la gestión del viento. Los suelos resultantes de la desintegración son comúnmente gravas, arenas y en pocos casos limos.

Por otro lado, la descomposición química es causada por mecanismos que atacan y modifican la estructura mineralógica y química en las rocas, principalmente por efecto del agua, estos mecanismos son comúnmente la oxidación, hidratación y carbonatación, o la combinación de ellos, siempre

tomando en cuenta los procesos químicos generados por la vegetación dando como resultado suelos que se conoce como arcillas.

1.2.1 Residuales y transportados.

Según Arias Rivera (1993), los suelos “*Residuales*” son aquellos que permanecen en el sitio donde fueron formados. También señala que los “*Transportados*” son suelos formados por los productos de alteración de las rocas posteriormente removidos y depositados en otro sitio totalmente diferente al de su origen.

Los agentes de transporte naturales del suelo a menudo son los glaciares, el viento, la gravedad, los mares y las corrientes de agua superficiales, actuando en muchas ocasiones en conjunto. De acuerdo a su forma de transporte, Arias Rivera (1993) sugiere la siguiente división para los suelos:

- a) Suelos Aluviales.- Agua
- b) Suelos Lacustres.- Acarreos
- c) Suelos Eólicos.- Viento
- d) Depósitos de Pie de Monte.- Gravedad

1.2.2 Tipo y origen de los suelos arcillosos.

Para fines de esta tesis se tiene que definir el origen y localización particular de las arcillas, para esto se consideran tres tipos de suelos minerales arcillosos, que por su abundancia respecto a otros suelos de estas características se les

considera como básicos para efecto de estudiar sus orígenes. Barrera Bucio (2002) retoma lo citado por Josa (1988) en cuanto que la fuente de estos minerales es una amplia gama de rocas ígneas básicas incluyendo rocas volcánicas y lavas en las que, las más frecuentes son los basaltos, si embargo, en algún caso ha sido el granito considerado como una roca de origen.

La montmorillonita necesita un medio alcalino como factor indispensable y se genera habitualmente en zonas áridas con poco drenaje y por ende con alta concentración de minerales, de ahí que se conoce que está compuesto principalmente de óxido de sodio. La caolinita es un silicato de aluminio hidratado y se produce con pH más alcalinos, es decir, más bajo y en las zonas drenadas. Por esta razón la montmorillonita abunda en valles y zonas deprimidas y la caolinita en lugares con mayores pendientes, aun y cuando la montmorillonita y la caolinita tienen su origen en las mismas rocas minerales.

La formación de la caolinita o caolín se debe a la descomposición del feldespato por la acción del agua y del dióxido de carbono. La illita, por su parte, precisa para su formación un pH ligeramente alcalino.

De acuerdo con este origen las arcillas podrán ser residuales o transportadas, aunque los procesos de transporte puedan modificarlas de su situación inicial ya sea antes o después de su degradación. En ambos casos ambientes fluviales son los causantes de estas alteraciones.

1.3 Clasificación.

Debido a la gran variedad de suelos que la naturaleza nos muestra, la mecánica de suelos presenta dificultades al momento de coordinar y ordenar de forma cuantitativa. Por esto se vio en la necesidad de clasificar en forma completa pero a la vez simple los suelos, tomando en cuenta su origen, granulometría y sus propiedades y características mecánicas.

1.3.1 Sistema de clasificación de aeropuertos.

Juárez Badillo (2000) nos relata que en 1942, en la Universidad de Harvard el Dr. Arturo Casagrande realizó un sistema de clasificación de suelos conocido como: "*Sistema de Clasificación de Aeropuertos*", llamado así por su utilización en este tipo de obras. Este sistema fue adoptado por "*El Cuerpo de Ingenieros Militares de los E. U. de Norteamérica*", y clasifica a los suelos en 2 grupos, suelos gruesos formados por partículas mayores a la malla N° 200 (0.074 mm) y menores a la malla 3" (7.62 cm) y suelos finos menores a la malla N° 200 (0.074 mm).

Los suelos gruesos los subdividido a su vez en 2 fracciones, gravas y arenas, teniendo como frontera la malla N° 4 (4.76 mm) posteriormente este grupo se sigue subdividiendo tomando como referencia su naturaleza, igualmente los suelos finos los subdivide de acuerdo a sus características plásticas y que están fuertemente relacionadas con sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

La clasificación de los suelos de partículas finas se hizo en base a "la carta de plasticidad" (ver Fig. 1.1). El descubrimiento principal que reveló la

investigación del Dr. A. Casagrande fue que, en la representación de los suelos en una carta como función solamente del límite líquido y del índice plástico, los suelos de partículas finas se agrupan en determinada forma, de manera que en cada zona de la carta se sitúan suelos con características similares.

Observando la carta de plasticidad (Fig. 1.1), se puede observar que hay 4 zonas claramente diferenciables. Estas zonas se encuentran delimitadas por dos líneas denominadas A y B. La línea A se define por la ecuación: $IP = 0.73 * (LL - 20)$. La línea B se encuentra paralela al eje de las abscisas en el punto 50 %.

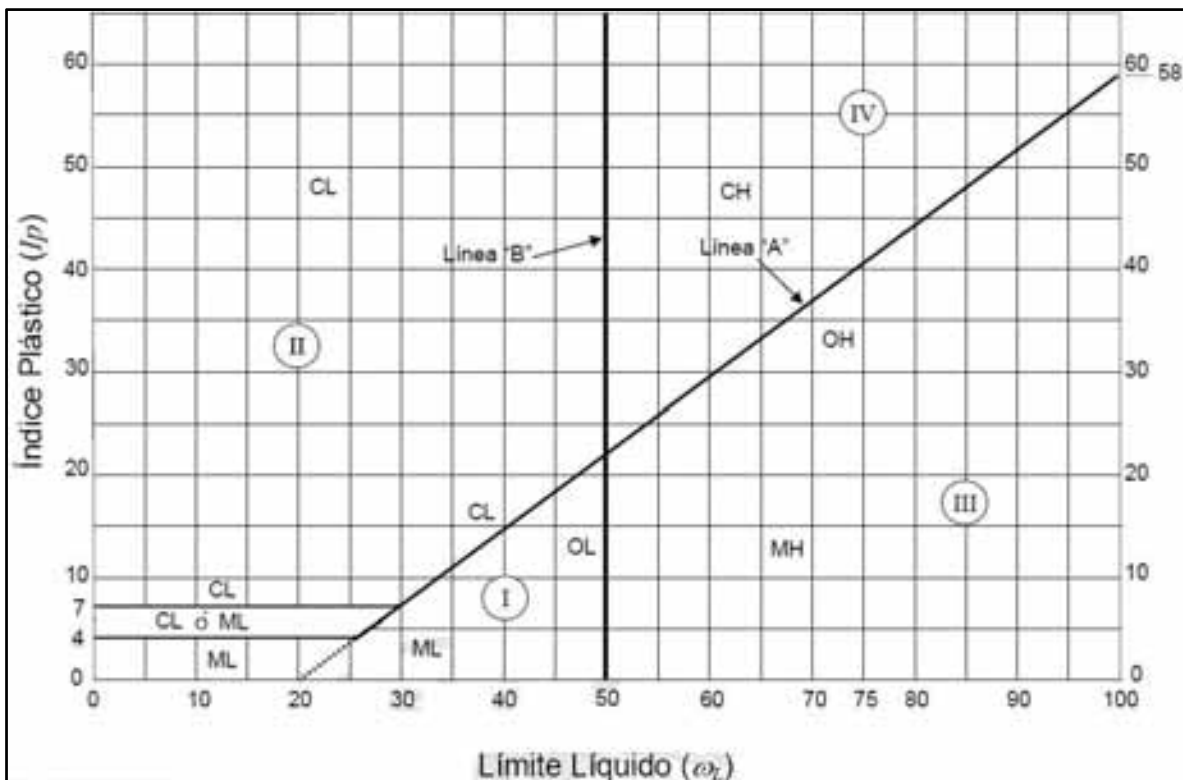


Fig. 1.1 Carta de plasticidad: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

De la Figura anterior se sabe que: todos los suelos que se encuentren por encima de la línea A son señalados como arcillas inorgánicas (C) y por debajo se encuentran los limos inorgánicos (M), así como, los suelos con significativa materia orgánica (O). A la izquierda de la línea B se localizan los suelos de baja y media compresibilidad (L) y a la derecha los suelos de alta compresibilidad (H).

1.3.2 S.U.C.S. (“Sistema Unificado de Clasificación de Suelos”)

El presente sistema es similar al sistema anteriormente mencionado, únicamente cuenta con algunas modificaciones, las cuales se mencionan a continuación.

Este sistema diferencia a los suelos gruesos de los suelos finos, cribándolos a través de la malla N° 200 (0.074 mm), señalando que las partículas menores a la malla son suelos finos y los gruesos mayores como dice Juárez Badillo (2000).

La clasificación de los suelos se compone de la siguiente forma:

a) Suelos Gruesos.

Las gravas y arenas se separan con la malla N° 4 (4.76 mm), de tal forma que si más del 50% de su peso no pasa por la malla, el suelo se clasifica como una grava, en caso contrario el suelo será una arena.

(G) Gravas; *Gravel*.

(S) Arenas; *Sand*.

Así mismo, las gravas y arenas se subdividen en 4 tipos más de suelo, los cuales se mencionan a continuación:

(W) Material limpio de finos y bien graduado; *Well Graded*.

De la subdivisión anterior se generan en combinación con las gravas y arenas los grupos GW y SW. La presencia de los finos que puedan contener estos grupos, no debe producir cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje. Esto se logra cuando el contenido de las partículas finas no es mayor del 5% en el peso del suelo.

(P) Material limpio de finos y mal graduado; *Poorly Graded*.

De esto se producen los grupos GP y SP. Ya que estos suelos gruesos son mal graduados, se encuentra que, existe un tamaño uniforme de partículas que predominan en este grupo de suelos y se localizan fácilmente en los lechos de los ríos y en las orillas de las playas.

(M) Material con cantidad apreciable de finos no plásticos; *Mo y Mjala*.

Para el siguiente grupo GM y SM, se sabe que, la cantidad de finos encontrados alteran la capacidad de drenaje, así como, la resistencia esfuerzo-deformación. En casos prácticos sea demostrado que para porcentajes de finos mayores a 12% del peso total y con su plasticidad de media a nula, el suelo se debe clasificar dentro de este grupo.

(C) Material con cantidad apreciable de finos plásticos; *Clay*.

El grupo GC y SC es similar al grupo anteriormente mencionado con la diferencia que en los suelos finos encontrados dentro del grupo cuentan con una plasticidad de media a alta.

La clasificación del Sistema Unificado considera variaciones en los grupos anteriores, suelos que no se localizan claramente en un grupo en especial y se encuentran en un estado de límite entre 2 grupos en sí, los cuales se les adjudican símbolos dobles de dos grupos distintos. Ejemplo, GP-GC esto nos indica grava mal graduada, con un contenido de suelo fino de alta plasticidad de entre 5 y 12% de su peso.

b) Suelos Finos

Los suelos finos son todos aquellos que pasan a través del cribado de la malla N° 200 (0.074 mm) y se encuentran representados de la siguiente manera.

(M) Limos inorgánicos; *Mo y Mjala*.

(C) Arcillas inorgánicas; *Clay*.

(O) Limos y arcillas orgánicas; *Organic*.

Los anteriores nombrados se subdividen en 2 grupos más, según su límite líquido.

(L) Los suelos finos con un límite líquido menor del 50%, es decir, con compresibilidad baja o media, se les agrega este símbolo formando los grupos ML, CL y OL.

(H) Los suelos finos con un límite líquido mayor del 50%, es decir, con compresibilidad alta, se les agrega este símbolo formando los grupos MH, CH y OH.

“Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (del inglés *peat*, turba)”. (Juárez Badillo, 2000, 155).

De la Carta de Plasticidad (Fig. 1.1), se pueden localizar todos los grupos de suelos finos que se mencionaron, de la siguiente forma:

Grupo CL: $LL < 50\% *$ y $I_p > 7\% *$

Grupo CH: $LL > 50\% *$

Grupo ML: $LL < 50\% **$ y $I_p < 4\% *$

Grupo MH: $LL > 50\% **$

Grupo OL: $LL < 50\% **$ y $I_p < 4\% *$

* Zona Sobre la línea A

** Zona Bajo la línea A

Al igual que en el Sistema de Clasificación de Aeropuertos, el S.U.C.S. también considera casos en donde el suelo se encuentra en estado de frontera entre dos grupos distintos, asignando símbolos dobles. Ejemplo, para los suelos finos que caen sobre la línea A y con $4\% < I_p < 7\%$ se consideran casos de fronteras, por lo tanto, a estos suelos se les asigna el símbolo doble CL-ML.

Para el grupo Pt (turbas) la posición en la Carta de Plasticidad se encuentra muy por debajo de la línea A, ya que cuenta con un Limite Liquido (LL) de entre 300% a 500% y un Índice Plástico (I_p) de entre 100% a 200%.

A continuación se presenta parte de la tabla del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, en donde se puede encontrar, de forma ordenada y simple los distintos tipos y grupos de suelo mencionados con anterioridad.

PROCESO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.6cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)				SIMBOLOS DEL GRUPO (*)	NOMBRES TIPICOS	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Mas de la mitad del material es retenido en la malla N°200	GRAVAS Mas de la mitad de la fraccion gruesa es requerida en la malla N°4 (Para clasificacion visual puede usarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla N°4)	Amplia gama en los tamaños de partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	
		Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	
		Fraccion fina poco o nada plastica (para identificacion vease grupo ML abajo)		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
		fraccion fina plastica (para identificacion vease grupo CL abajo)		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Mas de la mitad del material es retenido en la malla N°201	ARENAS Mas de la mitad de la fraccion gruesa es pasa en la malla N°4 (Para clasificacion visual puede usarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla N°4)	Amplia gama en los tamaños de partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		SW	Arenas bien graduados, arenas con grava, con poco o nada de finos	
		Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos	
		Fraccion fina poco o nada plastica (para identificacion vease grupo ML abajo)		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
		fraccion fina plastica (para identificacion vease grupo CL abajo)		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
PROCESO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N°40						
LIMOS Y ARCILLAS	Limite liquido menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rompimiento)	DILATACION (Reaccion al agitado)	TENACIDAD (Consistencia cerca del limite plastico)		
		Nula a ligera	Rapida a Lenta	Nula	ML	Limos inorganicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plasticos
		Media a alta	Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorganicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
		Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos organicos y arcillas limosas organicas de baja plasticidad
LIMOS Y ARCILLAS	Limite liquido mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorganicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elasticos
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorganicas de alta plasticidad, arcillas francas
		Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas organicas de media a alta plasticidad, limos organicos de media plasticidad
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	Facilmente identificables por su color, olor, sensacion esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			Pt	Turba y otros suelos altamente organicos	

Use la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo anotados en la columna de identificación en el campo

Tabla 1.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos: Anexo VII-A, (Juárez Badillo, 2000,162-163).

1.3.3 Identificación en campo.

Con la identificación de un suelo se puede clasificar y conocer de forma aproximada, todas sus propiedades hidráulicas y mecánicas, y de esa manera, dar

una buena aplicación al uso del suelo. Para esto la experiencia del ingeniero juega un papel trascendente en el campo.

Existen varias formas para clasificar un suelo en campo en caso de no contar con instrumentos ni herramientas de laboratorio, las cuales se describen a continuación.

La clasificación de los suelos gruesos es usualmente visual ya que están constituidos por partículas de material grueso, esta identificación se logra extendiendo la muestra sobre una superficie plana y limpia de otras muestras y en forma visual y aproximada se puede evaluar la graduación y composición mineralógica de la muestra.

La clasificación de los suelos finos se logra prácticamente con la investigación en campo de las características de dilatancia, de tenacidad y de la resistencia en estado seco, más sin embargo, las pruebas del color y el olor del suelo pueden ser de gran ayuda específicamente en suelos orgánicos.

Para los estudiantes de la Universidad de Stanford, CA. la dilatación de los suelos es la propiedad que tienen las partículas, para cambiar su volumen, cuando se los somete a un cambio de tensiones entre sus partículas. En suelos, cuando hay un aumento de volumen, la dilatancia es positiva y cuando disminuye o contrae, la dilatancia es negativa.

La dilatancia o *prueba de dilatación* se realiza con una muestra de suelo fino sobre una pastilla con el contenido de agua exacto para que la muestra adquiriera una consistencia suave mas no pegajosa, posteriormente se agita alternadamente sobre la palma de la mano, golpeándola con la otra mano y manteniéndola apretada entre los dedos, y así, se pueden tener datos a priori de la plasticidad de la muestra de suelo

Con el procedimiento anterior, los suelos plásticos adquieren una superficie brillante, por acción del agua, pero al ser presionado entre los dedos el agua superficial desaparece y comienza a desmoronarse como un suelo frágil, un claro ejemplo de suelo plástico son las arcillas.

Para el caso de las arenas densas y arcillas muy preconsolidadas, tienen tendencia a dilatar. Por el contrario las arcillas normalmente consolidadas y poco preconsolidadas, junto con las arenas sueltas, tienen un comportamiento contractivo cuando se los deforma o aplican cargas externas.

Una arena densa, tiene las partículas arregladas en el espacio de tal forma que, cuando se la somete a un esfuerzo tangencial, se deforma, y las partículas se reacomodan, cambiando el arreglo previo. Pero como es densa, el arreglo que consiguen tener, lo logran aumentando su volumen. Según se comenta en la Universidad de Stanford, CA.

Otra de las pruebas que se le hace al suelo en campo, es la *prueba de tenacidad* y esto sirve al igual que la prueba de dilatación, para poder tener una identificación aproximada de la muestra del suelo con la que se está trabajando en base a su plasticidad.

La prueba de tenacidad se realiza con una muestra húmeda de suelo fino de consistencia suave, el espécimen se empieza a rodar hasta que se forme un rodillo de 3 mm de diámetro aproximadamente, que se vuelve a amasar y rodar nuevamente durante varias veces. Se podrá notar que la muestra comienza a adquirir rigidez debido a que se acerca a su límite plástico. Al momento de exceder el límite plástico los fragmentos en que se desmorone el suelo se juntan y a amasan nueva y suavemente entre los dedos, hasta que alcance su desmoronamiento final.

Del anterior procedimiento se pueden deducir las siguientes conclusiones, localizadas en las prácticas del laboratorio de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo:

a) Cualquier suelo que pueda ser enrollado fácilmente en forma de cilindro (rollito), sin desmoronarse es plástico.

b) La arcilla de gran plasticidad forma un cilindro que puede ser remodelado en una masa por debajo del límite plástico y deformarse presionando fuertemente entre los dedos sin que se desmorone.

c) Un suelo de plasticidad media forma un rollito de moderada tenacidad, pero la masa se desmorona pronto, después de que el límite plástico es alcanzado.

d) Un suelo de baja plasticidad forma un rollito que no puede ser amasado por abajo del límite plástico. Los suelos plásticos que contienen material orgánico o mucha mica forman cilindros que son blandos y esponjosos.

Los sondeos para el muestreo de color del suelo es útil en campo para la identificación de los diferentes estratos, el color nos indica también la presencia de materia orgánica disgregada en la muestra de suelo, en donde se conoce que los colores negros y oscuros indican suelos altamente orgánicos y por el contrario los colores claros y brillantes nos anuncian un suelo inorgánico.

Los suelos orgánicos cuentan con un olor distintivo el cual aumenta con el aumento en la humedad de la muestra y disminuye con su exposición al aire, pero también se incrementa con el calentamiento de la muestra húmeda.

1.4 Propiedades.

Las propiedades de un suelo son únicas para cada suelo en particular, por lo que se puede mencionar que no existen más de dos suelos iguales en toda la corteza terrestre. Se tiene conocimiento que aun el suelo de una misma región presenta variaciones en sus propiedades, así como, en su composición mineralógica y en su origen, así que es importante no homogeneizar al suelo como una masa uniforme sino como un compuesto o un elemento natural.

Durante el desarrollo de este subtema se describirán las propiedades del suelo más conocidas y su importancia para el ingeniero, de igual manera, se narraran las pruebas realizadas al suelo para determinarlas respectivamente.

1.4.1 Suelos cohesivos, friccionantes, orgánicos y de relleno.

Bañón Blázquez (2001), los suelos friccionantes están formado por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas (gravas y arenas). Las características principales de este tipo de suelos son su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad, lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas. Esta capacidad de drenaje es proporcional al tamaño de las partículas, o dicho de otro modo, a la *porosidad* del suelo. Para esto también se tiene que la *capacidad portante* de un suelo puede definirse como la carga que éste es capaz de soportar sin que se produzcan asientos excesivos, o bien, sin que exista una compactación notoria a simple vista.

Los suelos cohesivos a diferencia de los anteriores, se caracterizan por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (arcillas y limos), lo que les confiere unas propiedades de superficie ciertamente importantes. Esto se debe a que la superficie específica (relación entre la superficie y el volumen de un cuerpo) de dichas partículas es más que considerable.

La cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos y se define como la fuerza interarticular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando este *no esté saturado*. La cohesión es importante desde el punto de vista de la ingeniería civil, ya que aumenta la resistencia de un suelo frente a esfuerzos cortantes.

Bañón Blázquez (2001) también nos comenta que, dentro de esta categoría se engloban aquellos 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. Se caracterizan por su baja capacidad portante, alta compresibilidad y mala tolerancia del agua, a lo que debe unirse la existencia de procesos orgánicos que pueden reducir sus propiedades resistentes. Este tipo de suelos es nefasto para la ubicación de cualquier obra de infraestructura, por lo que deben eliminarse mediante operaciones previas.

Se entiende por relleno todo depósito de materiales procedentes de aportes de tierras procedentes de otras obras. También puede entenderse por relleno todo depósito de escombros procedentes de demoliciones, vertederos industriales, etc.,

aunque como es lógico “jamás pueden ser considerados como terrenos aptos para la ubicación de cualquier tipo de construcción”.

La problemática que presentan este tipo de *suelos artificiales* es su baja confianza, ya que por lo general no suelen compactarse al ser depositados pues supone un coste adicional innecesario. El comportamiento mecánico esperable es muy malo, ya que al no estar compactados presentarán altos índices de compresibilidad y la aparición de asientos excesivos e impredecibles.

1.4.2 Propiedades hidráulicas.

Las propiedades hidráulicas de un suelo refieren al flujo del agua de manera libre entre las partículas del mismo. Habiéndose definido esto, se puede mencionar que el flujo se divide en dos tipos, uno es el *flujo laminar* y al otro se le conoce como *flujo turbulento*.

El flujo es laminar cuando las líneas de flujo permanecen sin juntarse entre sí en toda su longitud, este tipo de flujo es característico de los limos y de las arcillas, mientras que el flujo turbulento se presenta cuando no se cumple lo anterior, y se muestra en los suelos gruesos. Para esto se tiene que definir a una *línea de flujo* como “la envolvente de los vectores velocidad en un instante determinado”, (Mauro Pobleto Freire 2006).

En la siguiente figura se muestra claramente el flujo laminar y el flujo turbulento a través del suelo. Del lado izquierdo se observa visiblemente la línea de flujo que adquiere el agua en un tipo de flujo laminar, por el contrario del lado derecho se observa el flujo turbulento, del agua.



Fig. 1.2 Flujo turbulento y laminar: Juárez Badillo (2000), pág. 191.

Otra de las propiedades hidráulicas es la “*permeabilidad*” de un suelo, para Zea Constantino (2004) esta se refiere a su capacidad para permitir el paso de una corriente de agua a través de su masa. Cuando el ingeniero prevea que se presentará un flujo de agua dentro de la masa del suelo de su obra, es conveniente que garantice que el agua fluya bajo el régimen laminar a velocidades relativamente pequeñas, de lo contrario se presentará el fenómeno conocido como régimen o flujo turbulento caracterizado por la generación de vórtices que se presentan por la fricción entre las moléculas del agua cuando éstas rebasan cierta velocidad de desplazamiento; este comportamiento puede generar, entre otros riesgos, el arrastre de granos de suelo que tiene como consecuencia la formación de tubos dentro de la masa de suelo, efecto conocido como *tubificación*.

Igualmente para Zea Constantino (2004), El *gradiente hidráulico* es una medida de la energía que impulsa al agua a moverse dentro del suelo.

La fig. 1.3 muestra un suelo dentro de un tubo de cierto diámetro; el agua se desplaza dentro del espécimen de suelo a una velocidad media “ v ”, pasando de la sección 1 a la sección 2, recorriendo la distancia “ L ”; despreciando la carga de velocidad, la carga hidráulica en cualquiera de las dos secciones es:

$$h_i = Z_i + \frac{P_i}{\gamma_i}$$

Y de acuerdo con la ecuación de Bernoulli de la energía, se tiene:

$$h_1 = h_2 + h$$

De donde:

$$h = h_1 - h_2$$

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

Finalmente, el gradiente hidráulico, i , es un concepto adimensional y representa la pérdida de carga hidráulica por unidad de longitud, esto es:

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

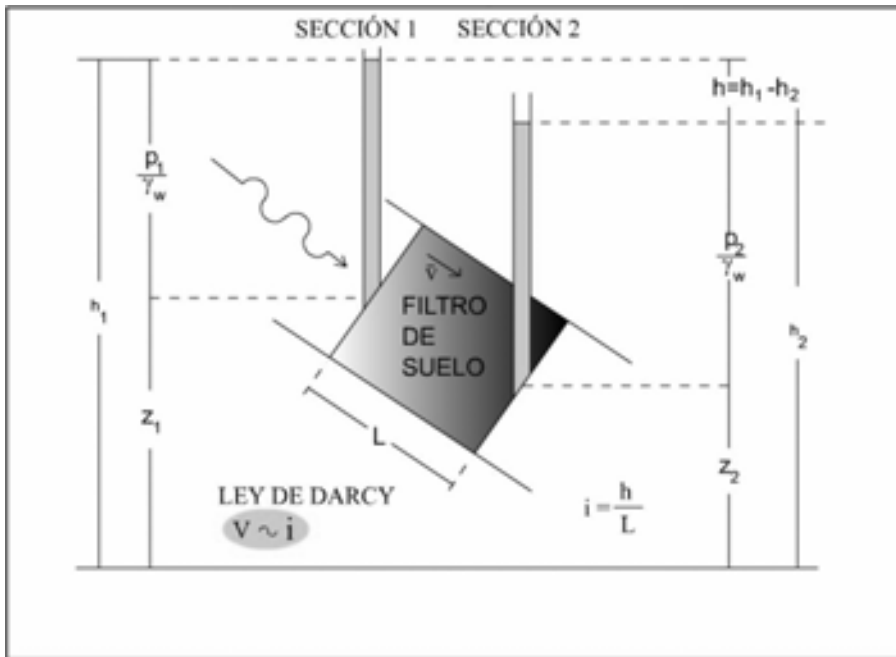


Fig. 1.3 Esquema del dispositivo experimental de Darcy: Zea Constantino (2004), pág. 24.

Para esto anterior se tiene que tener conocimiento que en 1856 Darcy descubrió que la velocidad media con la que el agua fluye dentro de una región de flujo es directamente proporcional al gradiente hidráulico.

Zea Constantino (2004), presenta en la fig. 1.4 esquemáticamente el comportamiento del agua al variar su velocidad; si el agua parte de velocidades relativamente bajas, en la zona I (laminar), a velocidades mayores en la zona II (transición) cambia a régimen turbulento en el punto B, siguiendo la trayectoria inferior que se indica hasta alcanzar el punto C (correspondiente a la velocidad crítica superior, v_{cs}); en cambio, si se parte de velocidades correspondientes a la zona III (turbulenta) a velocidades menores en la zona de transición, el agua

cambia su comportamiento a régimen laminar en el punto “A” (correspondiente a la velocidad crítica inferior, v_{ci}), siguiendo la trayectoria superior que se indica.

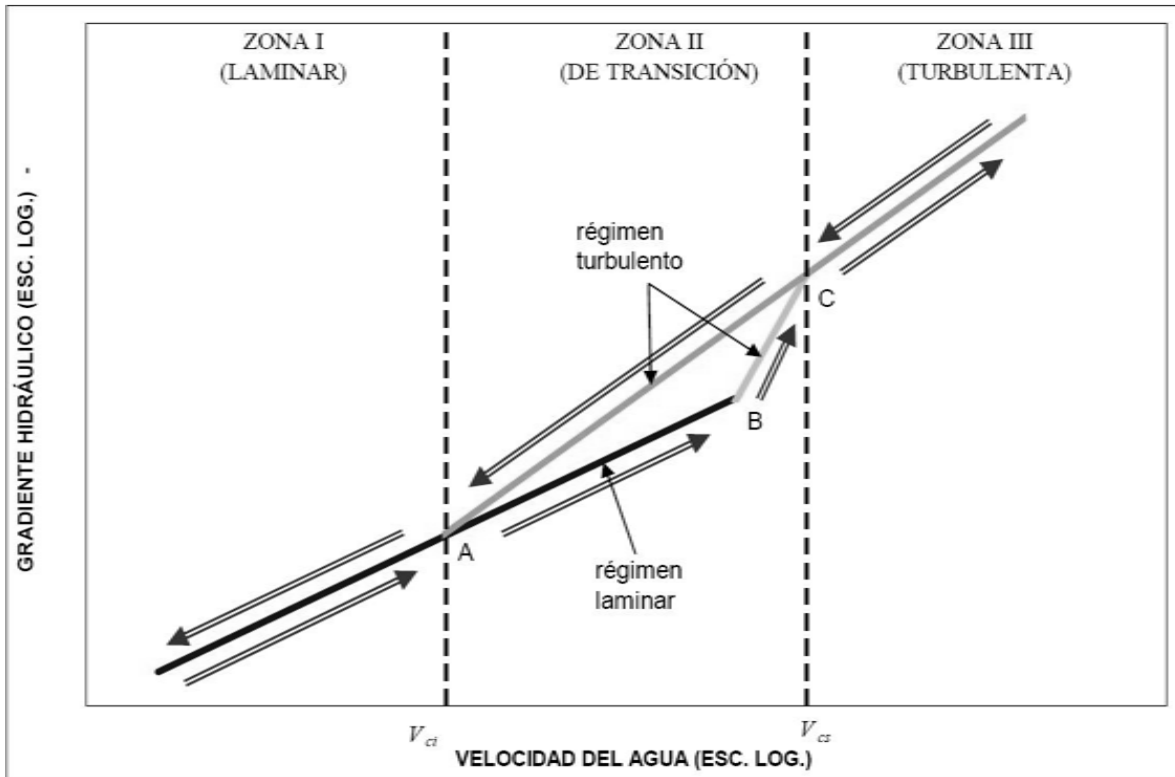


Fig. 1.4 Variación de la velocidad en función del gradiente hidráulico: Zea Constantino (2004), pág. 25.

De la fig. 1.3 se deduce que en régimen de flujo laminar, la ley de Darcy es:

$$v = k i$$

Siendo “ k ” una constante, conocida como *coeficiente de permeabilidad*.

En virtud de que el gradiente hidráulico es un concepto adimensional, es decir, no tiene unidad de medición, el coeficiente de permeabilidad “ k ” tiene

dimensiones de velocidad, siendo numéricamente igual a la velocidad media del agua cuando el gradiente hidráulico es igual a uno; físicamente representa la “facilidad” con que el agua fluye a través del suelo, como comenta el M.I. Zea Constantino (2004).

En la fig. 1.3 del flujo turbulento, el volumen de agua que atraviesa el suelo en la unidad de tiempo, esto es el gasto, Q , puede expresarse a partir de la ecuación anterior, como:

$$Q = k A i \quad \text{:: Siendo "A" el área de la sección.}$$

En la siguiente tabla se muestra el rango de valores de k de acuerdo con el tipo de suelo:

10 ⁺²	GRAVAS LIMPIAS		MUY BUEN DRENAJE
10 ⁺¹			
10 ⁰			
10 ⁻¹			
10 ⁻²	ARENAS LIMPIAS MEZCLAS GRAVA-ARENA	ARCILLAS FISURADAS Y ALTERADAS	BUEN DRENAJE
10 ⁻³			
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵	ARENAS MUY FINAS, LIMOS Y		MAL DRENAJE
10 ⁻⁶	ARENAS LIMOSAS		
10 ⁻⁷	LIMOS ARCILLOSOS		
10 ⁻⁸	ARCILLAS		
10 ⁻⁹	(NO FISURADAS)		
			PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLES

Tabla 1.2 Valores de k , según el tipo de suelo (k en cm/seg): Zea Constantino (2004), pág. 26.

1.4.2.1 Tensión superficial y capilaridad.

Gonzalo Duque (2002) dice que, la tensión superficial es la propiedad de un líquido, por la cual las moléculas de la superficie soportan fuerzas de tensión. Por ella, una masa de agua al acomodándose al área mínima forma gotas esféricas. La tensión superficial explica “el rebote de una piedra” lanzada paralelamente a la superficie del agua. La tensión superficial se define como la fuerza en Newtons por milímetro de longitud de superficie, que el agua es capaz de soportar.

El fenómeno de la capilaridad es debido a la tensión superficial, en virtud del cual un líquido asciende por tubos de pequeño diámetro y por entre láminas muy próximas. Pero no siempre ocurre así debido a que la atracción entre moléculas iguales (cohesión) y moléculas diferentes (adhesión) son fuerzas que dependen del fluido (agua). Así, el menisco será cóncavo, plano o convexo, dependiendo de la acción combinada de las fuerzas de adherencia “A” y de cohesión “C”, que definen el ángulo “a” de contacto en la vecindad, y de la gravedad.

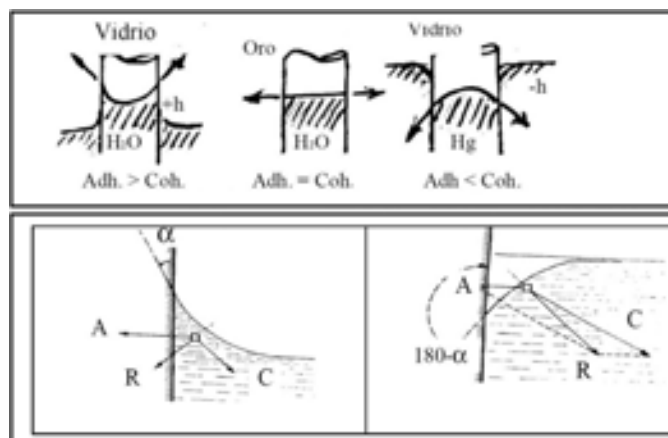


Fig. 1.5 Fenómeno de la capilaridad: Gonzalo Duque (2002), pág. 43.

1.4.3 Deformabilidad.

En general se pueden reconocer en los suelos, tres tipos básicos de comportamiento mecánico esfuerzo-deformación, los cuales son: el comportamiento elástico, el plástico y el viscoso.

“Un cuerpo con comportamiento *elástico* es aquel que al aplicarle un sistema de cargas, se deforma, pero que al retirar las cargas, el material regresa a su configuración geométrica inicial”, (Zea Constantino, 2004, 34). En contraposición el comportamiento *plástico* de un suelo se identifica porque el cuerpo permanece deformado aún cuando se retiran todas las cargas que lo deformaron.

En los suelos *viscosos* la respuesta del material no solamente depende de la magnitud de los esfuerzos aplicados, sino también del tiempo transcurrido desde la aplicación de la carga; a este tipo de respuesta se le conoce como “*diferida*”. Por el contrario, en los materiales elásticos o plásticos la respuesta del suelo no depende del tiempo, por lo que se dice que su respuesta es “*inmediata*”.

En mecánica de suelos puede definirse a la plasticidad como: “*la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse*”, (Juárez Badillo, 2000, 127).

En los suelos finos saturados, se pueden encontrar una combinación de las tres componentes de deformación, así pues, una componente elástica, plástica y otra viscoplástica.

Adicionalmente podemos identificar dos maneras en que se deforman los suelos:

a) Por “Compresibilidad”, cuando se presentan cambios de volumen sin cambios de forma en la masa de suelo. Dicho concepto se le otorga en campo a los suelos finos saturados.

b) Por “Deformabilidad”, cuando hay cambios de forma y en menor medida, cambios de volumen. Este concepto se aplica en campo a los suelos gruesos.

1.4.4 Consolidación.

Juárez Badillo (2000) dice que todo material al ser sometido a condiciones de esfuerzo, experimenta deformaciones. La deformación de los suelos aun con cargas pequeñas, es mucho mayor que en los elementos estructurales. Además, surge otro problema, las deformaciones en un suelo no suceden en el mismo instante en que se le aplican las cargas, como usualmente ocurre en elementos estructurales, en los suelos su deformación puede tener una duración de unas horas hasta varios años, dependiendo de las condiciones en que se encuentre el suelo, su granulometría y finalmente el tipo de carga que será aplicada sobre él, por esto las estructuras cimentadas sobre suelos principalmente plásticos como

las arcillas, suelen manifestar agrietamientos después de algunos años de ser construida. Otra desventaja que tiene la deformación de un suelo, es que, por lo contrario de otros elementos que al ser deformados solo cambian su forma, el suelo cambia su forma y presenta una variación importante de su volumen. Por esto anterior, es indispensable para el ingeniero realizar un estudio de mecánica de suelos para predecir el comportamiento del suelo con la carga que se le aplicará y así poder evitar deformaciones excesivas y diferenciales (en distintos lugares y con distintas magnitudes) del suelo, que pongan en riesgo la estructura y las personas que utilicen el inmueble.

Para comenzar se tienen que definir el concepto de la consolidación, y se describe como la reducción gradual de volumen del suelo por compresión debido a cargas estáticas. También puede darse por pérdida de aire o agua, o por un reajuste o reacomodo granular. De igual manera se limita a la compactación como la densificación del suelo, lograda por medios dinámicos, con el propósito de mejorar sus propiedades.

Zea Constantino (2004) refiere que, las sobrecargas de las estructuras cimentadas en suelos finos saturados inducen a la consolidación de estos últimos. En forma clásica el fenómeno se divide en consolidación primaria y consolidación secundaria. La consolidación primaria se genera en suelos finos plásticos de baja permeabilidad por un exceso de la presión del agua, el tiempo está en función de la salida del agua a través de los poros del suelo retardando el proceso de deformación del suelo. La consolidación secundaria se presenta principalmente en

arcillas muy compresibles y suelos altamente orgánicos cuando existe un deslizamiento relativo entre las láminas arcillosas, este fenómeno se denomina “*viscosidad intergranular*”, este tipo de consolidación puede tardar varios años después de cargado el suelo. El suelo presentara consolidaciones ascendentes determinadas de manera similar, cuando el suelo es descargado, es decir, cuando se retiran las cargas estáticas aplicadas sobre el suelo.

1.4.5 Resistencia al esfuerzo cortante.

Comenta M.I. Carmelino Zea Constantino (2004) que, para llevar a cabo el análisis de la estabilidad de una estructura, desde el punto de vista de la ingeniería, es necesario determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos involucrados en el mecanismo potencial de falla. Sin embargo, dicha determinación implica grandes retos para el ingeniero de mecánica de suelos, en virtud de las variables involucradas en el problema, tales como: tipo de suelo, grado de compacidad o consistencia, grado de saturación y anisotropía, entre otras.

Según los resultados que arrojan las investigaciones de Gutiérrez Lazares (2006), el corte se producirá en tanto el elemento involucrado lo permita. A veces la acción de cortar se presenta con mucha facilidad y depende de los materiales, tanto el que genera el corte como el que se resiste a ser cortado. En algunos casos el elemento que genera el corte no logra su objetivo con facilidad pero en otros el elemento es varias veces más resistente que la fuerza que se aplica para ser cortado, sin lograr su objetivo.

En la mecánica de suelos, el elemento que genera el corte es la *estructura* que transmite una carga determinada, y el elemento resistente a ser cortado, corresponde al *suelo de cimentación*. La comparación entre ambos, evalúa características de resistencia cortante.

La resistencia al esfuerzo cortante en el suelo se debe a dos componentes: la cohesión, aportada por la fracción fina del suelo y responsable a su vez del comportamiento plástico de este, y el rozamiento interno entre las partículas granulares.

1.4.6 Estados y límites de consistencia.

Ahora Bañón Blázquez (2001) menciona que, el comportamiento de un suelo está muy influenciado por la presencia de agua en su interior. Este hecho se acentúa mientras más fino es el suelo, siendo especialmente relevante en aquéllos donde predomine el componente arcilloso, ya que en ellos los fenómenos de interacción superficial se imponen a los de tipo gravitatorio.

Por ello, resulta muy útil estudiar los límites entre los diversos estados de consistencia que pueden darse en los suelos cohesivos en función de su grado de humedad: *líquido, plástico, semisólido y sólido*. Y esto se debe al sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916) quien fue el primero que relacionó el grado de plasticidad de un suelo con su contenido de humedad, expresado en función del peso seco de la muestra.

(a) Líquido: La presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantenían unido al suelo y lo convierte en un líquido viscoso sin capacidad resistente.

(b) Plástico: El suelo es fácilmente moldeable, presentando grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico. Mecánicamente no es apto para resistir cargas adicionales.

(c) Semisólido: El suelo deja de ser moldeable, pues se quiebra y resquebraja antes de cambiar de forma. Su comportamiento mecánico es aceptable.

(d) Sólido: En este estado el suelo alcanza la estabilidad, ya que su volumen no varía con los cambios de humedad. El comportamiento mecánico es óptimo.

Las humedades correspondientes a los puntos de transición entre cada uno de estos estados definen los límites líquido (LL), plástico (LP) y de retracción (LR) respectivamente.

De igual manera Bañón Blázquez (2001) presenta la siguiente figura (fig. 1.3), donde se puede observar claramente la explicación anterior.

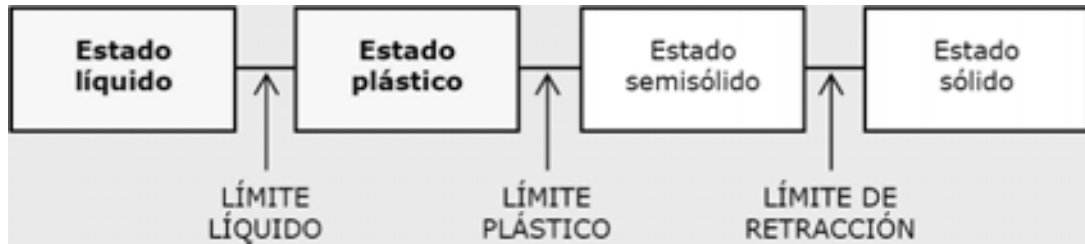


Fig. 1.3 Estados de consistencia de un suelo: Bañón Blázquez (2001), pág. 15-9.

Como se conoce en México, el límite de retracción consiste en la medición del peso y volumen de una muestra de suelo fino en forma de prisma.

El límite de contracción es la frontera entre los estados semi-sólido y sólido, quedando definido como el contenido de agua mínimo para el cual el suelo no retrae su volumen aun cuando pierda o se evapore agua. Observando la gráfica de volumen del suelo en función de su contenido de humedad, en la siguiente tabla (tabla 1.3), observamos que todo suelo llega a un punto donde su volumen no decrece aun cuando el contenido de humedad siga disminuyendo. Es este punto, el contenido de humedad que deseamos cuantificar.

El 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 g. de muestra seca de material fino, como en el caso anterior.

El *límite líquido* se establece mediante el método de la *Copa de Casagrande*. El ensayo se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que puede contener una pasta formada por 100 g. de suelo fino seco. Para ello, se coloca sobre el mencionado artefacto y se acciona el mecanismo de éste, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco realizado previamente 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, y se determinará interpolando en una gráfica normalizada las dos determinaciones obtenidas experimentalmente. La diferencia entre estos dos últimos límites se le ha llamado índice de plasticidad para lo cual se presenta la siguiente tabla (tabla 1.4).

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

Tabla 1.4 Valores típicos de consistencia del suelo: Bañón Blázquez (2001), pág. 15-11.

1.5. Características.

Como se mencionó anteriormente, los suelos son distintos en todos los aspectos posibles, desde su origen hasta su composición química no dejando de lado su comportamiento mecánico y su granulometría. Por eso mismo es indispensable definir sus características más importantes para el ingeniero.

1.5.1. Materia orgánica e inorgánica.

El suelo está compuesto por una cantidad variable de organismos vivos y residuos de estos parcial y completamente descompuestos, llamados materia orgánica. Para esto debemos de definir que un suelo rico en materia orgánica es una gran fuente de nutrientes para los propósitos y fines que persigue un ingeniero agrónomo, más sin embargo, para un ingeniero civil no son más que problemas, ya que estos materiales ofrecen una resistencia de poca a nula para la construcción, así como, una alteración constante a sus propiedades con el paso del tiempo.

La materia inorgánica del suelo es todo material mineralógico que lo compone, es decir que no cambia su estructura química en un lapso de tiempo pequeño (en relación a su formación) de forma natural y que a su vez provienen de un proceso de meteorización del suelo.

1.5.2. Estructura.

Se conoce como estructura de un suelo a la ubicación, arreglo y orientación, entre otros factores de sus partículas, los suelos pueden ser gruesos o finos cuyo tamaño fluctúa de la siguiente manera:

7.60 cm > Suelos Gruesos > 0.074 mm (malla 200) > Suelos Finos.

Nombre	Limites de Tamaño
Boleo	305 mm (12 pulg) o mayor
Canto Rodado	76 mm (3 pulg) a 305 mm
Grava Gruesa	19 mm (3/4 pulg) a 76 mm
Grava Fina	4.76 mm (tamiz N° 4) a 19 mm
Arena Gruesa	2.00 mm (tamiz N° 10) a 4.76 mm
Arena Mediana	0.42 mm (tamiz N° 40) a 2.00 mm
Arena Fina	0.074 mm (tamiz N° 200) a 0.42 mm
Finos	Menores a 0.074 mm (tamiz N° 200)

Tabla 1.5 Límites de tamaño: Blanco Simiano (2006).

Se le llama estructura de un suelo a aquella estructura en la que las partículas se apoyan una sobre la otra en forma continua, la fuerza que existe entre el contacto de las partículas se deben exclusivamente a su peso propio.

En la estructura de un suelo fino influyen de manera determinante las fuerzas electromagnéticas (cohesión) propias de las partículas de esas dimensiones y las dimensiones de origen molecular.

1.5.3. Expansión y contracción.

Los suelos denominados como expansivos son identificados por ser constituidos en su totalidad de materiales finos con un alto porcentaje de partículas heterogéneas. Estos suelos se caracterizan por su comportamiento mecánico de contracción por secado y expansión al humedecerse, además de presentarse un desarrollo de presiones cuando el suelo en proceso de expansión se confina, así como una disminución de la resistencia al corte. Por ello es muy importante que, antes de comenzar una construcción, se debe hacer un buen estudio de suelos para conocer si existen o no este tipo de materiales.

Con la siguiente tabla (tabla 1.5) donde se menciona de manera concisa las principales propiedades y características de los suelos descritas con anterioridad se da por concluido el capítulo número uno, referente a suelos.

	Arenosos	Limosos	Arcillosos
Retención de agua	Baja	Media – Alta	Alta
Aireados	Bien	Moderadamente	Pobrementemente
Drenaje interno	Rápido	Mediano – Lento	Muy Lento
Materia orgánica	Bajo	Medios – Altos	Altos
Calentamiento	Rápido	Moderado	Lento
Compactación	Resistencia	Fácilmente	Resistente
Erosión	Susceptible	Altamente	Fácilmente
Expansión, Contracción	Casi Nula	Moderada	Muy Alta - Moderado

Tabla 1.6 Límites de tamaño: Blanco Simiano (2006).

CAPÍTULO 2

ARCILLAS EN OBRAS CIVILES

Habiendo estudiado al suelo en el capítulo anterior, el capítulo que se presenta a continuación se inclina a favor de los suelos finos expansivos conocidos como “arcillas”, para esto, será expuesta la arcilla como material de construcción y los procedimientos constructivos para el aprovechamiento del comportamiento y las propiedades de éstas.

2.1. Identificación de las arcillas.

Como ya se mencionó en el punto 1.3.3 de esta tesis, para clasificar un suelo fino se deben realizar una serie de pruebas las cuales nos proporcionan sus características y su comportamiento, estas pruebas serán mencionadas a detalle a continuación, las cuales se obtuvieron de las prácticas de laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad “Don Vasco” A.C.

2.1.1. Pruebas en campo.

“La prueba de dilatación o dilatancia” se realiza de la siguiente manera:

Paso 1. El material que se va a emplear es el que pasa la malla No. 40 (suelo fino), se prepara una porción de suelo húmedo aproximadamente igual a 10 cm³. se le añade el agua suficiente para dejar una mezcla del suelo suave pero no pegajosa.

Paso 2. Se coloca una porción del suelo en la palma de la mano y se agita horizontalmente, golpeando vigorosamente contra la otra mano varias veces; observar si el agua sale a la superficie de la muestra dándole una apariencia blanda y satinada.

Piso 3. Después se aprieta la muestra entre los dedos hasta lograr que la humedad desaparezca de la superficie, la que cambia de una apariencia brillante o lustrosa a otra mate. Al mismo tiempo la muestra se endurece y finalmente se agrieta y/o desmorona. Se vuelve a agitar o mezclar las piezas rotas hasta que fluyan otra vez juntos. La rapidez de la aparición del agua durante el agitado y su desaparición durante el apretado sirve para identificar el carácter de los finos. Hay que anotar si la reacción al agitado fue rápida, lenta o nula.

“La prueba de tenacidad” en cambio se realiza de esta forma:

Paso 1. El material que se va a emplear es el que pasa la malla No. 40 (suelo fino), debe moldearse un espécimen de aproximadamente 10 cm³ hasta alcanzar la consistencia de masilla.

Paso 2. Si el suelo está muy seco debe agregarse agua, pero si esta pegajoso debe extenderse el espécimen formando una capa delgada que permita algo de pérdida de humedad por evaporación.

Paso 3. Posteriormente el espécimen se rola a mano sobre un cristal o una superficie lisa o entre las palmas de las manos hasta hacer rollitos de 1/8" (3 mm.) de diámetro aproximadamente. Se amasan y se vuelven a rodar otra vez repitiendo el proceso hasta que la pérdida de humedad se reduzcan gradualmente y la muestra llegue a ponerse firme, por lo que pierde finalmente su plasticidad y se desmorona cuando alcanza su límite plástico, lo cual ocurre cuando los rollitos se agrietan.

Y finalmente la prueba de resistencia al estado seco que determina la resistencia que opone un suelo al romperse o desmoronarse se realiza así:

Paso 1. El material que se va a emplear es el que pasa la malla No. 40 (suelo fino), hay que amasar una muestra de suelo húmedo hasta alcanzar una consistencia de masilla.

Paso 2. Se deja secar la muestra completamente a la intemperie y después en un horno, probar su resistencia rompiéndola o desmoronándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida cualitativa de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia en estado seco aumenta con la plasticidad.

Paso 3. Se anota si la resistencia en estado seco del suelo que se quiere identificar fue muy alta, alta, media, ligera o nula.

Una vez realizadas las 3 pruebas nombradas anteriormente, se comparan con la parte inferior de la tabla del S.U.C.S. (Tabla 1.1), en donde se señalan todos los tipos de arcilla en base a los resultados obtenidos por las pruebas realizadas.

2.1.2. Pruebas en laboratorio.

Estas pruebas son un tanto más complejas ya que no son empíricas como las pruebas de campo, sino científicas. Por lo que se expresaran las formulas para cada una de las siguientes pruebas, en las cuales se pueden identificar con gran precisión la muestra de suelo que se encuentra en estudio.

Crespo Villalaz (2004), refiere que el límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra y se calcula con el método de la copa de Casagrande como se menciona en el 1.4.6 del capítulo anterior.

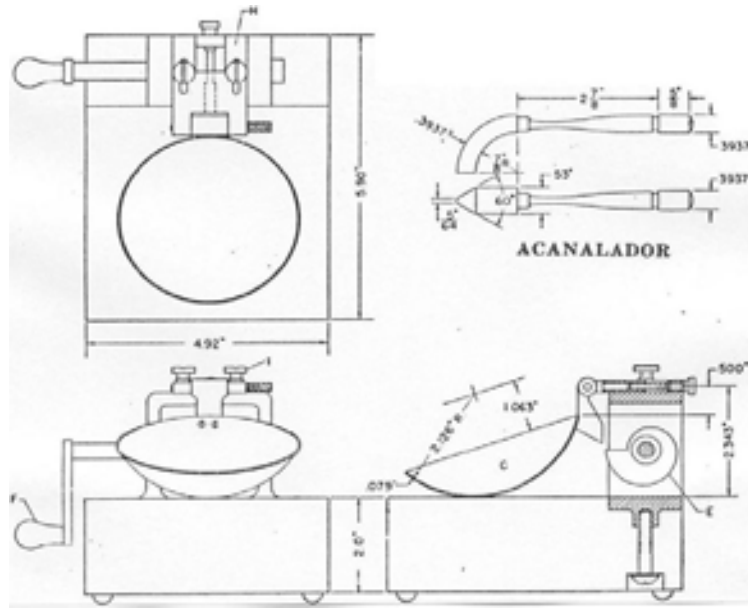


Fig. 2.1 Copa de Casagrande: Universidad de la República Uruguay.

Y se calcula de la siguiente manera:

$$LL(\%) = \frac{\text{Peso del Suelo Humedo} - \text{Peso del Suelo Seco}}{\text{Peso Del Suelo Seco}} \times 100$$

El límite plástico igualmente se mencionó en el capítulo anterior, sin embargo, los cilindros de 3 mm de muestra de suelo que se realizan para la determinación de este límite se dejan secar por completo en un horno, para poder determinar un porcentaje de humedad y se calcula así:

$$LP(\%) = \frac{\text{Peso del Suelo Humedo} - \text{Peso del Suelo Seco}}{\text{Peso Del Suelo Seco}} \times 100$$

El índice de plasticidad de un suelo es un parámetro físico que nos indica la plasticidad de un suelo y lleva por fórmula:

$$IP(\%) = LL - LP$$

La interpretación del resultado de la fórmula anterior se puede tomar de la siguiente forma:

- ✓ $IP = LL - LP > 10\% ::$ Suelo Plástico.
- ✓ $IP = LL - LP < 10\% ::$ Suelo No Plástico.

El límite de contracción se determina con una muestra de suelo, la cual es la sobrante de la prueba para la obtención del límite líquido, esta muestra se ajusta a una cápsula de petri (3 pulg. x 1/8") y se coloca en un horno a 110 °C durante 24hrs. Al término de este tiempo se desmolda la muestra y se mide la reducción de volumen que se presentó.

2.1.3. Olor y color del suelo.

La identificación de color en un suelo es de importancia en el aspecto técnico ya que de esta manera se pueden identificar los diferentes estratos con los que cuenta el suelo. De forma experimental sabemos que un suelo oscuro es un referente de la presencia de materia orgánica en el suelo, mientras que un suelo claro y brillante indica un bajo contenido coloidal y si un alto contenido mineral, como comenta Juárez Badillo (2000).

También indica que, un suelo orgánico posee un olor característico que aumenta en intensidad al humedecerse pero disminuye con una exposición prolongada al aire, por el contrario, aumenta si este suelo húmedo es calentado.

2.2. Compactación de arcillas.

Comenta D. Reynolds (2008) en su curso de métodos de compactación que, la compactación es la densificación de los materiales del suelo por el uso de energía mecánica. El suelo se compacta para quitar el aire y el agua de su espacio poro, con el objetivo de incrementar la capacidad de carga y disminuir la capacidad de deformación del suelo, en arcillas se realiza principalmente para otorgar impermeabilidad al suelo.

El Dr. R. R. Proctor demostró que existe un contenido de agua de compactación llamado óptimo o humedad óptima, que produce el máximo peso volumétrico seco en el suelo para un proceso de compactación dado.

2.2.1. Análisis de laboratorio.

Generalmente, antes de cualquier compactación del suelo, se analiza en el laboratorio varias muestras del suelo. Hay dos pruebas para la medición de la compactación del suelo llamadas la prueba "Proctor Estándar" (llamada también A.A.S.H.T.O., American Association of State Highway and Transportation Officials), y la "Proctor Modificada" (llamada A.A.S.H.T.O. modificada).

De acuerdo con Juárez Badillo (2000), la prueba A.A.S.H.T.O. estándar consiste en compactar la muestra de suelo en tres capas dentro de un molde de dimensiones y forma específica, por medio de un pistón específico también, que se deja caer libremente desde una altura fijada con anterioridad.

Debido al rápido desarrollo comercial del equipo de compactación y al no lograr representar de manera satisfactoria compactaciones mayores realmente logradas por los nuevos equipos, se obligo a una modificación de la prueba Proctor estándar, incrementando el número de capas de la muestra del suelo, así como, el peso del pistón y su altura de caída, surgiendo así la prueba Proctor modificada.

El material requerido que se especifica en las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para la prueba, es un molde metálico de forma cilíndrica, de $101,6 \pm 0,4$ y $152,4 \pm 0,7$ mm de diámetro interior, dependiendo de la variante de la prueba que se realice, de volúmenes (V) y masas (Wt) conocidos, provistos de una placa de base metálica a la cual se asegura el cilindro y una extensión o collarín removible con diámetro interior igual al del cilindro, con la forma y dimensiones indicadas en la siguiente figura:

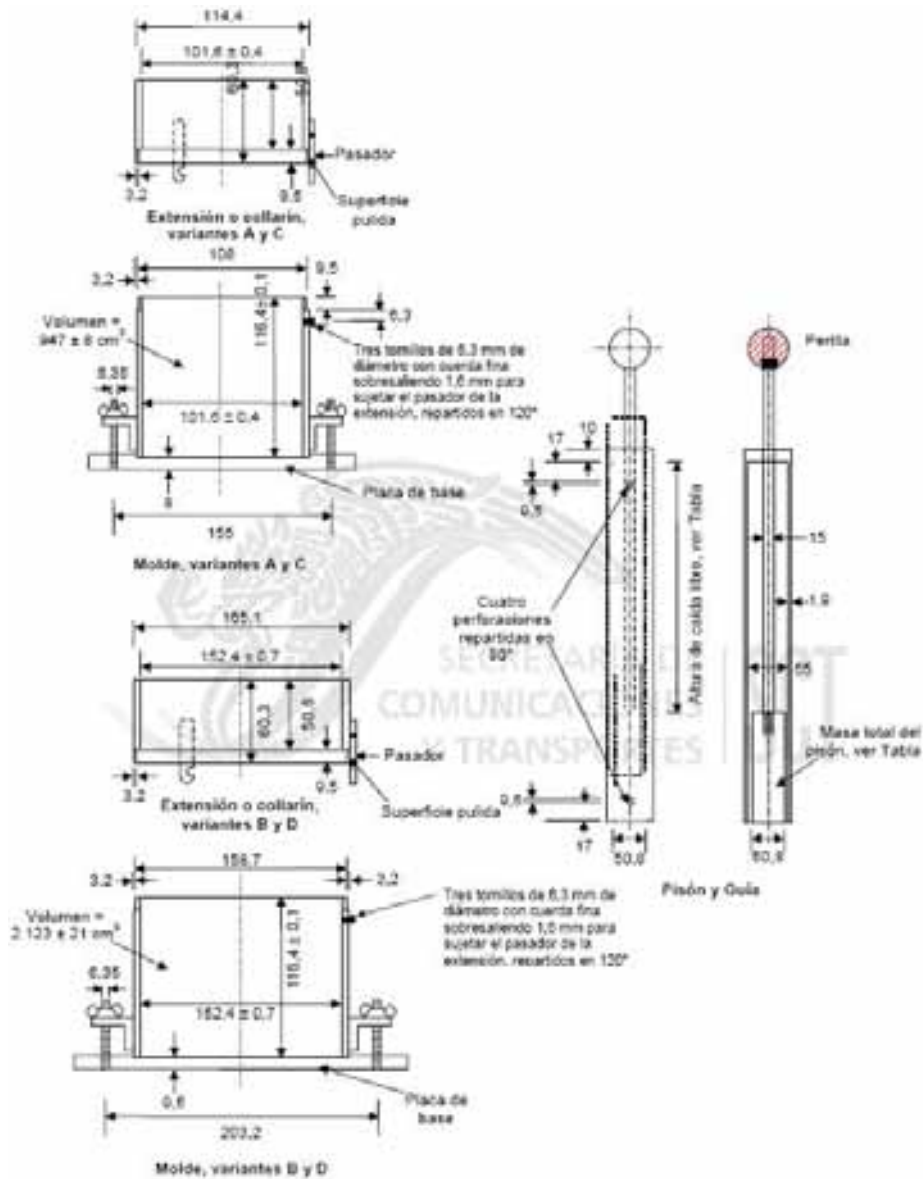


Fig. 2.2 Moldes y pistones para la prueba de compactación A.A.S.H.T.O.:
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Las características del pisón varían según la prueba que se vaya a realizar, las cuales son mencionadas en la siguiente tabla.

Tipo de prueba	Estándar	Modificada
Masa del pisón, kg	2,5 ± 0,01	4,54 ± 0,01
Diámetro del pisón, mm	50,8	50,8
Altura de caída del pisón, cm	30,5 ± 0,1	45,7 ± 0,1

Tabla 2.1 Características del pisón por prueba: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La prueba del Proctor Estándar es generalmente para los terraplenes requiriendo la compactación mínima del subnivel, para tal como estacionamientos pequeños y estructuras de edificio, mientras la Proctor Modificada generalmente se usa para rellenos que apoyarán cargas grandes, tales como carreteras, pistas de aterrizaje, y columnas concretas de estacionamientos, siempre tomando en cuenta que estas pruebas son inútiles ante suelos puramente friccionantes (arenas), justo como menciona D. Reynolds (2008). Para esto se muestra la siguiente consideración en la construcción de vías terrestres:

Capa	Prueba Proctor (AASHTO)	% de compactación mínima
Cuerpo de terraplén	Estándar	90
Subrasante	Estándar	95
Subbase y base A	Estándar o intermedia	95 o 100
Subbase y base B	Modificada	100

Tabla 2.2 Sugerencia de compactación: C. Rosetti (2005).

2.2.2. Compactación en campo.

Las variables que afectan al proceso de compactación de un suelo son su naturaleza, método de compactación, la energía específica aplicada al suelo, la temperatura y su humedad.

Refiere D. Reynolds (2008) que, el suelo se coloca generalmente en capas de 6 pulgadas hasta 1 pie de alto. El tamaño, el tipo del equipo de la compactación y la densidad relativa deseada es esencial para determinar la profundidad de la capa. Es a consideración del ingeniero especificar la profundidad de las capas del terraplén al compactar el relleno.

Las capas del suelo deben ser especificados de tal manera que de la compactación requerida con los mínimos pasos del equipo de la compactación. Generalmente, le dan a un contratista el porcentaje del grado óptimo de compactación que se debe lograr en el campo. A esto se refiere como la "Densidad Relativa". Las densidades relativas generalmente abarcan desde 90% a 95% comparado al Proctor Modificado y el 95% a 100% comparados al Proctor Estándar.

2.2.3. Tipos de equipo.

La compactación del campo de los suelos se hace principalmente con varios tipos de rodillos. Los tipos más comunes de compactación en campo son los siguientes:

- ✓ Compactación por amasado (Rodillos pata de cabra)
- ✓ Compactación por presión (Rodillos lisos y neumáticos)
- ✓ Compactación por impacto (Pisones; Equipo manual)
- ✓ Compactación por vibración (Equipo vibratorio)
- ✓ Métodos de compactación mixtos (con vibración)

Los rodillos pata de cabra son el equipo que se utiliza para compactar suelos finos como arcillas blandas, arcillas arenosas, o mezcla de arenas con finos, ya que cuentan con una característica muy particular. A diferencia de los rodillos lisos (con o sin vibración) que solamente compactan los suelos en su superficie, el rodillo pata de cabra compacta de abajo hacia arriba pues proporciona un efecto de amasado.

Este tipo de rodillo fue creado por unos constructores ingleses ya que observaron que las patas de las cabras compactaban con gran eficiencia las arcillas debido a su forma, de tal manera que trataron de reproducir el andar de estos animales.

Las protuberancias que sobresalen de los rodillos pata de cabra son de 15 cm. fijas al tambor y espaciadas de entre 15 y 25 cm. en cualquier dirección. Estos equipos proporcionan una presión a las arcillas de 10 a 40 kg/cm² según el equipo que se utilice, aunque se pueden rellenar los rodillos con arena o agua incrementando la presión hasta llegar a los 80 kg/cm², aunque estas presiones únicamente son recomendables en suelos con poca humedad.

La siguiente tabla muestra algunos datos técnicos – prácticos acerca de la compactación de arcillas con rodillos pata de cabra.

Tipos de Suelo	Presión de Contacto	Área de contacto	No. de Pasadas	Grado de compactación
(UNIDADES)	(Kg/cm²)	(cm²)		(%)
Arena Arcillosa	17.50	43.95	9	99
	31.50	43.95	9	99
Arcilla Limosa	17.50	43.75	8	102
	35.00	43.75	8	101
	52.50	43.75	8	101
Arcilla poco Plástica	8.70	87.50	12	101
	26.20	87.50	12	101

NOTA: Capas compactas de 15cm y w cercana a la óptima.

Tabla 2.3 Grado de compactación por No. de Pasadas: Brito Chávez (2007).

2.3. Estabilizaciones químicas de las arcillas.

La estabilización de suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades físicas indeseables del suelo para obtener una estructura resistente al corte y relación de vacíos deseables. Se entiende por estabilización a “la permanencia en el tiempo de las características mecánicas obtenidas al momento de la construcción”, Santiago Márquez (2005).

Santiago Márquez (2005), la estabilización de suelos no sólo consiste en llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas aplicadas, sino también asegurar la permanencia de este estado a través del tiempo.

Por información de <http://ingenieracivil.blogspot.com/>, (2008), se sabe que los materiales estabilizantes son aquellos que incorporados al suelo modifican sus propiedades en particular su grado de reacción al agua, modifican su granulometría introduciendo en el material valores incrementados de fricción interna.

Existen muchos métodos para estabilizar suelos utilizando materiales estabilizantes. Para ser considerados aptos en el campo de la construcción deben reunir ciertos requisitos o características como las siguientes:

- ✓ La producción de un estabilizante determinado debe efectuarse en gran escala y reunir los requerimientos pertinentes a la calidad, actualmente los cementos y asfaltos se encuentran normalizados en cuanto a su producción se refiere, sin embargo, no así sucede con la cal, cuya forma de producción varía de acuerdo a las posibilidades de explotación.

- ✓ Su costo debe ser mínimo de acuerdo al volumen que se usa.
- ✓ No deben ser tóxicos ni corrosivos tanto para su manipulación manual, como para la maquinaria que lo usa o trabaja.
- ✓ La acción del agente estabilizante debe ser constante a través del tiempo y compatible con el resto de la estructura.

En los suelos arcillosos, particularmente en climas áridos o semiáridos, es altamente probable encontrar problemas relacionados con inestabilidades volumétricas ante la ganancia o pérdida de agua. Existen en la práctica diversos métodos para estabilizar a tales suelos, pero los 2 más utilizados serán descritos en breve.

2.3.1. Cemento.

Para Santiago Márquez (2005), uno de los materiales estabilizantes es el Cemento Portland que en diferentes porciones y formas variables con el suelo, da lugar a distintos productos o resultados derivados del proceso indicado.

El *Suelo Tratado con Cemento* es uno de ellos y se define como, una mezcla íntima de suelo y cemento con adición de agua para la cual no existe requerimiento alguno de calidad. Esta es una mezcla semi-endurecida de suelo y cemento, se logra con una porción baja de cemento y lo que logra es modificar la avidez de agua del suelo disminuyendo su plasticidad.

Otro es el *Suelo-Cemento* este material contiene suficiente cemento como para endurecer el suelo al cual se ha incorporado al grado de humedad necesaria para lograr una buena compactación y conseguir la hidratación del cemento.

Por último se tiene el *Suelo-Cemento Plástico*, esta es una mezcla de suelo y cemento endurecida que contiene en el momento de elaborarla, suficiente cantidad de agua como para lograr una consistencia similar a la del mortero plástico, este producto se utiliza regularmente en taludes y en donde no es posible emplear equipo de construcción convencional.

Existen 3 requisitos básicos que se deberán tener en cuenta al elaborar un suelo-cemento a efectos de lograr un producto resultante que sea durable y estable.

- ✓ Modificación de la humedad optima.
- ✓ Compactación uniforme y a máxima densidad.
- ✓ Incorporación de suficiente cantidad de cemento para reducir la pérdida de peso o cambio de volumen y humedad a cantidades despreciables después de los ensayos de durabilidad.

El porcentaje de cemento se puede expresar por peso o por volumen:

$$\% Pc = \frac{\text{Peso Cemento}}{\text{Peso Suelo Seco}} \times 100 \qquad \% Vc = \frac{\text{Volumen Cemento}}{\text{Volumen Suelo Seco}} \times 100$$

Los materiales de los cuales se compone el suelo-cemento son:

- ✓ Agua; previamente limpiada y libre de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos y materia orgánica. El agua potable se usa satisfactoriamente, aunque no se tiene problema con el agua de mar.
- ✓ Suelo; prácticamente todos los suelos pueden ser estabilizados con cemento, no es necesario que sean materiales bien graduados puesto que la cohesión se alcanza por la hidratación del cemento.
- ✓ Cemento; puede emplearse cualquier tipo de cemento que cumpla los requerimientos de las especificaciones de la obra.

2.3.2. Cal.

Santiago Márquez (2005), en su artículo comenta que para el tratamiento de suelos se puede utilizar cal viva (óxido de calcio – CaO), cal hidratada (hidróxido de calcio – Ca[OH]₂) o una lechada de cal.

La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO₃) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de

calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

Existen 4 procesos en el accionamiento de la cal en los suelos, estos son el intercambio de bases, floculación, acción puzolánica y la carbonatación. En los 2 primeros se cambian las propiedades del suelo siendo irreversibles y en los 2 últimos tiene lugar la acción cementante de la cal y un incremento en las propiedades de la resistencia al corte por el incremento en la cohesión.

De lo expuesto anteriormente se puede decir que existen dos formas de acción de la cal sobre el suelo:

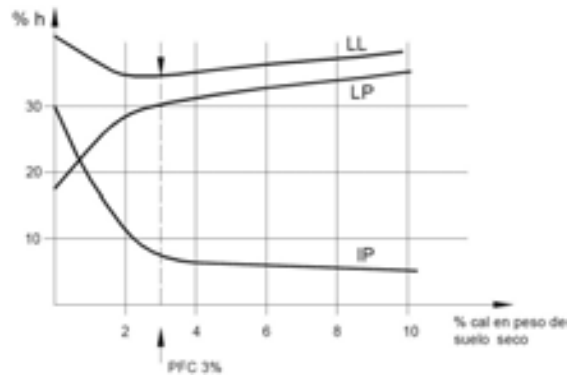
- A. Modificar el suelo con cal; (Intercambio de bases y Floculación).
- B. Estabilizar el suelo con cal; (Acción Puzolánica y Carbonatación).

De esto se puede definir que existe un porcentaje de cal en peso mediante el cual puede distinguirse un proceso de otro, por ejemplo, las acciones para estabilizar (B.) ocurren cuando existe un exceso de cal.

La carbonatación es un proceso indeseable en la construcción, se produce al estar en contacto el suelo con cal con el oxígeno del ambiente y en vías terrestres se evita curando el suelo con riego asfáltico.

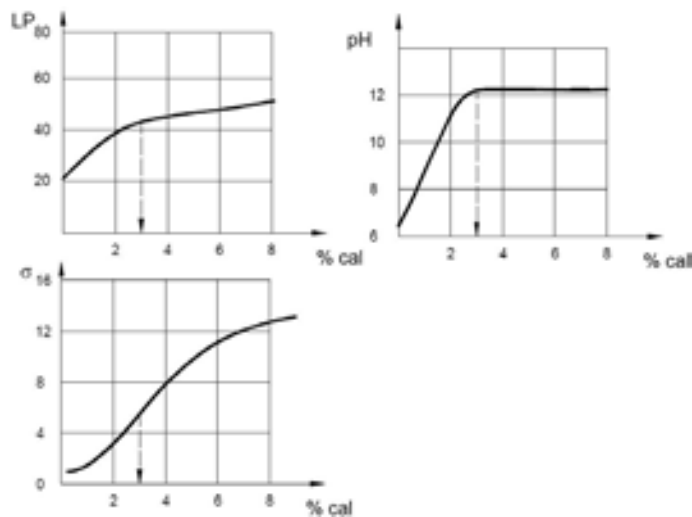
Específicamente hay un 3% de cal en peso de suelo seco que debe de adicionarse al suelo para lograr los procesos para modificar el suelo (A.), la cal en

exceso que se agregue será consumida por los otros 2 procesos (B.), sin embargo, se sabe por medio de la siguiente grafica que existe un límite máximo de cal a incorporar al suelo para lograr la acción de los 2 procesos de estabilización (B.).



Gráfica 2.1 Estabilización con cal: Santiago Márquez (2005).

A continuación se presentan 3 gráficas en donde se puede observar el comportamiento del suelo ante el incremento paulatino del porcentaje de cal. Esto es lo que sucede con el límite plástico, alcalinidad y la resistencia (kg/cm^2):



Gráfica 2.2 Comportamiento del suelo: Santiago Márquez (2005).

2.4. Uso de arcillas en construcción.

Dentro de las obras civiles, las arcillas juegan un papel indispensable que van desde la reposición de arcillas por material inerte en canales de riego, hasta la colocación de pantallas (corazones) impermeables en presas hidráulicas, o simplemente la creación de mampostería de tabique para un muro divisorio.

Por esto el ingeniero civil debe conocer la relevancia de las arcillas en todo tipo y género de construcciones civiles, además de tomar en cuenta la aparición de suelos arcilloso en gran parte de esta región de la meseta purépecha.

2.4.1. Reposición de arcillas por material inerte en canales de riego.

El Ingeniero Iturburu M. (2008) señala que, el canal lleva el agua desde el río o arroyo hasta los cultivos. Allí se podrá regar por surcos o por algún otro sistema. La forma, tamaño y pendiente del canal determinan la cantidad de agua que puede llevar, es decir, lo que se le conoce como caudal, que generalmente se mide en litros por segundo (lt/seg).

Para construir un canal se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ El caudal que se planea conducir.
- ✓ La inclinación de los taludes (paredes laterales).
- ✓ La pendiente del terreno.

Se debe de considerar que la pendiente o desnivel del canal está en función del tipo de suelo, es decir, un canal con suelo arcilloso permite un mayor desnivel a diferencia de uno arenoso, esto debido a la erosión provocada por la velocidad del caudal, sin embargo, una pendiente escasa provoca un decremento en la velocidad, así como, una sedimentación indeseable en el lecho del canal de piedras, troncos y partículas flotantes.

En zonas donde el suelo permite una gran cantidad de filtración de agua a través de las paredes del canal, se debe sellar ya sea con concreto, con membranas plásticas a base de polietileno, con un recubrimiento compacto de bentonita (arcilla) o con algún otro material sintético.

En cuanto a la reposición de arcillas por material inerte refiere a la expansividad de las arcillas, esta reposición se logra con materiales que no reaccionan con el agua, un ejemplo de ello es el tepetate (ceniza volcánica) y a que no cambia su peso volumétrico con la hidratación, de ahí su nombre de suelo inerte.



Fig. 2.3 Recubrimiento de canales de riego: Iturburu M. (2008).

2.4.2. Delantales, pantallas y corazones impermeables en diques.

El Ingeniero Amaro Salazar (2007) demostró en clase que, los delantales y las pantallas impermeables de arcilla o algún otro material (suelo-cemento, asfalto o materiales sintéticos) responden a las exigencias de deformabilidad y permeabilidad siempre que se coloquen en un proceso correcto de acuerdo a las especificaciones que lo indiquen.

La impermeabilidad del material del que elemento está compuesto debe ser, para cargas hasta de 15 m de materiales arcillosos, tierra turbosa. Para cargas mayores se usan de concreto reforzado, asfaltos o similares, debido a que soportan mayor presión hidrostática sin sufrir deformaciones excesivas.

Los delantales y pantallas impermeables en presas hidráulicas evitan el flujo de agua a través de la cimentación de la estructura, que a su vez provoca la erosión del material de relleno.

Los corazones impermeables de arcilla se localizan al centro de la presa y es colocada para evitar el flujo de agua a través de ella, ya que esto puede provocar la formación de redes de flujo a traves de cuerpo de la presa y provocar una reducción considerable en la estabilidad de ésta.

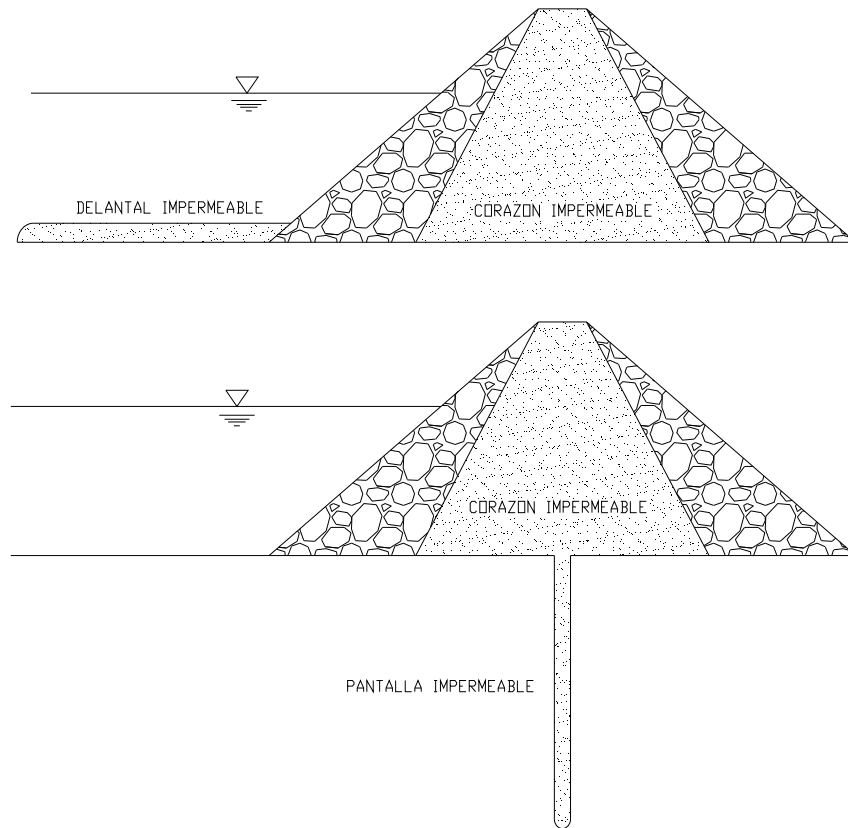


Fig. 2.4 Diseño de presas: Amaro Salazar (2007).

2.4.3. Mampostería de ladrillo.

El uso del ladrillo como elemento constructivo, se conoce desde la antigüedad. Se puede definir al tabique como “Piezas cerámicas, en forma de bloques, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción conveniente.” (Moreno, 1981, 7).

En el manual de Jiménez Salado (2008) se logra observar que las dimensiones más comunes del ladrillo o tabique son 240 x 120 x 60 mm. Para que un ladrillo sea considerado como bueno debe de ser solido, resistente sin fisuras

y que se pueda fracturar de un sólo golpe. De esta misma forma debe de contar con una geometría homogénea, compacta, luciente y exenta de impurezas en el material, además de poseer una cocción exacta.

Un ladrillo debe de contar con las siguientes propiedades físicas y mecánicas:

- ✓ Resistencia a la compresión.
- ✓ Absorción.
- ✓ Resistencia a la congelación.
- ✓ Resistencia al fuego.
- ✓ Aislamiento térmico.

A continuación se presentan un par de tablas que muestran la clasificación y las propiedades mecánicas de los ladrillos según las normas mexicanas:

Tipo	Mq	Designación	Grados de Calidad
Subtipo	MqM	Ladrillos macizos	A – B – C – D –
Subtipo	MqP	Perforados	B – C – D –
Subtipo	MqHv	Huecos verticales	C – D –
Subtipo	MqHh	Huecos horizontales	D – E –
Tipo	Mn	Ladrillos macizos	E

Tabla 2.4 Clasificación y grados de calidad; Norma Mexicana NMX-C-006-1976.

Tipos						Mq							Mn
Subtipos		MqM				MqP			MqHv		MqHh		
Grados de Calidad		A	B	C	D	B	C	D	C	D	D	E	E
Resistencia de compresión mínima (kg/cm ²)	Promedio de 5	250	150	100	50	100	75	50	75	50	50	30	30
	Individual	200	120	80	40	80	60	40	60	40	40	20	20
Referencia mínima (cm ²)	Promedio de 5	6	4	4	2.5	4	4	2.5	3	2.5	3	2.5	2
	Individual	4	3	2	1.7	3	2	1.7	2	1.7	2	1.7	1.5
Proporción de agua (%peso)	Promedio de 5	10	14	16	18	14	16	18	14	16	18	22	22
	Individual	12	16	18	20	16	18	20	16	18	18	20	24

Tabla 2.5 Especificaciones para ladrillos de arcilla; Norma Mexicana NMX-C-006-1976

El ladrillo se utiliza en la construcción de muros, fachadas, pórticos, hasta la aparición del concreto todavía se utilizaban en la formación de columnas, arcos, estructuras en catedrales y en algunas ciudades grandes y antiguas las obras de drenaje fueron construidas con mampostería de tabique.

Constructivamente el tabique se coloca uno sobre otro, aunque poseen suficiente estabilidad para ser colocados a hueso, es decir, sin ningún tipo de liga entre los ladrillos, sin embargo, lo más común es unirlos con la ayuda de mortero, elaborado con cemento-mortero, arena y agua, para incrementar su rigidez ante durezas externas que traten de voltear al muro.

2.5. Desventajas de las arcillas en construcción.

De la misma manera en que se han mencionado las ventajas más importantes que se pueden obtener de las arcillas y el uso más apropiado para el aprovechamiento de las características y propiedades de los suelos arcillosos en el ámbito de la construcción. Es conveniente señalar que no siempre las arcillas como elemento en la construcción o como simplemente suelo será provechosa su aparición.

Castillo Soto (2002) comenta que en suelos expansivos, al aumentar el grado de saturación, provoca reducción de la adherencia entre los granos e hinchamiento del mineral de arcilla ocasionando cambios importantes en el comportamiento mecánico, esto provoca deformaciones irregulares en la superficie del suelo y en las construcciones que se apoyan sobre ellos.

En vías terrestres es una de las más grandes dificultades para la carpeta asfáltica ya que, somete al asfalto a esfuerzos para los que no fue diseñado, para evitar esto el suelo se estabiliza.

La cimentación sobre suelos expansivos es para el ingeniero es más complicado, pues el suelo es sometido a fuerzas externas de magnitudes considerables y esto provoca deformaciones diferenciales en el suelo, es decir, no uniformes, que afecta directamente a las estructuras provocando fallas estructurales evidentes.

2.5.1. Cimentación sobre arcillas.

“La cimentación es la porción del subsuelo que es afectada de forma importante (en términos de esfuerzo y deformación) por la presencia de una estructura.” (Castillo Soto; 2002; 15)

El objetivo del diseño de una cimentación es transferir al suelo las cargas del edificio con las siguientes características:

1. Estabilidad al desplazamiento y al volteo o giro.
2. Resistencia al suelo, esta se consigue con la capacidad de carga.
3. Rigidez, evitando que los desplazamientos dañen la estructura.
4. Durabilidad, conservar sus características durante su vida útil.
5. Económica, costos (proyecto, construcción, operación y mantenimiento).

Y su diseño constara de las siguientes etapas:

- a) Analizar el sistema del suelo determinando las fuerzas y deformaciones que se generan.
- b) Revisar la capacidad de carga del suelo.
- c) Dimensionar y diseñar cada uno de los elementos.

La clasificación de las cimentaciones va de acuerdo a la profundidad de desplante, la cual depende de la ubicación de los estratos resistentes del suelo.

De esta manera las cimentaciones se clasifican en superficiales, intermedias y profundas.



Fig. 2.5 Clasificación de cimentaciones: Navarro Caballero (2007).

2.5.1.1. Origen de daños estructurales.

Como ya se mencionó el comportamiento de suelos expansivos frente a los cambios de humedad da lugar a la variación de su volumen, produciéndose movimientos por los asentamientos diferenciales de la cimentación, lo que puede

llevar a la estructura a soportar esfuerzos superiores a los previstos en cálculo y por tanto producir daños no admisibles, que pueden ser:

- ✓ Grietas verticales e inclinadas en ambos sentidos. (Fig. 2.6)
- ✓ Figuración y rotura de elementos estructurales.
- ✓ Rotura de cimentación, columnas, traveses, muros, losas.
- ✓ Deformación de pisos.
- ✓ Rotura de conducciones.

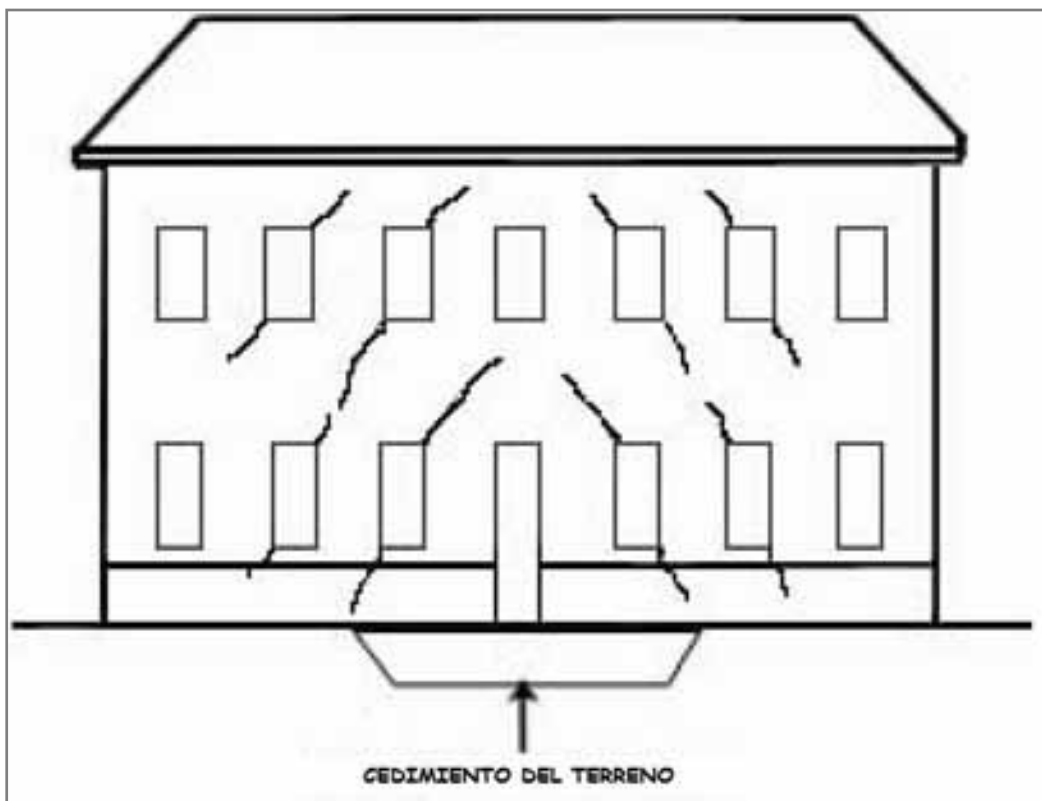


Fig. 2.6 Grietas estructurales: Patología de la edificación (2008).

2.5.1.2. Prevención y reparación de daños.

Para evitar la aparición de los daños estructurales descritas anteriormente, a continuación se nombraran algunas de las recomendaciones generales a seguir descritas en Patología de la Edificación (2008), las cuales deberán elegirse alguna o todas según sea el caso:

a) PROFUNDIDAD DE APOYO. La solución de cimentación propuesta por el ingeniero, deberá apoyar a una profundidad suficiente sobre las zonas del sustrato menos expuestas a los cambios de humedad esto incluye el nivel freático del suelo, intentando evitar así las capas activas.

b) CARGAS. Las cargas transmitidas por la cimentación al sustrato, deberán compensarse con la tensión máxima admisible del suelo, y la presión de hinchamiento, de modo que esta última nunca supere la tensión de trabajo de la cimentación.

c) TIPO DE CIMENTACIÓN. Cada una de ellas deberán en todos los casos estar perfectamente arriostradas al menos en dos direcciones (conectadas por dalas de cerramiento adecuadamente armadas).

d) CONDUCCIONES SUBTERRÁNEAS. Deberán de controlarse tanto de proyecto como de ejecución, todas las conducciones subterráneas como saneamientos, canalizaciones y tuberías, para evitar roturas o fugas de agua que

alteren el estado de humedad del suelo y se puedan producir movimientos del suelo.

e) URBANIZACION EXTERIOR. Aceras amplias y pavimentaciones extensas impermeables; dispuestas de forma perimetral, con pendiente hacia fuera y cunetas en el borde exterior. Zonas ajardinadas que puedan disponer de un sistema adecuado de drenaje que impida cambios de humedad del suelo y donde se evitará la plantación de especies caducifolias y de ribera (sauces, olmos, etc.), además de evitar edificaciones de gran magnitud.

f) DRENAJE. Sistemas de drenaje efectivos, que permitan la correcta evacuación de las aguas superficiales.

g) EN LA EJECUCIÓN. Deberá evitarse la exposición prolongada del sustrato de apoyo a la acción de la naturaleza, lográndose con una excavación y un colado del concreto en el menor tiempo posible.

Las reparaciones que se llevan a cabo, son complejas y de elevado costo, siendo estrictamente necesaria la obtención de parámetros geotécnicos para el cálculo del rescate o refuerzo esté a la altura de las circunstancias y las fallas no progresen. Los principales métodos de reparación son la recalces en cimentación, mediante muros milán o micro pilotaje, refuerzos horizontales y refuerzos en la estructura, dalas de cerramiento a nivel de cubierta y forjados intermedios, rigidización de marcos de puertas y ventanas, empleo de contrafuertes, etc.

2.5.1.3. Conclusiones sobre la cimentación en suelos expansivos.

La cimentación sobre arcillas expansivas es posible siempre y cuando se cuantifique con exactitud el grado de expansividad y se tomen las medidas adecuadas a cada situación.

La realización de un estudio de mecánica de suelos completo previo a la realización del proyecto donde se determinen las características físicas y mecánicas del terreno de apoyo de la cimentación, es esencial para no alterar las condiciones de trabajo previstas.

Será estrictamente necesario tomar las precauciones necesarias para no producir cambios de humedad durante la ejecución.

Con esto último se da por concluido el segundo capítulo de esta tesis, en donde se demostró que las arcillas son necesarias para un ingeniero civil si se maneja adecuadamente, tanto para su remoción y eliminación bajo la cimentación de una estructura como su tratamiento y transformación en diversas materias primas, y entender así, que las arcillas tienen un comportamiento similar pero no homogéneo así que puede variar según sea el caso.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

El estudio que se da a conocer en este trabajo de investigación fue desarrollado en un tramo del canal de riego del proyecto Cupatitzio - Tepalcatepec.

Dicho canal fue estudiado y presentó filtración de agua al subsuelo, debido a la cantidad de agua que se perdía por esta situación, se optó por brindar al canal un recubrimiento de concreto hidráulico para nulificar cualquier tipo de filtración y obtener así un mejor aprovechamiento de este afluente.

El estudio reveló que el fondo del canal cuenta con una gran cantidad de arcillas expansivas, tomando esto en cuenta, se tomó la decisión de restituir con un suelo inerte proveniente de un banco de material cercano al sitio.

Fue necesario recurrir a la investigación documental para la obtención de información teórica, así mismo se recurrió a la entrevista de algunos ingenieros responsables de la obra con el fin de recabar información más precisa y detallada acerca del proceso de la obra como tal.

Se crearon hojas de cálculo en Microsoft Office Excel para el desarrollo de operaciones matemáticas, se digitalizaron planos estructurales con ayuda del software Autocad para su mejor comprensión y presentación.

3.1. Método empleado.

El método que se empleado en la presente investigación es el método científico deductivo, ya que va de lo general a lo particular. El método científico inicia de información general que son aceptados como verdad para que posteriormente puedan ser inferidos, con ayuda del razonamiento lógico y de algunas suposiciones.

El método deductivo empleado consta de estas etapas:

- ✓ Determinar los hechos más importantes del objeto de estudio.
- ✓ Deduce las relaciones constantes que dan lugar al estudio realizado.
- ✓ Se formula una hipótesis en base a las deducciones anteriores.
- ✓ Se deducen leyes del proceso ya mencionado.

El método analítico “distingue los elementos de un fenómeno y permite revisar ordinariamente cada uno de ellos por separado, como lo hace la física, la química y la biología, disciplinas que lo aplican, para luego, a partir de él y de la experimentación de un gran número de casos, establecer leyes universales” (Jurado, 2005, 2).

3.2. Enfoque de la investigación.

Para Hernández Sampieri (2004) el enfoque de la presente investigación es de carácter cualicuantitativo, puesto que representa una combinación entre los enfoques cualitativo y cuantitativo. Esta investigación fluctúa entre los esquemas de pensamiento inductivo y deductivo otorgando al investigador un manejo

completo de los dos enfoques y una mentalidad abierta, y a la investigación un grado de complejidad al diseño de estudio, sin embargo, contempla todas las ventajas de los dos enfoques.

El enfoque cuantitativo ofrece la posibilidad de generar los resultados más ampliamente, otorga control sobre el objeto de estudio y un punto de vista sobre el conteo y magnitudes de estos, también brinda la posibilidad de réplica y facilita la comparación entre estudios similares.

De esta misma forma Hernández Sampieri (2004) expone que, el enfoque cualitativo da profundidad a los datos, la dispersión, la riqueza interpretativa, la contextualización del ambiente o entorno, los detalles y las experiencias únicas, para así permitir un punto de vista flexible.

Los métodos cuantitativos son únicamente aplicables a las llamadas ciencias exactas como lo son la física y las matemáticas, mientras que, los métodos cualitativos

3.2.1. Alcance de la investigación.

Habiendo decidido realizar el trabajo de investigación, se deben visualizar los objetivos que se planean alcanzar en base al estudio.

Los estudios cualicuantitativos se realizan una vez elaboradas las hipótesis, la elección del diseño de investigación y recolección de datos.

Para esta investigación en particular se realizan estudios descriptivos, estos fundamentan las investigaciones relacionadas entre sí, las cuales proporcionan información necesaria para generar estudios explicativos y así proporcionar un sentido de razonamiento.

Hernández Sampieri (2004) cita a Danhke (1989), quien dice que, “los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

“Los estudios descriptivos pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a los que se refieren. Desde luego, pueden integrar las mediciones o información de cada una de dichas variables o conceptos para decir como es y cómo se manifiesta el fenómeno de interés; su objetivo no es indicar como se relacionan las variables medidas” (Hernández Sampieri, 2004, 119).

3.3. Diseño de la investigación.

El diseño que adopta la investigación presentada es no experimental ya que se puede clasificar por su dimensión temporal o el número de momentos o puntos en el tiempo, en los cuales se recolectan datos.

Para Hernández Sampieri (2004), en algunas ocasiones la investigación se centra en:

- a) Analizar cuál es el nivel, estado o la presencia de una o diversas variables en un momento específico.
- b) Evaluar una situación, comunidad, evento, fenómeno o contexto en un punto en el tiempo.
- c) Determinar o ubicar cual es la relación entre un conjunto de variables en un momento.

En estos casos los diseños no experimentales pueden clasificarse en longitudinales o transversales. En este caso el diseño más apropiado es el transversal o transeccional.

El diseño transversal consiste en recolectar datos en un solo momento y en un tiempo único. Con la finalidad es describir variables y analizar su incidencia e interrelación de un momento dado. Es como tomar una fotografía de algo que sucede en un momento dado.

3.4. Instrumentos de recopilación de información.

Para la elaboración de esta investigación se realizó la recopilación de datos por medio de pruebas de laboratorio, la observación en campo y la entrevista con profesionales de la materia.

Igualmente Hernández Sampieri (2004) comenta que, los pasos para construir un sistema de observación son:

- ✓ Definir con precisión el universo de aspectos, eventos o conductas a observar.
- ✓ Extraer una muestra representativa de aspectos, eventos o conductas a observar.
- ✓ Establecer y definir las unidades de observación.
- ✓ Establecer y definir las características y subcategorías de observación.

Las entrevistas son formas de recolección de datos en forma verbal, en base a una serie de preguntas propuestas por el investigador o analista y respuestas señaladas por usuarios activos de una actividad o de un fenómeno. La entrevista puede ser elaborada a un grupo de personas o a una comunidad o en forma individual, sin embargo esta forma de recolección de datos no es del todo cierta.

Las pruebas de laboratorio son realizadas con el fin de perseguir un control de calidad riguroso dentro de la obra, durante el proceso de construcción. Dichas pruebas son realizadas a todos los materiales constructivos tal y como lo indican las normas mexicanas vigentes,

Las pruebas son realizadas para la elección de materiales de calidad, así mismo para el control en la resistencia de los mismos, estas son calculadas y presentadas a las autoridades correspondientes.

3.5. Descripción del proceso de investigación.

El procedimiento que se siguió para la elaboración de la investigación fue lo siguiente:

Como primer punto fue la recopilación de datos con ayuda de la observación, con el objetivo de monitorear, observar y registrar tanto las características físicas de la zona como el estado actual del canal de riego obteniéndose un vasto archivo fotográfico. Identificándose así la calidad de los bancos de material de donde se abastese la obra.

De la zona se puede registrar el clima, la flora, la fauna, los componentes del suelo, la frecuencia e intensidad de lluvias de la región. También se observan los accesos al canal, sus dimensiones y el cauce del mismo.

Posteriormente se continuó llevando a cabo las pruebas de laboratorio en donde se pudieron comprobar las granulometrías de los suelos en los bancos de terraplén y de grava – arena, así como su resistencia a la compactación.

Se realizaron también pruebas de compresión simple a muestras aleatorias de concreto tal y como lo indican las normas mexicanas, en donde, los resultados fueron registrados para llevar un mejor control de calidad.

Por último se realizó una entrevista al Ing. Ricardo Reyes Espinoza quien ocupa el cargo de residente de la obra, quien comentó los alcances de la obra y

dio respuesta a cada uno de los objetivos que se pretenden en cada punto del proceso constructivo.

Después de concluida la recopilación de datos se procede a la revisión y comparación de resultados con apoyo de hojas de cálculo y software para la digitalización de planos.

Se generan gráficos para determinar la granulometría de los agregados para el concreto, se estudia la cantidad de energía necesaria para compactar el material inerte de restitución y se analizan los resultados de las pruebas de compresión simple a los cilindros de concreto para ser comparados con los valores de diseño.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo se refiere a la construcción de canales para una zona de riego, en este caso ubicado en la zona de riego Cupatitzio – Tepalcatepec, la cual se encuentra sobre arcillas altamente expansivas.

La finalidad de revestir este canal es para obtener un aprovechamiento racional del agua en la zona e impedir filtraciones al subsuelo. Se conoce que el uso del agua es para el riego de cultivos como arroz, melón, sandía, de esta misma manera es aprovechada por ganaderos del lugar.

4.1. Bancos de material.

El material utilizado en este canal se extrae de bancos cercanos al lugar de la obra, estos materiales son la “Grava – Arena” como agregado para el concreto y a lo que se conoce como “Terraplén”.

El terraplén es en esencia un limo con poca grava, el cual posee un color rojizo y propiedades cementantes, este material es el utilizado como material inerte, es decir, no presenta plasticidad. La grava – arena debe de ser cribada y bien graduado, tomando en cuenta que, la grava no debe de presentar partículas mayores a $\frac{3}{4}$ ” ya que será utilizada como agregado para el concreto del revestimiento y de las estructuras de control.



Foto 4.1 Excavación pozo de sondeo para banco de material.



Foto 4.2 Identificación de pozo de sondeo.

Los bancos se originan con la necesidad de material para el proceso de construcción, en base a esto se realizan varias visitas en campo analizando la geología del lugar en compañía de un ingeniero geólogo que pueda indicar con precisión la ubicación del material que se requiere.

Para esta obra se utiliza el banco llamado “Jacona”, el cual proporciona material de Grava-Arena y el otro banco de material conocido como “La Loma” del que se extrae el Terraplén. A continuación se presenta un reporte completo de cada uno de estos.

4.3.1. Banco de material “Jacona”.

4.1.1.1. Localización.

Este banco se encuentra localizado sobre la margen derecha del río Tepalcatepec con una longitud de 300.00mts x 100 mts de ancho, aproximadamente, Localizado a 1500 mts de la carretera Tepalcatepec – San José Piedras Blancas.

4.1.1.2. Levantamiento topográfico.

Se utilizó para el levantamiento del banco, un tránsito y distanciometro, haciendo una poligonal cerrada, configurándose topográficamente el área del banco, la ubicación de los sondeos se ubicaron mediante radiaciones cada uno de los sondeos.

4.1.1.3. Exploración y muestreo.

Los trabajos de exploración en el banco se realizó empleando retroexcavadora mecánica, pico y pala, se hicieron tres pozos a cielo abierto de 1.50 m. X 1.00 m y profundidad variable de 0.00 a 1.50 m. Las profundidades de los pozos son las siguientes:

No	Exploración	Profundidad
1	PCA-1	1.60 m
2	PCA-2	1.50 m
3	PCA-3	1.50 m

Tabla 4.1 Pozos de sondeo "Jacona"

4.1.1.4. Extensión, espesores y volúmenes.

Las características volumétricas y de extensión de este banco son:

Superficie	20,413.752 m2
Espesor de despalme	0.20 M
Espesor aprovechable	1.50 M
Volumen de despalme	0.00 M3
Volumen aprovechable	30,000 M3

Tabla 4.2 Características de banco "Jacona"

4.1.1.5. Programa de ensayos de laboratorio.

Para el estudio de banco de agregados para concretos, el programa de ensayos contemplo las siguientes pruebas:

- Análisis granulométrico (por mallas), determinando los contenidos de arena, grava 1, grava 2, grava 3 y grava 4.
- Determinación de absorción.
- Pesos volumétricos, suelto y compactados.
- Modulo de finura de la arena.
- Porcentaje de pérdida por lavado.

4.1.1.6. Análisis de resultados.

De acuerdo a las pruebas realizadas al material de los pozos sondeados al banco Jacona. Los resultados obtenidos en las pruebas de análisis granulométricos se tiene el 20.94 % de gravas aprovechables y el 21.85 % de arena, si transformamos estos porcentajes en un proporcionamientos para concreto nos resulta el 49 % de grava y el 51 % de arena.



Foto 4.3 Banco de extracción de grava – arena. “Jacona”



Foto 4.4 Banco de extracción de grava – arena. “Jacona”

4.3.2. Banco de material “La Loma”.

4.1.2.1. Localización.

Este banco se encuentra localizado a un costado de la carretera federal lado izquierdo, Tepalcatepec – Apatzingán a la altura del poblado Benito Juárez (cruce La Ruana), a un costado de la subestación de electricidad. “El Crucero”.

4.1.2.2. Levantamiento topográfico.

Se utilizó para el levantamiento del banco tránsito y distancio metro, haciendo una poligonal cerrada, configurándose topográficamente el área del banco, la ubicación de los sondeos se ubicaron mediante radiaciones cada uno de los sondeos. Se realizó este levantamiento del área completa del banco y marcando únicamente el área que se le designara a la empresa contratista a atacar para su contrato correspondiente.

4.1.2.3. Exploración y muestreo.

Los trabajos de exploración en el banco se realizó empleando retroexcavadora mecánica, pico y pala, con la que se excavaron cuatro pozos a cielo abierto 1.50 m. X 1.00 m y profundidad variable de 0.00 a 1.70 m.

Las profundidades de los pozos son las siguientes:

No	Exploración	Profundidad
1	PCA-1	1.70 m
2	PCA-2	1.55 m
3	PCA-3	1.65 m
4	PCA-4	1.45 m

Tabla 4.3 Pozos de sondeo “La Loma”

4.1.2.4. Extensión, espesores y volúmenes.

Las características volumétricas y de extensión de este banco son:

Superficie	30,502.47 M2
Espesor de despalme	0.30 M
Espesor aprovechable	3.00 M
Volumen de despalme	9,150.74 M3
Volumen aprovechable	91,507.41 M3

Tabla 4.4 Características de banco "La Loma"

4.1.2.5. Programa de Ensayes de Laboratorio.

Para el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del material de este banco se elaboraron las siguientes pruebas:

- Contenido de agua natural
- Análisis granulométrico (por mallas)
- Determinación del peso volumétrico máximo Proctor SRH (7.5 kg/cm²) y humedad óptima.
- Pesos volumétricos, suelto y compactados.

4.1.2.6. Análisis de resultados

Los ensayos de laboratorio indican que este material es clasificación GP, gravas mal graduadas, mezcla de gravas y arenas con pocos finos, no plásticos, con buen peso volumétrico y buena compactación, ya compactado aun se considera muy permeable, su resistencia al esfuerzo cortante compactado y saturado es buena. Este material se considera apto para el fin propuesto.

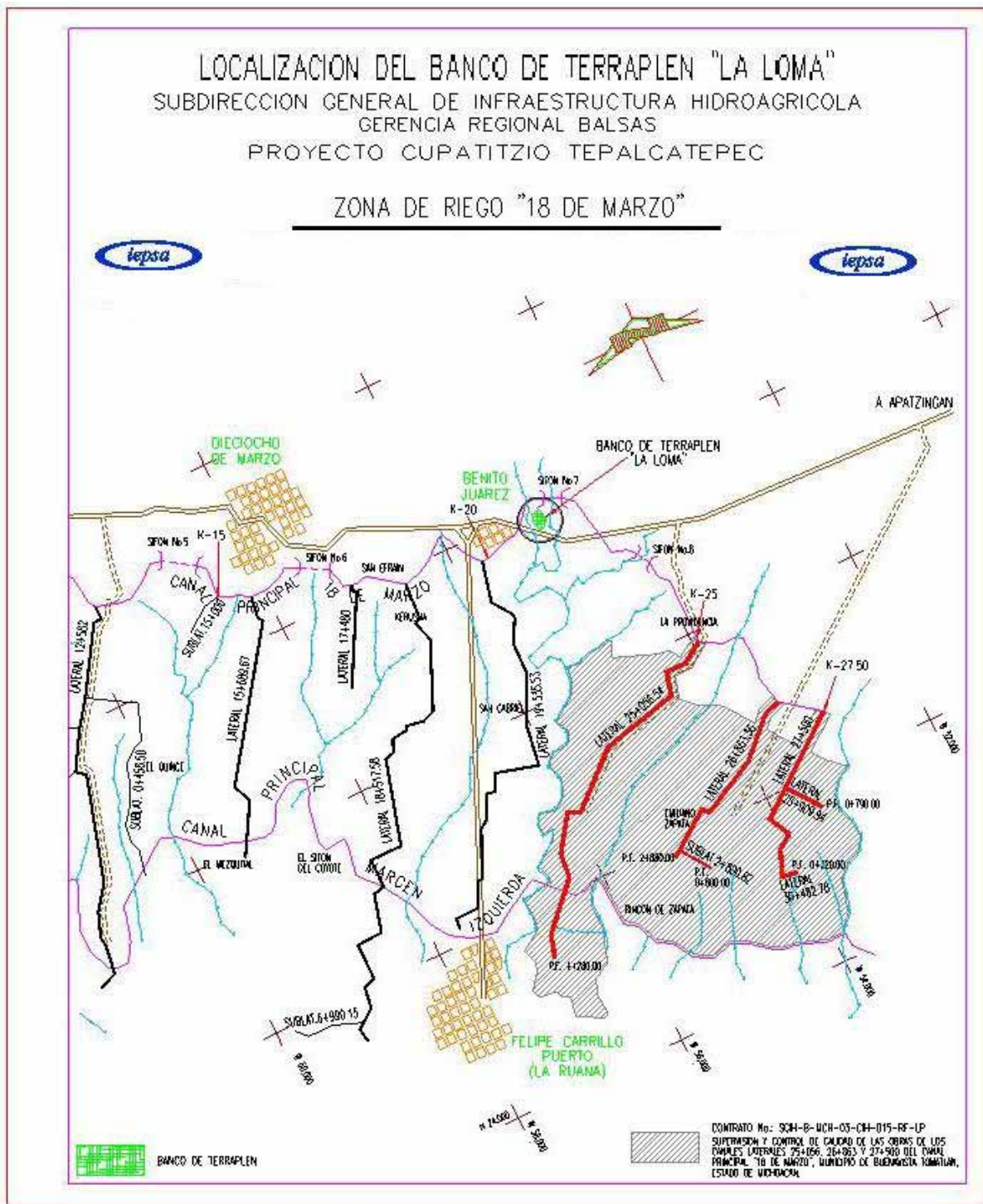


Foto 4.5 Banco de extracción de terraplén. "La Loma".



Foto 4.6 Banco de extracción de terraplén. "La Loma".

Los resultados obtenidos y la ubicación del banco "La Loma" es la siguiente:



Plano 4.1 Localización del banco de terraplén "La Loma".

SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, SUMINISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES VOLUMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO AVIO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIOS DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

ANALISIS GRANULOMETRICO

OBRA: CONSTRUCCION DE LA ZONA DE RIEGO "18 DE MARZO"
 ESTRUCTURA: _____
 BANCO: LA LOMA (TERRAPLEN)
 POZO O CAJA: 1
 FECHA: Nov-05 PROFUNDIDAD: 1.70 MTS

ANALISIS EFECTUADOS CON LA MUESTRA TOTAL DE 37.8 Kgs.

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00%	% TOTAL DE MUESTRAS
3"	76.2	0.000	0.00	100.00	
2"	50.8	0.000	0.00	100.00	
1 1/2"	38.1	1.594	4.22	95.78	
1"	25.4	2.465	6.52	89.26	
3/4"	19.1	3.060	8.1	81.16	
1/2"	12.7	3.549	9.39	71.77	
3/8"	9.5	3.251	8.6	63.17	
No.4	4.89	7.331	19.39	43.78	% MATERIAL < No.4
SUMAS		21.250	56.220		

Análisis efectuado con muestra seca de _____ grs. material < No. 4

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL
				100.00%	
8	2.362	59.6	11.91	88.09	38.56
14	0.991	58.8	11.76	76.33	33.42
28	0.589	61.9	12.37	63.96	28.00
48	0.269	76.4	15.27	48.69	21.31
100	0.147	72.5	14.51	34.18	14.96
200	0.074	52.7	10.54	23.64	10.35
SUMAS		381.8	76.36		
CHAROLA		118.2	23.64		
SUMAS		500.0			

PORCENTAJE

GRAVA: 56.22 ARENA: 33.43 FINOS: 10.35

TEC. JESUS ESPINOSA PONCE
JEFE DE LABORATORIO

ING. RICARDO REYES ESPINOSA
JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.1 Análisis granulométrico pozo 1, "La Loma".

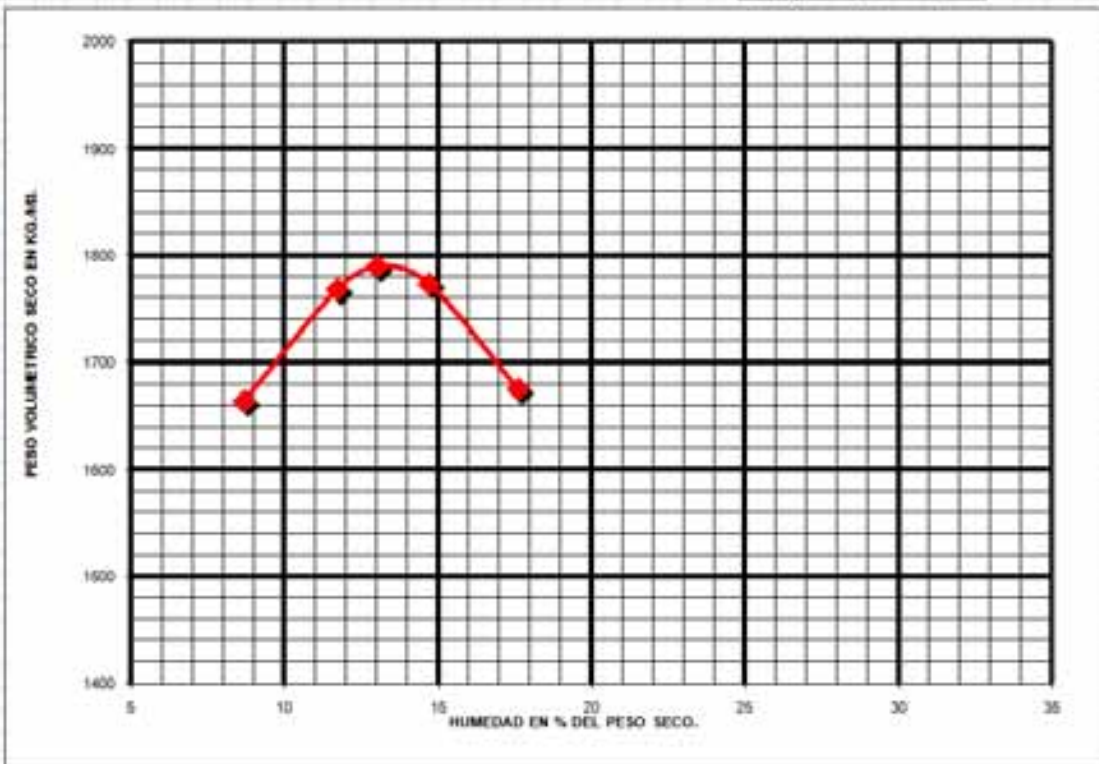
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, SUMINISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES VOLUMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO AVIO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIOS DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

COMPACTACION PROCTOR

Procedencia: _____
 BANCO: LA LOMA (TERRAPLEN) POZO: 1 PROFUNDIDAD: 1.70 MTS
 FECHA: Nov-05
 VOLUMEN V= 0.996 LTS. PESO T= 4.248 KG.-

PESO CIEND. - SUELO Wt/Wt	SUELO/HUM. COMPACTAD D VHS/VIT	MUESTRA PARA OBTENCION DEL CONTENIDO DE AGUA						w = 100(W _W /W _T)		W _u = 100(W _u /W _T)	
		TARA	PESO TARA	TAR - MUEST HUMEDA	TAR - MUEST SECA	V _w PESO AGUA	V _s PESO SECO	CONTENIDO ORG. AGUA EN %	SEC COMB KGm3	PES. VOLUM. SECO kg/m3	
6.058	1802	1	31.8	131.8	123.8	8.00	92.0	8.70	1657	1664	
6.215	1967	3	34.8	134.8	124.3	10.50	89.5	11.70	1761	1768	
6.275	2027	2	26	126	113.2	12.80	87.2	14.70	1787	1774	
6.219	1962	0	23.0	123.0	108.0	15.00	85.0	17.60	1668	1675	

γ_{OPT} 1790 kg/m³
 w_{Opt} 13 %



JEFE DE LABORATORIO

JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.2 Prueba Proctor pozo 1, "La Loma".

SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, SUMINISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES VOLUMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO AVIO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIOS DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

ANALISIS GRANULOMETRICO

OBRA: CONSTRUCCION DE LA ZONA DE RIEGO "18 DE MARZO"
 ESTRUCTURA: _____
 BANCO: LA LOMA (TERRAPLEN)
 POZO O CAJA: 2
 FECHA: Nov-05 PROFUNDIDAD: 1.55 MTS

ANALISIS EFECTUADOS CON LA MUESTRA TOTAL DE 39.95 Kgs.

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00%	% TOTAL DE MUESTRAS
3"	76.2	0.000	0.00	100.00	
2"	50.8	0.000	0.00	100.00	
1 1/2"	38.1	1.538	3.85	96.15	
1"	25.4	2.378	5.95	90.20	
3/4"	19.1	2.952	7.39	82.81	
1/2"	12.7	3.424	8.57	74.24	
3/8"	9.5	3.137	7.85	66.39	
No.4	4.89	7.073	17.7	48.69	% MATERIAL < No.4
SUMAS		20.500	51.310		

Análisis efectuado con muestra seca de _____ grs. material < No. 4

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL
				100.00%	
8	2.362	59.2	11.83	88.17	42.93
14	0.991	58.4	11.68	76.49	37.24
28	0.589	61.4	12.29	64.20	31.26
48	0.269	75.8	15.17	49.04	23.88
100	0.147	72.0	14.41	34.63	16.86
200	0.074	52.3	10.47	24.16	11.76
SUMAS		379.2	75.84		
CHAROLA		120.8	24.16		
SUMAS		500.0			

PORCENTAJE

GRAVA: 51.31 ARENA: 36.93 FINOS: 11.76

TEC. JESUS ESPINOSA PONCE
JEFE DE LABORATORIO

ING. RICARDO REYES ESPINOSA
JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.3 Análisis granulométrico pozo 2, "La Loma".

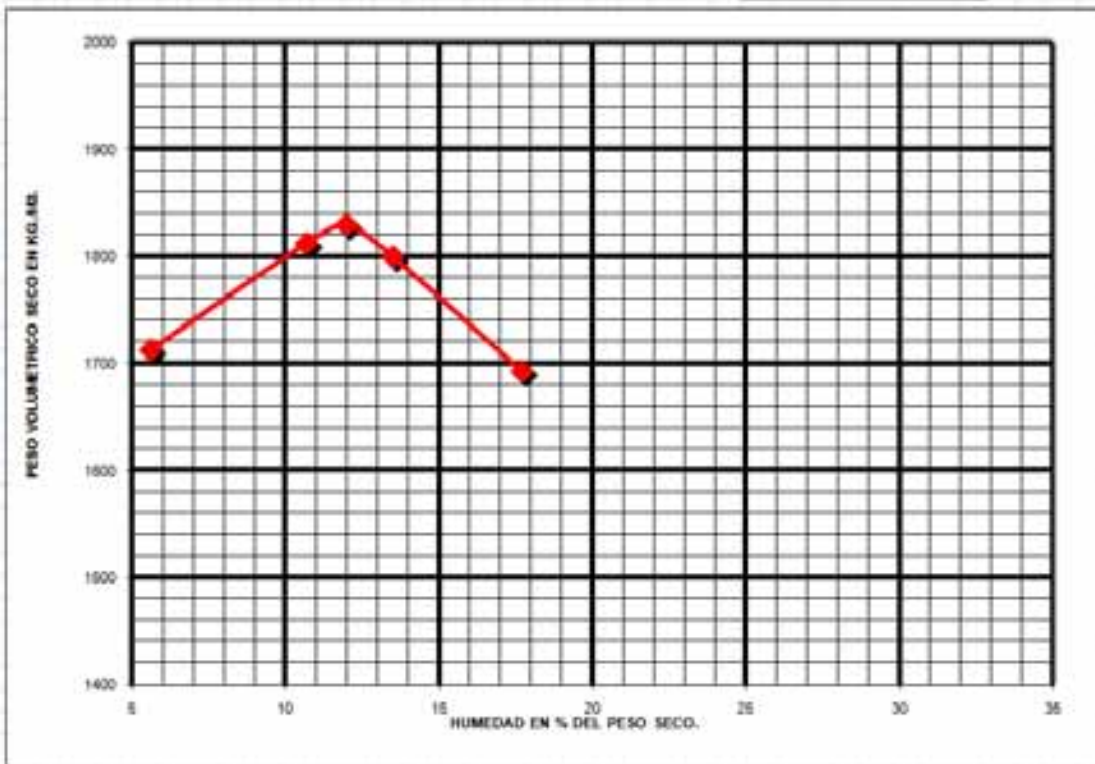
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, SUMINISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES VOLUMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO AVIO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIOS DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

COMPACTACION PROCTOR

Procedencia: _____
 BANCO: LA LOMA (TIERRAPLEN) POZO: 2 PROFUNDIDAD: 1.55 MTS
 FECHA: Nov-05
 VOLUMEN V_v: 0.996 LTS. PESO T = 4.248 KG-

PESO CIUD. + SUELO w.T.V.H	SUELO HUM. COMPACTAD O V.H.V.T	MUESTRA PARA OBTENCION DEL CONTENIDO DE AGUA						w = (M ₁ -M ₂)/M ₂ CONTENIDO DE AGUA EN %	M ₁ -M ₂ (g) PES. VOL. SEC. COM. SECO (g/cm ³)	M ₁ -M ₂ (g) PES. VOL. SEC. SECO (g/cm ³)
		TARA	PESO TARA	TAR + MUEST. HUMEDA	TAR + MUEST. SECA	V _w PESO AGUA	V _s PESO SECO			
6.049	1801	44	28.3	128.3	123.0	5.30	94.7	5.60	1705	1712
6.246	1998	45	25.8	125.6	115.9	9.70	90.3	10.70	1805	1812
6.283	2035	45	26.6	126.6	114.7	11.90	88.1	13.50	1793	1800
6.232	1984	47	28.9	128.9	113.8	15.10	84.9	17.70	1685	1692

S OPT: 1830 kg/m³
 w Opt: 12 %



JEFE DE LABORATORIO

JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.4 Prueba Proctor pozo 2, "La Loma".

SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, SUMINISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES VOLUMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO AVIO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIOS DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

ANALISIS GRANULOMETRICO

OBRA: CONSTRUCCION DE LA ZONA DE RIEGO "18 DE MARZO"
 ESTRUCTURA: _____
 BANCO: LA LOMA (TERRAPLEN)
 POZO O CAJA: 3
 FECHA: Nov-05 PROFUNDIDAD: 1.65 MTS

ANALISIS EFECTUADOS CON LA MUESTRA TOTAL DE 40.55 Kgs.

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00%	% TOTAL DE MUESTRAS
3"	76.2	0.000	0.00	100.00	
2"	50.8	0.000	0.00	100.00	
1 1/2"	38.1	1.511	3.73	96.27	
1"	25.4	2.337	5.76	90.51	
3/4"	19.1	2.902	7.16	83.35	
1/2"	12.7	3.365	8.3	75.05	
3/8"	9.5	3.083	7.6	67.45	
No.4	4.89	6.952	17.14	50.31	% MATERIAL < No.4
SUMAS		20.150	49.690		

Análisis efectuado con muestra seca de _____ grs. material < No. 4

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL
				100.00%	
8	2.362	60.1	12.02	87.98	44.26
14	0.991	59.4	11.87	76.11	38.29
28	0.589	62.4	12.49	63.62	32.01
48	0.269	77.1	15.42	48.20	24.25
100	0.147	73.2	14.65	33.56	16.88
200	0.074	53.2	10.64	22.92	11.53
SUMAS		385.4	77.08		
CHAROLA		114.6	22.92		
SUMAS		500.0			

PORCENTAJE

GRAVA: 49.69 ARENA: 38.78 FINOS: 11.53

TEC. JESUS ESPINOSA PONCE
JEFE DE LABORATORIO

ING. RICARDO REYES ESPINOSA
JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.5 Análisis granulométrico pozo 3, "La Loma".

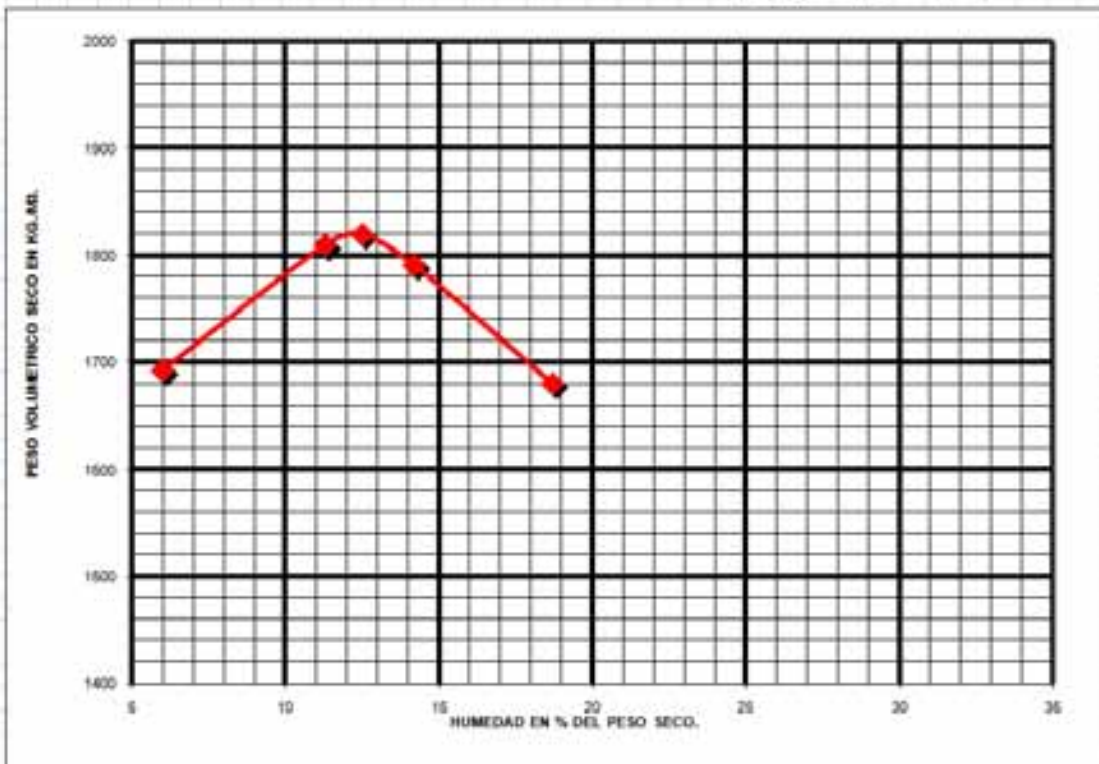
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, SUMINISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES VOLUMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO AVIO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIOS DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

COMPACTACION PROCTOR

Procedencia: _____
 BANCO: LA LOMA (TERRAPLEN) POZO: 3 PROFUNDIDAD: 1.55 MTS
 FECHA: Nov-05
 VOLUMEN V= 0.996 LTS. PESO T = 4.248 KG=

PESO CUBO + SUELO W _{T+VH}	SUELO HUM. COMPACTADO O W _{V+V.T}	MUESTRA PARA OBTENCION DEL CONTENIDO DE AGUA						CONTENIDO DE AGUA EN %	W _{max} (kg/m ³)	W _{opt} (%)
		TARA	PESO TARA	TAR + MUEST. HUMEDA	TAR + MUEST. SECA	V _w PESO AGUA	V _v PESO SECO			
6.034	1786	70	29.7	129.7	124.0	5.70	84.3	6.00	1685	1692
6.253	2005	71	28.2	128.2	118.1	10.10	89.9	11.30	1802	1809
6.285	2037	72	31.4	131.4	119.0	12.40	87.6	14.20	1784	1791
6.234	1986	73	30.7	130.7	114.9	15.80	84.2	18.70	1673	1680

γ_{OPT.} 1820 kg/m³
 w_{Opt} 12.5 %



JEFE DE LABORATORIO

JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.6 Prueba Proctor pozo 3, "La Loma".

SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, CENSO Y REGISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES FOLUOMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO ANZO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIO DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

ANALISIS GRANULOMETRICO

OBRA: **CONSTRUCCION DE LA ZONA DE RIEGO "18 DE MARZO"**
 ESTRUCTURA: _____
 BANCO: **LA LOMA (TERRAPLEN)**
 POZO O CAJA: **4**
 FECHA: **Nov-05** PROFUNDIDAD: **1.48 MTS**

ANALISIS EFECTUADOS CON LA MUESTRA TOTAL DE **38.4** Kgs.

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00%	% TOTAL DE MUESTRAS
3"	76.2	0.000	0.00	100.00	
2"	50.8	0.000	0.00	100.00	
1 1/2"	38.1	1.560	4.06	95.94	
1"	25.4	2.413	6.28	89.66	
3/4"	19.1	2.995	7.8	81.86	
1/2"	12.7	3.474	9.05	72.81	
3/8"	9.5	3.182	8.29	64.52	
No. 4	4.89	7.176	18.69	45.83	% MATERIAL < No. 4
	SUMAS	20.800	54.170		

Análisis efectuado con muestra seca de _____ grs. material < No. 4

MALLA	ABERTURA EN M.M.	PESO RETENIDO GRMS.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA	
				MUESTRA < No. 4	MUESTRA TOTAL
				100.00%	
8	2.362	60.8	12.16	87.84	40.26
14	0.991	60.8	12.00	75.84	34.76
28	0.589	63.1	12.62	63.22	28.97
48	0.269	77.9	15.58	47.64	21.83
100	0.147	74.0	14.80	32.83	15.05
200	0.074	83.8	16.75	22.08	10.12
	SUMAS	389.6	77.92		
CHAROLA		110.4	22.08		
	SUMAS	500.0			

PORCENTAJE

GRAVA: **54.17** ARENA: **35.71** FINOS: **10.12**

TEC. JESUS ESPINOSA PONCE
JEFE DE LABORATORIO

ING. RICARDO REYES ESPINOSA
JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.7 Análisis granulométrico pozo 4, "La Loma".

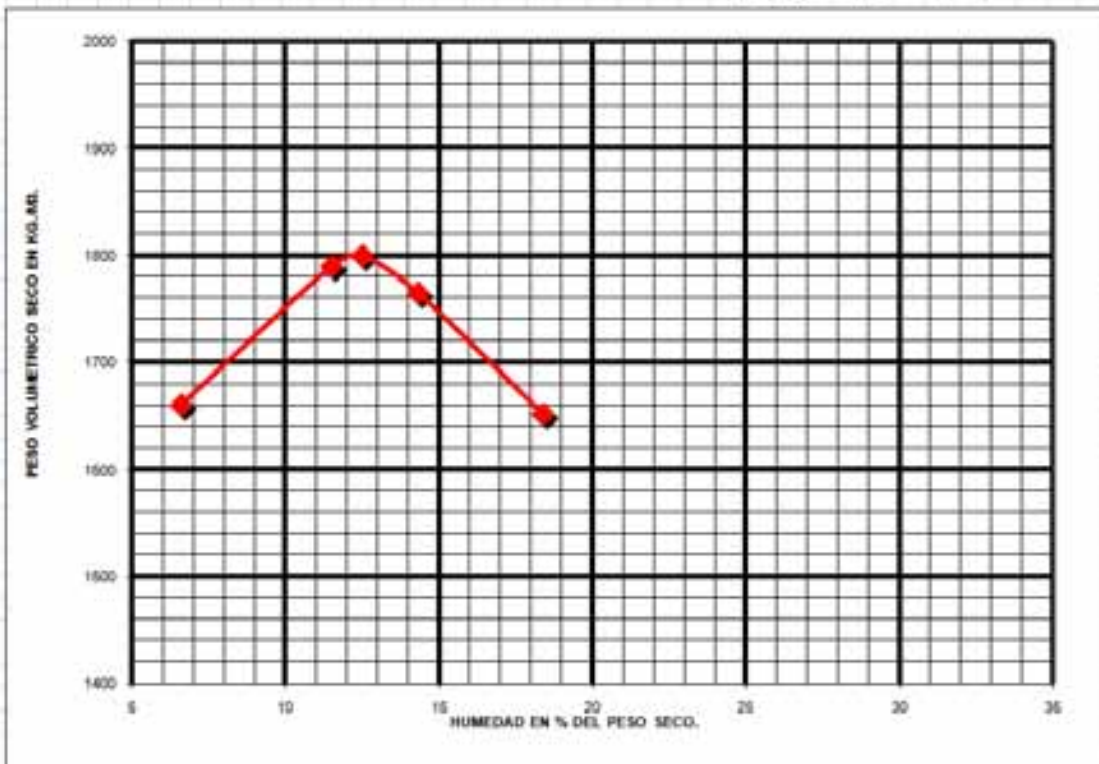
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONA RIEGO "18 DE MARZO", COMPLEMENTACION DE OBRA CIVIL EN LA RED DE DISTRIBUCION, SUMINISTRO E INSTALACION DE MEDIDORES VOLUMETRICOS, COMPLEMENTANDO LOS YA EXISTENTES EN LAS TOMAS GRANJA, CALIBRACION DE COMPUERTAS TIPO AVIO INSTALADAS EN EL CANAL PRINCIPAL "18 DE MARZO", ASI COMO OBRAS DE DRENAJE, MUNICIPIOS DE BUENAVISTA TOMATLAN Y TEPALCATEPEC, ESTADO DE MICHOACAN.

COMPACTACION PROCTOR

Procedencia: _____
 BANCO: LA LOMA (TERRAPLEN) POZO: 4 PROFUNDIDAD: 1.45 MTS
 FECHA: Nov-08
 VOLUMEN V= 0.996 LTS. PESO T = 4.248 KG=

PESO CIARO + SUELO W _T /W _H	SUELO HUM. COMPACTADO O W _H /V _T	MUESTRA PARA OBTENCION DEL CONTENIDO DE AGUA						CONTENIDO DE AGUA EN %	W ₁ (g)	W ₂ (g)
		TARA	PESO TARA	TAR + MUEST. HUMEDA	TAR + MUEST. SECA	V _w PESO AGUA	V _s PESO SECO			
6.010	1762	40	28.2	128.2	122.0	6.20	93.8	6.40	1653	1660
6.236	1988	41	28.6	128.6	118.3	10.30	89.7	11.50	1783	1790
6.257	2009	42	28.8	128.8	115.3	13.50	86.5	14.30	1758	1765
6.196	1948	43	27.4	127.4	111.8	15.60	84.4	18.40	1645	1652

γ_{OPT.} 1800 kg/m³
 w_{Opt} 12.5 %



JEFE DE LABORATORIO

JEFE DE SUPERVISION

Calculo 4.8 Prueba Proctor pozo 4, "La Loma".

4.2. Extracción y colocación del material.

Una vez localizados los bancos de material, se procedió a su explotación, es decir, a la extracción de material. En el banco de “Jacona” el material es cribado a través de la malla de $\frac{3}{4}$ ” y posteriormente es transportado al lugar, mientras que en “La Loma” el material de banco se papea, esto es, se retira el boleto o roca de 3 a 7” o mayores, para ser transportado a la obra.

Al momento de llegar al lugar de aprovechamiento sobre caminos volteo, el material se prepara para recibir su humedad óptima que es para este material del 10 al 13%, con ayuda de un tractor topador como un D6 o D7 y con una bomba hidráulica de 3” y hasta 4”.



Foto 4.7 Explotación de Banco de Terraplén. “La Loma”.



Foto 4.8 Acarreo de Material.



Foto 4.9 Adhesión de Agua “Humedad Optima de Compactación”.

Posteriormente el material se va extendiendo y compactando con un rodillo vibrocompactador liso de 15 ton. y con la ayuda de los mismos camiones volteos para rellenar la caja donde se encuentra el material expansivo, una vez rellena la caja se comienza a realizar las pruebas de densidad del suelo.



Foto 4.10 Material expansivo del fondo de la caja del canal.

Estas pruebas son realizadas por el laboratorista con el fin de eliminar errores que puedan alterar los resultados de una manera significativa y se realizan:

Se extrae material compacto del suelo, este material es pesado, inmediatamente después, en el lugar de donde se extrajo el suelo se rellena con arena que posee un peso volumétrico constante y conocido, la arena se vierte a una altura constante de alrededor de 30 a 40 cm. una vez conocido el volumen ocupado por la arena se procede a calcular el peso volumétrico del suelo y así

obtener el porcentaje de Proctor de compactación. Estas pruebas se realizaron aproximadamente a cada 200 m. del canal dando como resultado un 90 hasta un 95% de compactación Proctor, lo cual se considera aceptable.



Foto 4.10 Compactación de material de terraplén.



Foto 4.11 Extracción de material compacto "Prueba de Campo".



Foto 4.12 Peso del material extraído “Prueba de Campo”.



Foto 4.13 Relleno con arena de peso volumétrico constante “Prueba de Campo”.



Foto 4.14 Nivelación de la arena con el terreno “Prueba de Campo”.

Ya concluidos los trabajos de relleno de la caja, se continuó con la excavación de la cubeta del canal con auxilio de una retroexcavadora, dejando siempre un espesor de material de restitución de 20 cm de espesor, como lo indican las normas de diseño, el cual será revestido posteriormente. Con este material que se extrae para formar la cubeta del canal se construye lo que se conoce como camino de operación.

Este camino de operación es indispensable, ya que facilita los traslados de material y de mano de obra, así como el mismo proceso constructivo del canal y las operaciones de mantenimiento correspondientes.



Foto 4.15 Excavación de cubeta.



Foto 4.16 Excavación de cubeta con retroexcavadora.

4.3. Revestimiento y Estructuras de Concreto.

El concreto que se utilizó en la obra es el más comercial de la región, el que comúnmente se conoce como “Cemento Gris”, que no es más que un Cemento Portland Ordinario (CPO). El agregado utilizado es el encontrado en el banco de material “Jacona” y como se menciona anteriormente el agregado máximo es de $\frac{3}{4}$ ". No se utilizó ningún tipo de aditivo para el concreto y el agua para su hidratación fue tomada del mismo canal, con ayuda de pipas de agua con capacidad de 8 a 10 m³.

El concreto fue elaborado en campo con revolvedoras de 1 y 2 sacos de capacidad, la mezcla del concreto de revestimiento fue diseñada para con una resistencia de $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ o menores, sin embargo el concreto utilizado en las estructuras se diseñó con resistencias superiores a $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$.



Foto 4.17 Revolvedoras de concreto.

Para el muestreo de estas resistencias fue necesaria la elaboración de cilindros de concreto y ser ensayados en compresión simple, estos fueron elaborados y ensayados según indican las normas mexicanas vigentes obteniendo los siguientes resultados:



Foto 4.18 Elaboración de cilindros de concreto.



Foto 4.19 Elaboración de cilindros de concreto.

REGISTRO DE CILINDROS DE CONCRETO ENSAYADOS

No. DE COLADO **VARIOS**
 FECHA: **INDICADAS** ESTRUCTURA: **REVESTIMIENTO DE ESTRUCTURA**

CIL. No.	FECHA DE FABRICACION	LOCALIZACION POR EJES	EDAD EN DIAS		FECHA DE RUPTURA	f'c PROY.	REVENIMIENTO cm	PESO kg	ALTURA cm	DIAMETRO cm	AREA cm²	PESO VOLUMETRICO kg/m³	CARGA kg	RESISTENCIA kg/cm²	% RESISTENCIA	PROMEDIOS DE % DE RESISTENCIA
			7	28												
DENTELLONES																
1	23/09/2005		*		30/09/2005	200	8.00	12.050	30.00	15.00	176.72	2,273	17,500	99	50	25%
2	23/09/2005		*		30/09/2005	200	8.00	11.800	29.90	15.00	176.72	2,233	19,100	108	54	52%
3	23/09/2005			*	21/10/2005	200	8.00	12.100	29.90	15.00	176.72	2,290	33,400	189	95	74%
4	23/09/2005			*	21/10/2005	200	8.00	11.900	30.10	15.00	176.72	2,237	36,000	204	102	98%
PLANTILLA																
5	23/09/2005		*		30/09/2005	200	9.00	11.000	30.00	15.00	176.72	2,075	19,000	108	54	27%
6	23/09/2005		*		30/09/2005	200	9.00	11.300	29.90	15.00	176.72	2,139	20,900	118	59	56%
7	23/09/2005			*	21/10/2005	200	9.00	11.500	30.15	15.00	176.72	2,158	35,400	200	100	80%
8	23/09/2005			*	21/10/2005	200	9.00	11.800	30.00	15.00	176.72	2,226	35,000	198	99	100%
TALUDES																
9	24/09/2005		*		01/10/2005	200	8.00	12.000	29.80	15.00	176.72	2,279	18,000	102	51	25%
10	24/09/2005		*		01/10/2005	200	8.00	11.400	29.90	15.00	176.72	2,158	18,900	107	53	52%
11	24/09/2005			*	22/10/2005	200	8.00	11.900	30.00	15.00	176.72	2,245	33,500	190	95	74%
12	24/09/2005			*	22/10/2005	200	8.00	11.700	29.80	15.00	176.72	2,222	36,500	207	103	99%

Calculo 4.9 Registro de cilindros de concreto de revestimiento.

REGISTRO DE CILINDROS DE CONCRETO ENSAYADOS

No. DE COLADO **VARIOS**
 FECHA: **INDICADAS** ESTRUCTURA: **REVESTIMIENTO DE CANAL**

CIL. No.	FECHA DE FABRICACION	LOCALIZACION POR EJES	EDAD EN DIAS		FECHA DE RUPTURA	f'c PROY.	REVENIMIENTO cm	PESO kg	ALTURA cm	DIAMETRO cm	AREA cm²	PESO VOLUMETRICO kg/m³	CARGA kg	RESISTENCIA kg/cm²	% RESISTENCIA	PROMEDIOS DE % DE RESISTENCIA
			7	28												
PLANTILLA																
13	23/09/2005		*		30/09/2005	250	9.00	12.050	30.00	15.00	176.72	2,273	22,500	127	51	
14	23/09/2005		*		30/09/2005	250	8.00	11.800	29.90	15.00	176.72	2,233	23,400	132	53	52%
15	23/09/2005			*	21/10/2005	250	9.00	12.100	29.90	15.00	176.72	2,290	43,500	246	98	76%
16	23/09/2005			*	21/10/2005	250	8.30	11.900	30.10	15.00	176.72	2,237	45,000	255	102	100%
17	17/09/2005		*		24/09/2005	250	8.00	12.000	30.00	15.00	176.72	2,264	23,500	133	53	
18	17/09/2005		*		24/09/2005	250	8.50	11.800	29.90	15.00	176.72	2,233	22,900	130	52	53%
19	17/09/2005			*	15/10/2005	250	8.70	12.100	29.90	15.00	176.72	2,290	43,700	247	99	75%
20	17/09/2005			*	15/10/2005	250	9.00	12.000	30.00	15.00	176.72	2,264	44,800	254	101	100%
PANTALLA DE CONCRETO																
21	17/09/2005		*		24/09/2005	200	8.50	12.300	30.00	15.00	176.72	2,320	20,500	116	58	
22	17/09/2005		*		24/09/2005	200	8.50	10.900	29.90	15.00	176.72	2,063	19,900	113	56	57%
23	17/09/2005			*	15/10/2005	200	8.50	12.100	29.90	15.00	176.72	2,290	35,700	202	101	79%
24	17/09/2005			*	15/10/2005	200	8.50	12.100	29.80	15.00	176.72	2,298	35,000	198	99	100%

Calculo 4.10 Elaboración de cilindros de concreto estructural.

En cuanto al procedimiento constructivo del revestimiento se describen a continuación una serie de pasos:

- ✓ La cubeta se limpia y se coloca la cercha (cimbra) a cada 2.50 m. de distancia.
- ✓ Las losas se cuelan en forma discontinúa y tratando de colocar una junta constructiva a 1/3 de la altura del talud con 2 cm. de espesor.
- ✓ Una vez coladas las primeras losas se impregnan de una membrana de curado y se preparan las cerchas para las nuevas losas que se colarán.
- ✓ Se cuelan las losas faltantes dejando una junta entre ellas de 2 cm. de separación e igualmente se coloca la membrana de curado.
- ✓ Las juntas constructivas colocadas entre cada losa y a 1/3 de la altura del talud se sellan con cemento asfáltico en frío.



Foto 4.20 Colocación de cerchas y colado de losas.



Foto 4.21 Colocación de membrana de curado.



Foto 4.22 Limpieza para el colado de nuevas losas.



Foto 4.23 Colado de losas.

Terminando de revestir el canal de concreto se comienza a colocar la cimbra y el armado para las estructuras de concreto. Estas estructuras tienen como finalidad regular los gastos que se presenten sobre el canal, así como, las velocidades que se puedan generar por el afluente, ya que se sabe que si se producen bajas velocidades se producirán azolves excesivos que mermarán en el funcionamiento del canal, por otro lado velocidades altas provocan erosión sobre la superficie del cemento.

Estas son unas de las muchas razones por las que las estructuras deberán ser construidas con concreto reforzado de acero armado, además de los excesivos cambios por temperatura que se presentan en esta región del estado.

A continuación se presenta el archivo fotográfico de la estructura tipo vertedor llamada pico de pato y se anexa el plano estructural (ver anexo 1).



Foto 4.24 Trazo para construcción del “Vertedor Pico de Pato”.



Foto 4.25 Trabajos previos a la construcción del vertedor.



Foto 4.26 Vertedor en operación.

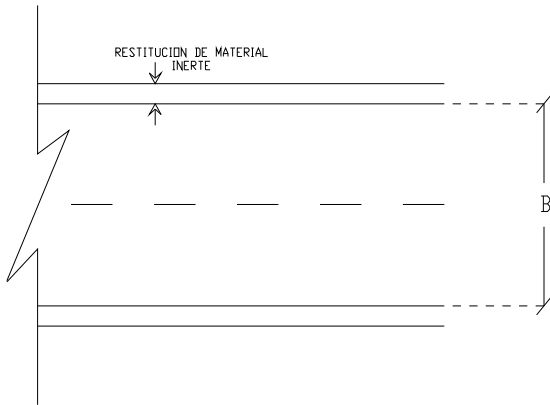
El cemento sirvió también en la estabilización de suelo para el canal de desvío debido a que se encontró una excesiva filtración de agua al subsuelo la cual perjudicaba tanto a los agricultores como a los habitantes de la zona. Esta se logro con una mezcla de suelo -Cemento.



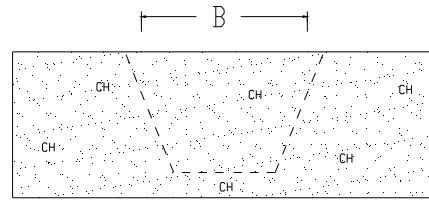
Foto 4.27 Trabajos para la estabilización de suelo.

4.3.1. Proceso constructivo para un canal lateral sobre arcillas expansivas.

- 1) Trazo del canal sobre terreno natural tomando en cuenta el ancho por restitución de material.

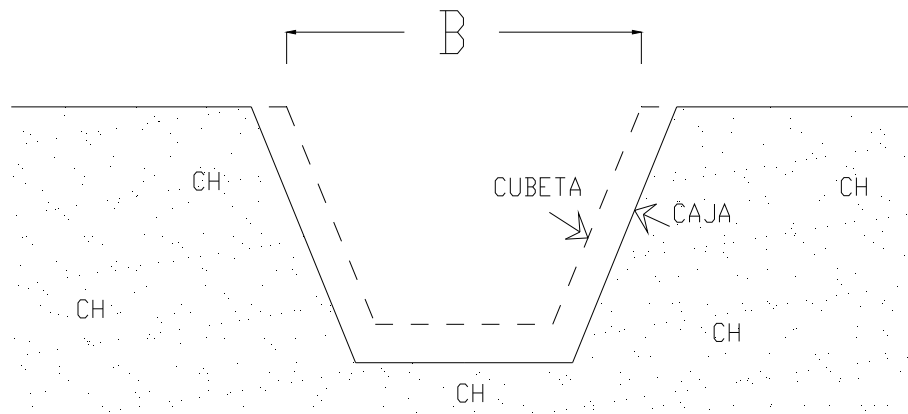


Vista en planta



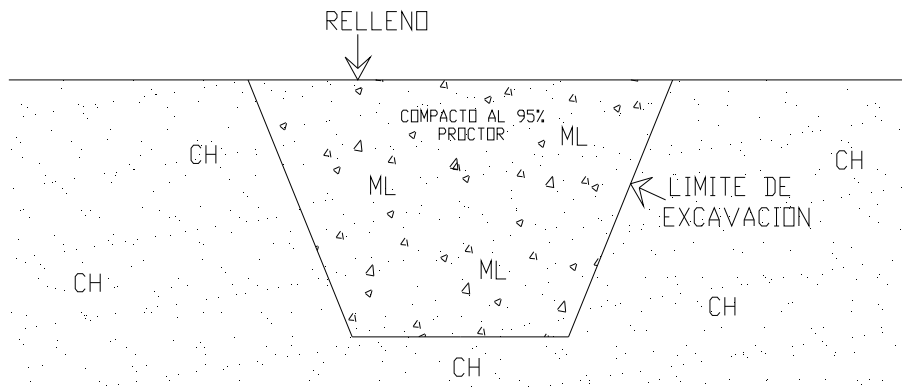
Vista en corte

- 2) Excavación de caja para alojar el canal que incluye ancho de restitución de material inerte.



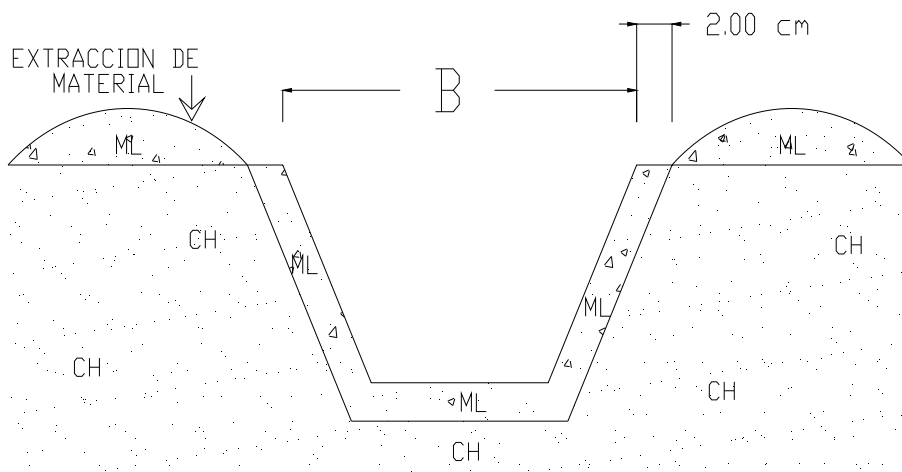
Vista en corte

3) Restitución de material de banco.



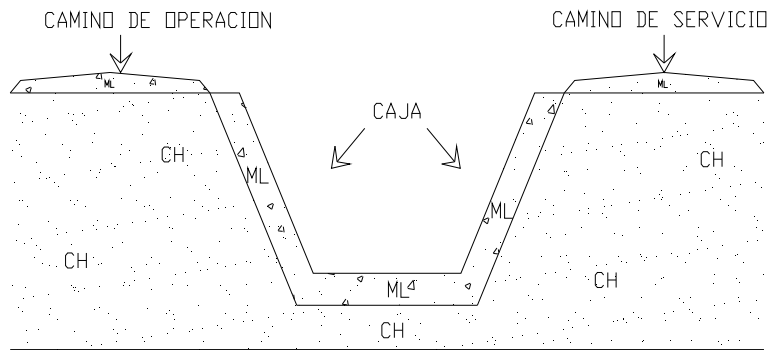
Vista en corte

4) Excavación de cubeta sobre material de restitución (Material de Banco Inerte), con retroexcavadora y colocación del material extraído a los lados del canal para formar el camino de servicio y el de operación.



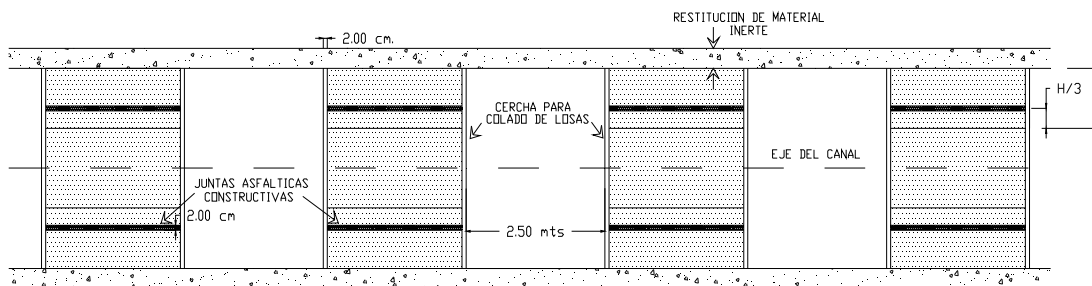
Vista en corte

5) Formación de los caminos de operación y servicio.

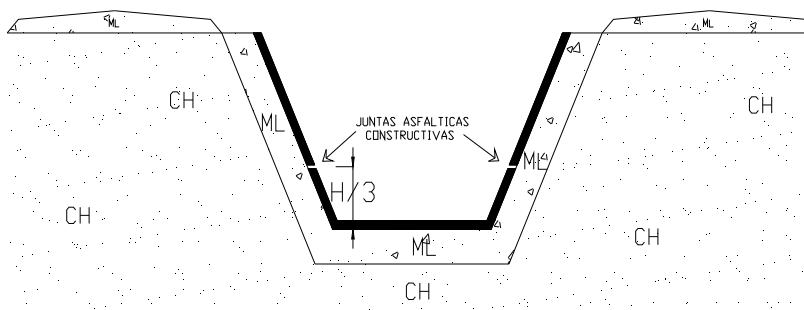


Vista en corte

6) Revestimiento a base de concreto.



Vista en planta



Vista en corte

Este procedimiento constructivo tiene la finalidad de mejorar el terreno extrayendo las arcillas expansivas y proporcionar la compactación adecuada a las paredes de la cubeta.

4.4. Resultados obtenidos al término de la obra.

Comentando con el Ing. Ricardo Reyes Espinoza Residente de la obra se pudo comprender que, se llegó a la conclusión después de muchos estudios hidrológicos que una de las mejores formas de aprovechar el agua en la zona sería revestir de concreto el canal esto para poder controlar los gastos y velocidades generadas dentro del canal, así como las impurezas que pudiera llevar el agua como materia orgánica. El proceso de construcción fue el idóneo, ya que, el canal de riego se encontraba sobre material expansivo (Suelo Arcilloso) y debido a esto, el revestimiento de concreto se vería afectado por los relativamente grandes cambios volumétricos del material del canal, gracias a ello, se tomó la decisión de rellenar primero la caja del canal con material inerte, es decir, un material limoso que no reaccionará tan bruscamente a los cambios de volumen por su hidratación y posteriormente formar lo que se conoce como cubeta y sobre ella colocar el revestimiento de concreto simple. Con esto último se da por terminado el capítulo 3 y este trabajo de tesis.

CONCLUSIONES

Después de todo el trabajo presentado en los capítulos anteriores, se sabe que los suelos expansivos como lo son las arcillas, son el tipo de suelo más cambiante, ya que no sólo alteran su peso volumétrico, sino que cambian totalmente sus propiedades físicas y características químicas según sus componentes y la cantidad de agua atrapada entre sus pequeñas partículas.

Por otro lado, se encontraron los usos de la arcilla como elemento constructivo dentro de obras civiles. Se demostró la propiedad impermeable, de las arcillas, la cual es aprovechada en la elaboración de presas para el almacenamiento de agua. También se mencionó el uso de arcilla en la fabricación de ladrillos, siendo este el uso más conocido por la mayoría de la gente.

El objetivo que se planteó al comienzo fue determinar si en verdad los suelos arcillosos son una problemática, o un elemento que requiere de estudio para señalar una solución a los problemas que otorgan tipo de materiales.

Luego de revisar la teoría, se puede decir que si se respondió la pregunta de investigación que cuestionaba ¿qué es una arcilla y cuál es su comportamiento?, indicándose que las arcillas son el tipo de suelo más complejo de estudiar, debido a su origen y a su composición química, también se descubrió que los suelos expansivos o arcillas tienen un comportamiento variable, que dependiendo de las condiciones naturales en que esta se encuentre y de la

exposición a las fuerzas a las que será sometida por las necesidades que determine el ingeniero este será su comportamiento mecánico.

Una vez que finalizó la investigación, se pudo concluir que la propiedad que más afecta cualquier tipo de construcción es su expansividad. Bajo una cimentación, la expansión de las arcillas provoca agrietamiento en la estructura debido a esfuerzos provocados por un cambio en el volumen del suelo.

Se demostró que la expansión en vías terrestres altera las condiciones de caminos y estabilidad de taludes, por eso se deben examinar las posibilidades de estabilizar química o físicamente el suelo, cuando exista la presencia de arcillas expansivas, tomando siempre en cuenta la solución más rápida y económica para que este no sea motivo de atraso en la obra a ejecutarse.

Se concluye que, las arcillas son de gran ayuda para el ingeniero civil si se les da un adecuado tratamiento y si se manejan sus propiedades para su aprovechamiento y el bienestar de la población en general.

BIBLIOGRAFÍA

Arias Rivera, G. Carlos. (1993).

Cuaderno de Trabajo de Comportamiento de Suelos.

Ed. U.N.A.M. México.

Comisión Nacional del Agua. (1994).

Presa Constitución de Apatzingán para una nueva agricultura.

Ed. CNA. México.

Crespo Villalaz, Carlos. (2004).

Mecánica de Suelos y Cimentaciones.

Ed. Limusa, México.

George F. Sowers. (1993).

Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones.

Ed. Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto (2004).

Metodología de la investigación.

Ed. Mc. Graw Hill, México.

Juárez Badillo, Eulalio. (2000).

Mecánica de Suelos, Tomo I.

Ed. Limusa, México.

Jurado Rojas, Yolanda. (2005).

Técnicas de investigación documental.

Ed. Thompson, México.

Moreno, Franco. (1981).

El Ladrillo en la Construcción.

Ediciones CEAC, España.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

A) Apuntes de Clases.

Amaro Salazar, Antonio. (2007).

Apuntes de la Materia de Obras Hidráulicas.

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad "Don Vasco A.C.".

Blanco Simiano, Anastasio. (2006).

Apuntes de la Materia de Comportamiento de Suelos.

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad "Don Vasco A.C.".

Brito Chávez, Esteban. (2007).

Apuntes de la Materia de Mecánica de Suelos.

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad "Don Vasco A.C.".

Navarro Caballero, Omar. (2007).

Apuntes de la Materia de Cimentaciones.

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad "Don Vasco A.C.".

B) Conferencias.

Castillo Soto, José Luis. (2007).

Conferencia "Causas de Agrietamientos en Suelos".

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad "Don Vasco A.C.".

C) Páginas Electrónicas.

Apuntes de Ingeniería Civil, 2008.

<http://ingenieracivil.blogspot.com/>

Bañón Blázquez, Luis 2001.

Manual de Carreteras.

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

Barrera Bucio, Mauricio 2002.

Introducción a la Mecánica De Suelos No Saturados en Vías Terrestres.

<http://boletin.imt.mx/publicaciones/pubtec/pt198.pdf>

C. Rosetti, Ruben 2005.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela, Argentina.

Departamento De Ingeniería Civil, Laboratorio.

Generalidades Sobre Compactación de Suelos.

http://www.frra.utn.edu.ar/secretarias/cyt/cientifico_tecnico/compactacion.pdf

D. Reynolds, Vincent 2008.

Métodos De la Compactación Del Campo para los Suelos.

http://www.pdhonline.org/courses/c167s/c167s_content.pdf

Facultad de Arquitectura, 2008.

Universidad de la República Uruguay.

Rocas y Suelos.

http://www.farq.edu.uy/estructura/catedras/construccion/construccion1/pdf%20c1-2sem2005/suelos%201_2005.PDF

Gonzalo Duque, Escobar 2002.

Propiedades Hidráulicas de los suelos.

<http://www.geocities.com/geotecniaysuelos/cap6.pdf>

Gutiérrez Lazares, Wilfredo 2006.

Taller Básico de Mecánica de Suelos: Resistencia al Esfuerzo Cortante.

http://www.labsuelosuni.edu.pe/descargas/cd01/1_GENERALIDADES/3_Resistencia%20Cortante_0.pdf

Iturburu M., Roberto 2008.

Construya Correctamente Sus Canales Para Aumentar La Eficiencia De Riego

<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/deleg/canales.pdf>

Jiménez Salado, Alan 2008.

Manual de Capacitación Para la Elaboración de Ladrillo.

<http://hosting.udlap.mx/profesores/carlos.acosta/home/Investigacion/Tesisdirigidas/jimenez/manual.pdf>

Márquez, Santiago 2005.

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Estabilización de Suelos.

<http://civiltrelew.googlepages.com/EstabilizaciondeSuelos.pdf>

Patología de la Edificación, 2008.

Patologías por Arcillas Expansivas.

<http://campus.educar.org/file.php/1/moddata/forum/71/12305/patologia18.pdf>

Poblete Freire, Mauro 2006.

http://www.ucsc.cl/~mpoblete/geotecnia/ING_4203/Unidad1/Clase%203%20Flujo

[%20bidimensional.pdf](http://www.ucsc.cl/~mpoblete/geotecnia/ING_4203/Unidad1/Clase%203%20Flujo%20bidimensional.pdf)

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales Para Terracerías.

Título: 02. Clasificación De Fragmentos De Roca y Suelos.

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

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT).

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

Schreiner, H.D.

State of the Art Review on Expansive Soils.

Imperial College, London, 1987.

Universidad de Stanford, CA.

Apuntes de Mecánica de Suelos.

http://www.stanford.edu/~pfsanz/MecanicaSuelos-HO/TE_Dilatancia.pdf

Zea Constantino, Carmelino 2004.

Notas Sobre los Fundamentos de La Mecánica de Suelos.

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

