

CAPÍTULO I

METODOLOGÍA

1.1.INTRODUCCIÓN

Desde hace muchísimos años, se sabe que estructuras de cimentación superficial, apoyada en terrenos blandos (generalmente arcillas blandas), sufren grandes asentos e incluso se hunden, ya de mucho tiempo atrás se vio la necesidad de cimentar sobre pilotes o pilares-pozos que atravesaran la capa blanda y descansaran en estratos más firmes. Pero, si bajo una capa de arena existe una de arcilla blanda, las consecuencias no serán tan fáciles de prever. De aquí que los estratos confinados de arcilla haya que estudiarlos a fondo, para prevenir y calcular los asentos, a esos estratos se les denomina *confinados*, pues la adherencia y fricción en los bordes impiden la expansión horizontal.

Para conocer si este suelo es expandible por las condiciones a las que estará sometido, se debe conocer el límite de contracción (LC), el Dr. Karl von Terzaghi desarrollo un procedimiento experimental para conocer dicho límite de contracción el cual tiene como principio la diferencia de volumen desplazado por otro cuerpo en una sustancia líquida (mercurio), el método si se cuenta con el equipo es muy sencillo.

En la ciudad de Tarija el suelo que abunda es la arcilla y más aún en zonas donde el crecimiento poblacional va en aumento en lo que surge la pregunta de que si dichos suelos arcillosos tienen la capacidad de soportar cargas; en este sentido surge una pregunta fundamental “Cómo conocer el límite de contracción”, y que significa cada dato numérico que este nos proporciona.

Con este estudio se busca llegar a obtener una correlación con el índice de plasticidad (IP), en base a ensayos practicados en las arcillas (límites de Atterberg), obteniendo una curva empírica en función al límite de contracción (LC).

Este método al que se quiere llegar, brindará una opción para conocer la calidad del suelo con el que se está trabajando y la acción que se tomará (por ejemplo un cambio de suelo), para estructuras de gran envergadura, ya que son éstas las más vulnerables debido a la gran cantidad de cargas vivas y muertas que generan.

1.2.JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas para conocer si un suelo es expandible o no, es la determinación del Límite de Contracción (LC). Existe un ensayo que el Dr. Karl von Terzaghi desarrollo que no pone de manifiesto grandes dificultades; pero en el costo sí. Es por eso que en el presente proyecto se pretende encontrar una correlación con el Índice de Plasticidad (IP) para la determinación del Límite de Contracción (LC), y brindar de forma más rápida y menos costosa la información necesaria, obteniendo valores aproximados ya que es de suma importancia cuando se está trabajando en suelos arcillosos

1.3.SITUACIÓN PROBLEMICA

Fundamentalmente la contracción de las arcillas se debe a un fenómeno cíclico asociado a los cambios climáticos o estacionales los cuales inducen movimientos y sus consecuentes daños a las estructuras, esta alta capacidad de contraerse y expandirse se presenta en las arcillas que tiene alto contenido de mineral montmorillonita.

En la ciudad de Tarija predomina la existencia de suelos arcillosos en diferentes zonas principalmente en lugares destinados al crecimiento poblacional, como por lo que este material nos ocasiona problema de colapso en este tipo de suelos debido a las diferentes cargas proporcionadas por las estructuras a las que este suelo debe resistir.

El fenómeno que produce un cambio de volumen es debido a que los granos de arcilla sufren un reacomodo radical de las partículas y por consecuencia una pérdida de volumen, esto muchas veces es causado por un incremento en la carga (elevación en la presión sobre el suelo incrementando el grado de disolución de las partículas), otra causa que se presenta es la succión capilar, la cual mantiene juntos lo granos.

1.4.PROBLEMA

Las dificultades y limitantes que se presentan al obtener el límite de contracción durante la construcción de edificaciones.

1.4.1. Campo de Acción

Laboratorio de suelos realizando experimentación para establecer relaciones entre parámetros.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Analizar y proponer una correlación para obtener el Límite de Contracción (LC) en función al Índice de plasticidad (IP), de tal manera sirva de base para definir de una forma más rápida dicho límite (LC) y la posterior aplicación, en la construcción de edificaciones.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Establecer un conocimiento básico de la investigación
- Establecer criterios técnicos para la determinación del LC
- Brindar una forma más rápida para conocer con precisión el LC para el uso en el prediseño y la construcción de obras viales.
- Dar a conocer las ventajas y desventajas que presenta un suelo al ser evaluado en función al LC.
- Informar a los lectores de esta investigación cual es la aplicación que se le da al LC en el pre diseño y construcción de obras civiles.

1.6. ALCANCE

Capítulo I

Se darán a conocer conceptos del presente estudio (Limite de Contracción), así como el por qué se necesita realizar dicho estudio, identificando cual es el problema que se tiene para encontrar el Limite de Contracción (LC), como también la identificación del uso de conocer el límite de contracción LC y a que estará dirigido y que se quiere demostrar y dar a conocer con el presente estudio.

Capítulo II

Tendremos conceptos específicos, como del suelo que está en estudio, del Límite de Contracción (LC) y el Índice de Plasticidad (IP).

Se desarrollarán ensayos de los límites de Atterberg para suelos arcillosos ya que este simula condiciones climáticas extremas, también se optara por desarrollar el ensayo del mercurio, con el cual obtendremos el límite de contracción LC de las muestras y su clasificación en base a la granulometría del suelo en estudio, así como el uso de métodos estadísticos para la obtención de la correlación en función a una curva empírica.

Capítulo III

Desarrollaremos un plan de trabajo para optimizar el tiempo debido a que el laboratorio de suelos cuenta con equipos limitados, la zona de muestreo será los barrios circundantes de la ciudad en un mínimo de 25 barrios tomados en cuenta, el equipo que se utilizara tendrá las características necesarias para este fin, contando con equipos normalizados y no normalizados, es decir equipos que nos ayuden a la limpieza del lugar hasta los equipos específicos en la recolección de muestras, todo esto con el fin de realizar una caracterización física del suelo arcilloso para su posterior estudio, llenando las planillas con los resultados obtenidos durante el proceso.

Capítulo IV

Con la muestra ya en laboratorio seguiremos una metodología ya definida con anterioridad describiendo los métodos normalizados para llegar al objetivo buscado, todo dentro de parámetros establecidos para nuestro estudio en la determinación de los límites de Atterberg. Todo esto para llegar a obtener un factor muy importante el Índice de Plasticidad (IP), el cual está en función del Limite Liquido (LL) y del Limite Plástico (LP).

La obtención del Límite de Contracción (LC) por el método de mercurio, fue realizado por un equipo que hará fabricar el tesista, con el único fin de proporcionar el Límite de Contracción (LC), si un objeto a un estudio más profundo.

Se realizará una depuración de resultados apoyados en bibliografía y la experiencia de Ingenieros Civiles especializados en la Mecánica de Suelos.

Con los resultados ya establecidos, se procede al logro del objetivo principal del estudio, encontrar por métodos estadísticos (curva empírica), una correlación en función al Índice de Plasticidad (IP) y al Límite de Contracción (LC).

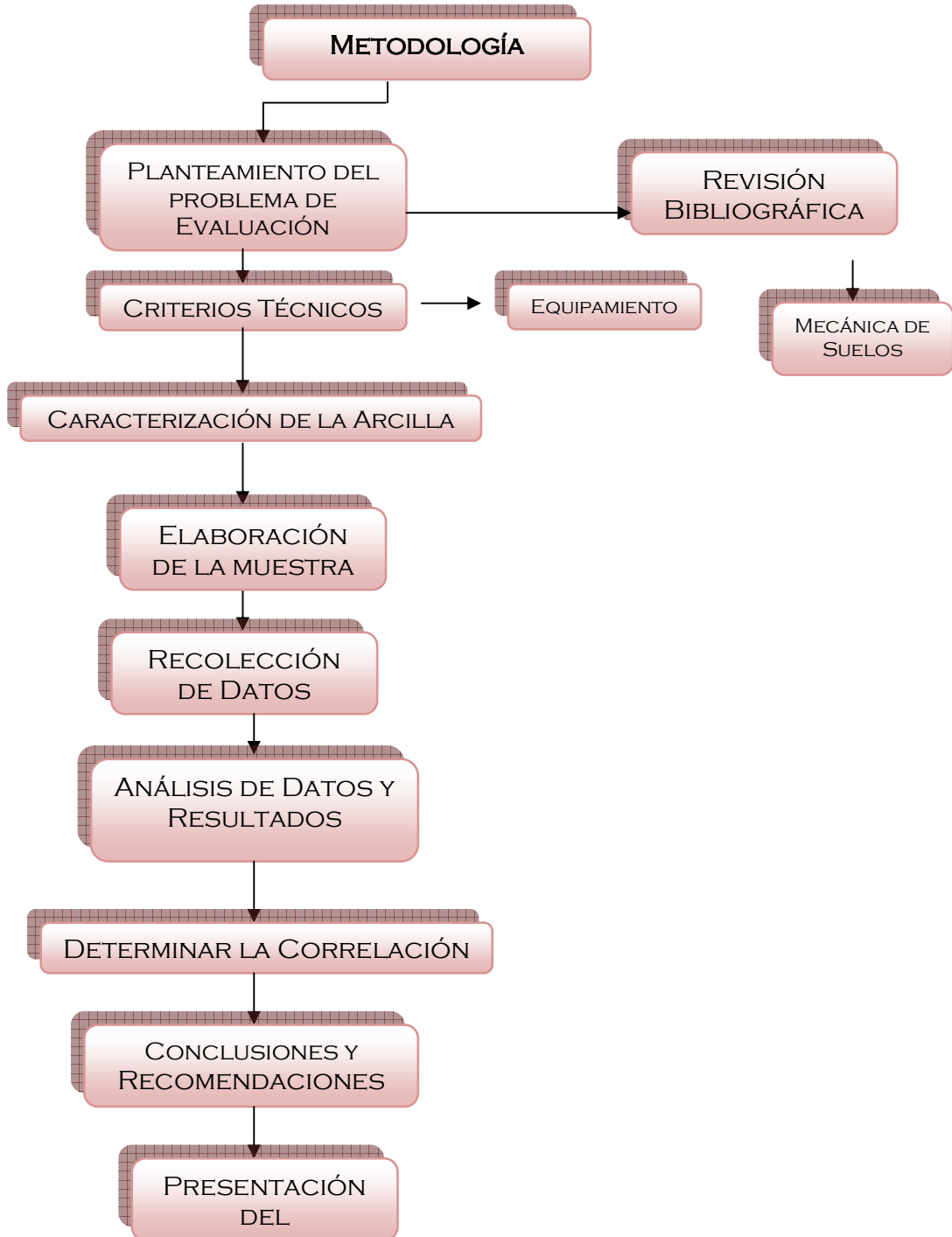
Capítulo V

En este capítulo se llegará a las conclusiones arribadas en el presente estudio, explicando si se llegaron a cumplir los objetivos específicos que se señalan, así como las recomendaciones que se deben realizar y en lo que se debe tener cuidado al realizar o utilizar este método para encontrar el LC.

En anexos estará todo el detalle de planillas e información requerida en la elaboración de este estudio.

1.7 ESQUEMA LÓGICO ESTRUCTURAL

“Análisis básico para una correlación entre el Índice de Plasticidad y el Limite de Contracción en suelos arcillosos”



CAPITULO II

ELABORACION DEL MARCO TEORICO

2.1. GENERALIDADES DE LAS ARCILLAS

Introducción

A las arcillas las podemos clasificar o agrupar desde varios y distintos puntos de vista:

- Por su plasticidad.
- Por su porosidad y color
- Por su punto de fusión.

Las distintas arcillas se formaron, primero a partir de la descomposición de las formaciones rocosas y, por la acción de distintos factores, presión tectónica, movimientos sísmicos, distintos tipos de erosión, etc., y segundo por la adquisición, durante el viaje hasta su lugar de sedimentación, de diferentes impurezas de origen mineral; por lo tanto, dependiendo de las características de la roca de origen, existen innumerables tipos de arcillas, cada una de las cuales posee unas propiedades particulares.

El proceso de sedimentación dura millones de años. Los lechos de arcilla se encuentran, en casi todos los terrenos, a flor de tierra o a pocos metros de la superficie, aunque no todos son útiles.

Entre sus componentes básicos debemos destacar las materias plásticas como el caolín y la arcilla y, los no plásticos o antiplásticos, como el cuarzo, la arena o la pegmatita, que prestan un papel fundamental en el proceso de transformación de los materiales dentro del horno, actuando como fundentes.

Todos los tipos de arcilla, en el tiempo de secado y de cocción, sufren un proceso de encogimiento, de reducción de tamaño. Esta disminución de tamaño es mayor, cuanto menor sea el contenido de materias no plásticas de la arcilla que estamos trabajando.

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 mm).

Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 mm.

Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 mm. Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan los 2 mm.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Propiedades físico-químicas

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- * Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 mm)
- * Su morfología laminar (filosilicatos)
- * Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interactuar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

Hidratación e hinchamiento

La hidratación y deshidratación del espacio interlamilar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlamilar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlamilar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlamilar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

Plasticidad

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al. , 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

Tixotropía

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

Arcillas Industriales

Hoy en día las arcillas comerciales, aquellas que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90 % de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Sólo un 10 % se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.)

En general al primer tipo (las que se utilizan en construcción) se las denomina arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes, son arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo...). Se utilizan para la fabricación de materiales de construcción y agregados.

Al segundo tipo se las denomina arcillas especiales, son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral de la arcilla, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional.

Las arcillas especiales se pueden dividir en caolines y arcillas caoliníferas, y bentonitas, sepiolita y paligorskita:

- *Caolines y arcillas caoliníferas*

Un caolín es una roca que contiene una cierta proporción de minerales del grupo de caolín, que puede ser económicamente extraída y concentrada. Se trata, generalmente, de una arcosa o arena caolinífera, granito o gneis caolinitizado, que es necesario procesar para enriquecer en minerales del grupo del caolín.

Como la caolinita tiene un tamaño de partícula muy pequeño, el lavado de las fracciones groseras conduce a un material con alto contenido en caolinita. Es evidente que cuanto mayor sea el contenido en fracciones finas del caolín bruto, mayor será también el porcentaje en caolinita. Un caolín comercial de alta calidad a penas deberá tener partículas superiores a los 20 mm, lo que garantizaría una riqueza en caolinita superior al 80%.

Otro término utilizado para arcillas especiales, con un indudable significado industrial, es el de arcillas refractarias: Arcillas caoliníferas utilizadas para la fabricación de materiales cerámicos refractarios.

- *Bentonitas*

Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, independientemente de cualquier connotación genética.

Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades físico-químicas; así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua:

- * Bentonitas altamente hinchables o sódicas
- * Bentonitas poco hinchables o cálcicas
- * Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias

El término fuller'earth, también conocidas en español como tierras de batán, los ingleses lo usan para denominar a arcillas constituidas fundamentalmente por montmorillonita con Ca como catión de cambio, mientras que los americanos se lo dan a arcillas paligorskíticas. A las bentonitas cálcicas que los ingleses denominan fuller'earth los americanos las llaman bentonitas no hinchables.

Otras clasificaciones se basan en criterios distintos, así, por ejemplo, en USA se utiliza el término "Bentonitas del Sur" (Southern Bentonites) como equivalentes de bentonitas cálcicas, ya que la mayor parte de la bentonita cálcica norteamericana se explota cerca del Golfo de México, denominándose "bentonita tipo Wyoming" a las bentonitas sódicas.

Son muy numerosos los usos industriales de las bentonitas, tanto que resulta difícil enumerarlos todos. Los más importantes son:

Arenas de moldeo

A pesar de que la industria ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas y ha ido sustituyendo a las bentonitas por otros productos en la fabricación de moldes para fundición, éste sigue siendo su uso principal.

Las arenas de moldeo están compuestas por arena y arcilla, generalmente bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia

suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el moldeo y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varían entre el 5 y el 10 %, pudiendo ser ésta tanto sódica como cálcica, según el uso a que se destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no féreos. Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no féreos.

- *Lodos de perforación*

A pesar de los importantes cambios que van sufriendo con el tiempo las formulaciones de los lodos de perforación, (comenzó a utilizarse a principios del siglo XX) este sigue siendo uno de los mercados más importantes de las bentonitas.

Las funciones que debe cumplir el lodo son:

- * Extracción del ripio y limpieza del fondo del pozo
- * Enfriamiento de la herramienta de perforación
- * Control de presiones de formación y estabilización de las paredes
- * Mantenimiento en suspensión del ripio
- * Transmisión de potencia hidráulica al tricono
- * Soportar parte del peso de la sarta de perforación
- * Permitir la adición de agentes densificantes

Las bentonitas de Wyoming son las más utilizadas para la preparación de lodos de perforación.

- *Absorbentes*

La elevada superficie específica de la bentonita, le confiere una gran capacidad tanto de absorción como de adsorción. Debido a esto se emplea en decoloración y clarificación de aceites, vinos, sidras, cervezas, etc. Tienen gran importancia en los procesos industriales de purificación de aguas que contengan diferentes tipos de aceites industriales y contaminantes orgánicos.

Se utiliza además como soporte de productos químicos, como por ejemplo herbicidas, pesticidas e insecticidas, posibilitando una distribución homogénea del producto tóxico.

En los últimos años, además, están compitiendo con otras arcillas absorbentes (sepiolita y paligorskita) como materia prima para la fabricación de lechos de animales. La demanda de bentonitas para este uso varía sustancialmente de unos países a otros, así en Estados Unidos comenzaron a utilizarse a finales de los años 80, sin embargo en Europa el mercado es más complejo y su demanda mucho menor.

- *Material de Sellado*

La creciente importancia que está tomado en los últimos años, por parte de los gobiernos de toda Europa, la legislación en lo referente a medio ambiente, ha favorecido la apertura y desarrollo de todo un mercado orientado hacia el uso de bentonitas como material de sellado en depósitos de residuos tanto tóxicos y peligrosos, como radiactivos de baja y media actividad.

Durante muchos años las bentonitas se han venido utilizando en mezclas de suelos en torno a los vertederos, con el fin de disminuir la permeabilidad de los mismos. De esta forma se impide el escape de gases o lixiviados generados en el depósito. Esta mezcla se podía realizar in situ o sacando el suelo de su emplazamiento, mezclándolo con la bentonita y volviéndolo a colocar en su sitio, la ventaja de la primera alternativa es que supone un gasto menor pero, sin embargo, implica una mezcla menos homogénea. La segunda alternativa, sin embargo, es más

cara pero asegura una mejor homogeneización de la mezcla bentonita-suelo. Por otro lado, esto disminuye la cantidad de bentonita necesaria (5-6 %), frente a 7-8 % para la utilizada en mezclas in situ.

Más recientemente ha surgido una nueva tendencia en el diseño de barreras de impermeabilización que se basa en la fabricación de complejos bentonitas-geosintéticos (geomembranas y geotextiles). Consiste en la colocación de una barrera de arcilla compactada entre dos capas, una de geotextil y otra de geomembrana (plásticos manufacturados, como polietileno de alta densidad o polipropileno, entre otros).

La geomembrana es impermeable, mientras que el geotextil es permeable, de modo que permite a la bentonita hinchar, produciendo la barrera de sellado compactada.

La normativa varía de un país a otro en cuanto a los valores que tienen que cumplir las arcillas compactadas para dicho fin.

Esta utilidad de las bentonitas como material de sellado se basa fundamentalmente en algunas de sus propiedades características, como son: su elevada superficie específica, gran capacidad de hinchamiento, buena plasticidad y lubricidad, alta impermeabilidad, baja compresibilidad. Las bentonitas más utilizadas para ese fin son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.

Así mismo, se utilizan bentonitas sódicas como material impermeabilizante y contenedor en los siguientes campos:

- * Como contenedores de aguas frescas: Estanques y lagos ornamentales, campos de golf, canales...
- * Como contenedores de aguas residuales: Efluentes industriales (balsas).
- * En suelos contaminados: Cubiertas, barreras verticales.
- * En el sellado de pozos de aguas subterráneas contaminadas.
- * En depósitos de residuos radiactivos: Repositorios subterráneos, sellado de fracturas en granitos, etc.

- *Aplicaciones en la Ingeniería Civil*

Las bentonitas se empezaron a utilizar para este fin en Europa en los años 50, y se desarrolló más tarde en Estados Unidos. Se utiliza para cementar fisuras y grietas de rocas, absorbiendo la humedad para impedir que esta produzca derrumbamiento de túneles o excavaciones, para impermeabilizar trincheras, estabilización de charcas, etc.

Para que puedan ser utilizadas han de estar dotadas de un marcado carácter tixotrópico, viscosidad, alta capacidad de hinchamiento y buena dispersabilidad. Las bentonitas sódicas o cálcicas activadas son las que presentan las mejores propiedades para este uso.

Los usos en este campo se pueden resumir en:

- * Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones.
- * Prevención de hundimientos. En las obras, se puede evitar el desplome de paredes lubricándolas con lechadas de bentonita.
- * Protección de tuberías: como lubricante y rellenando grietas.
- * En cementos: aumenta su capacidad de ser trabajado y su plasticidad.
- * En túneles: Ayuda a la estabilización y soporte en la construcción de túneles. Actúa como lubricante (un 3-5 % de lodo de bentonita sódica mantenida a determinada presión soporta el frente del túnel). También es posible el transporte de los materiales excavados en el seno de fluidos benoníticos por arrastre.
- * En tomas de tierra: Proporciona seguridad en el caso de rotura de cables enterrados.
- * Transporte de sólidos en suspensión.

Recientemente el término arcilla especial ha sido restringido aún más por algunos autores y lo reservan para arcillas raras como la sepiolita o hectorita, poco abundantes, o como la paligorskita y bentonitas blancas. También lo usan para arcillas modificadas químicamente como las bentonitas activadas con tratamientos ácidos o organofílicas, quedando fuera de la

denominación de arcillas especiales los caolines, bentonitas y, por supuesto las arcillas comunes.

2.2. CONCEPTOS

2.2.1. Granulometría

La variedad en el tamaño de las partículas del suelo, casi es ilimitada; por definición, los granos de mayor tamaño son los que se pueden mover con gran facilidad, mientras que los más finos son tan pequeños que no se puede apreciar con un microscopio corriente. Las partículas producidas por la meteorización mecánica rara vez son de diámetro inferior a 0.001 mm y generalmente, son mucho mayores. Para clasificar por tamaño de partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de las partículas, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir al procedimiento de lavado y de sedimentación.

La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aún cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente. El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada.

Obviamente para obtener un resultado satisfactorio la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa de suelo.

Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz, cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a la del anterior. Es evidente que el material retenido de esta forma en cualquier tamiz consiste en partículas de muchos tamaños, los cuáles son menores al tamaño de la malla anterior a la que pasó.

Los bastidores de los tamices son de bronce centrifugado o de acero inoxidable con bordes laminados, fondos extendidos para que se adapten a todos los armazones, recipientes o fondos separadores del mismo diámetro.

Esto permite que se puedan apilar. Los tamices de bronce son más económicos; los tamices de acero inoxidable son de más larga duración, con una malla resistente al pandeo.

El número del tamiz, los micrones, la apertura nominal en milímetros y pulgadas están escritos en una placa de metal permanente pegada en cada tamiz. Todos los tamices cumplen con la norma *ASTM E11*; *AASHTO M92*.

Tabla 1

Tabla XVII. Tamaño patrón de tamices tipo USA

Tamaños de Tamices Norma USA y sus equivalentes		
No. Alternativo	Abertura nominal plg	Abertura estándar mm
4"	4.000	100 mm
3 1/2"	3.500	90 mm
3"	3.000	75 mm
2 1/2"	2.500	63 mm
2.12"	2.120	53 mm
2"	2.000	50 mm
1 3/4"	1.750	45 mm
1 1/2"	1.500	37.5 mm
1 1/4"	1.250	31.5 mm
1.06"	1.060	26.5 mm
1"	1.000	25.0 mm
7/8"	0.875	22.4 mm
3/4"	0.750	19.0 mm
5/8"	0.625	16.0 mm
0.530"	0.530	13.2 mm
1/2"	0.500	12.5 mm
7/16"	0.434	11.2 mm
3/8"	0.375	9.5 mm
5/16"	0.312	8.0 mm
0.265"	0.265	6.7 mm
1/4"	0.250	6.3 mm
1/8"	0.125	3.17 mm
No. 3	0.223	5.6 mm
No. 4	0.187	4.75 mm
No. 5	0.157	4.00 mm
No. 6	0.131	3.35 mm
No. 7	0.110	2.80 mm
No. 8	0.094	2.36 mm
No. 10	0.078	2.00 mm
No. 12	0.066	1.70 mm
No. 14	0.055	1.40 mm
No. 16	0.046	1.18 mm
No. 18	0.039	1.00 mm
No. 20	0.033	850 µm
No. 25	0.027	710 µm
No. 30	0.023	600 µm
No. 35	0.019	500 µm
No. 40	0.016	425 µm
No. 45	0.013	355 µm
No. 50	0.011	300 µm
No. 60	0.009	250 µm
No. 70	0.008	212 µm
No. 80	0.007	180 µm
No. 100	0.005	150 µm
No. 120	0.0049	125 µm
No. 140	0.0041	106 µm
No. 170	0.0035	90 µm
No. 200	0.0029	75 µm
No. 230	0.0024	62 µm
No. 270	0.0020	53 µm
No. 325	0.0017	45 µm
No. 400	0.0014	38 µm

Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007.

Todos los sistemas de clasificación utilizan el tamiz No. 200 como punto divisorio; las clasificaciones se basan generalmente, en términos de la cantidad retenida o la cantidad que pasa a través del tamiz No. 200. Ocasionalmente es deseable conocer la escala aproximada de partículas de suelo menores que el tamiz No. 200. Para este caso, el método del hidrómetro es el más utilizado.

2.2.1.1. Análisis granulométrico método mecánico

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis por tamices se hace con la muestra entera, o bien, lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca a estufa una pequeña porción húmeda de material y luego se examina su resistencia en seco, rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de los mismos, entonces el análisis con tamices, se puede efectuar sin previo lavado.

El proceso de tamizado no provee información sobre la forma de los granos de suelo, es decir si son angulares o redondeados. Solamente brinda información sobre los granos que pueden pasar, o qué orientación adecuada pasa, a través de una malla de abertura rectangular de cierto tamaño. La información del análisis granulométrico se presenta en forma de curva; para poder comparar suelos y visualizar fácilmente la distribución de los tamaños de grano presentes y como una masa de suelo típica puede tener partículas que varíen entre tamaños de dos milímetros y 0.075 mm las más pequeñas.

Lo anterior repercute en utilizar una escala muy grande para poder dar el mismo peso y precisión de lectura a todas las medidas; por lo que se hace necesario recurrir a una representación logarítmica para los tamaños de partícula. Los procedimientos patrones utilizan el porcentaje que pasa como la ordenada en la escala natural de la curva de distribución granulométrica. Es evidente que una curva de distribución sólo puede aproximar la situación real, esto se debe a las razones consideradas anteriormente. Incluyendo las limitaciones físicas para obtener muestras estadísticamente representativas, la presencia de

grumos en el suelo, la limitación práctica impuesta por la utilización de mallas de forma regular para medir partículas de suelo de forma irregular y número limitado de tamices utilizable en el análisis.

Fig. 1 Tamices tipo U.S. Standard



Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007.

Pág. 127

2.2.1.2. Análisis por sedimentación hidrómetro

El análisis de hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm.

Fig. 2 Hidrómetro modelo 152H ASTM D422



Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007.

Pág. 45

Los datos se presentan en un gráfico semilogarítmico de porcentaje de material más fino contra diámetro de los granos y puede combinarse con los datos obtenidos en el análisis mecánico del material retenido.

El principal objetivo del análisis de hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 12% del material pasa a través del tamiz No. 200 no se utiliza como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva.

El análisis de hidrómetro utiliza la relación entre la velocidad de caída de esferas en fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico tanto de la esfera como del fluido y la viscosidad del fluido.

El rango de los diámetros D de partículas de suelo para los cuáles la ecuación del diámetro es válida, son aproximadamente de $0.0002 \text{ mm} \leq D \leq 0.2 \text{ mm}$, pues los diámetros mayores causan excesiva turbulencia en el fluido y los granos muy pequeños están sujetos a movimientos de tipo *Browniano* (sujetos a fuerza de atracción y repulsión entre partículas).

Para obtener la velocidad de caída de las partículas se utiliza el hidrómetro, este aparato se desarrolló originalmente para determinar la gravedad específica de una solución, pero alterando su escala se puede utilizar para leer estos valores. Al mezclar una cantidad de suelo con agua y un pequeño contenido de un agente dispersante para formar una solución de 1,000 cm^3 , se obtiene una solución con una gravedad específica ligeramente mayor que uno.

El hidrómetro usado más comúnmente es el tipo 152H (designado por la *ASTM*) y está calibrado para leer gramos de suelo de un valor de $G_s = 2.65$ en 1,000 cm^3 de suspensión siempre que no haya más de 60 g de suelo en la solución. Por esta razón este tipo de hidrómetro se utiliza muy ampliamente, a pesar de existir otros tipos de hidrómetros que pueden ser leídos en términos de gravedad específica de la suspensión suelo – agua.

El hidrómetro determina la gravedad específica de la suspensión agua – suelo en el centro del bulbo. Todas las partículas de mayor tamaño que aquéllas que se encuentre aún en suspensión en la zona mostrada como L (la distancia entre el centro de volumen del bulbo y la superficie del agua) habrán caído por debajo de la profundidad del centro de volumen y esto hace decrecer permanentemente la gravedad específica de la suspensión en el centro de volumen

del hidrómetro. Es preciso recordar también, que la gravedad específica del agua decrece a medida que la temperatura aumenta de cuatro grados Celsius, esto ocasiona adicionalmente un hundimiento mayor del hidrómetro dentro de la suspensión.

2.2.2. Limite de Contracción

El límite de contracción es un contenido de humedad específico que divide la consistencia sólida de la semisólida del suelo y establece el contenido de humedad máximo que el suelo tolera antes de sufrir cambios o como el máximo contenido de agua w_1 al cual una reducción en humedad no causa una disminución en el volumen de la masa de suelo. Para medirlo, se coloca en una cápsula el suelo húmedo ($w > w_L$) y se determina su peso W_i y volumen V_i , siendo V_i también el volumen de la cápsula. Se seca el suelo y se obtiene su peso W_f y volumen V_f . El problema está en obtener V_f , y el cual se logra conociendo el peso del mercurio desplazado por el suelo seco, operación que es delicada; así se tiene:

$$LR = \frac{(W_i - W_f) - (V_i - V_f) * \gamma_w}{W_f} * 100$$

donde $(V_i - V_f) * \gamma_w$ es el peso del agua perdida y $(W_i - W_f) - (V_i - V_f) * \gamma_w$ es el peso del agua en la muestra, cuando está en el límite de contracción. Los valores corrientes son: para arcillas mayor al 15%, para limos 15 a 0%; en las arenas no se da cambio del volumen por el secado.

2.2.2.1. Mercurio

Es un metal pesado plateado que a temperatura ambiente es un líquido inodoro. No es buen conductor del calor comparado con otros metales, aunque es buen conductor de la electricidad. Se alea fácilmente con muchos otros metales como el oro o la plata produciendo

amalgamas, pero no con el hierro. Es insoluble en agua y soluble en ácido nítrico. Cuando aumenta su temperatura-por encima del los 40 °C - produce vapores tóxicos y corrosivos, más pesados que el aire. Es dañino por inhalación, ingestión y contacto: se trata de un producto muy irritante para la piel, ojos y vías respiratorias.

La exposición a corto plazo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar efectos que incluyen daño a los pulmones, náuseas, vómitos, diarrea, aumento de la presión arterial o del ritmo cardíaco, erupciones en la piel, e irritación ocular. Ya que el mercurio y la mayor parte de sus compuestos son extremadamente tóxicos y son generalmente manejados con cuidado;.



En casos de derrames de participación de mercurio (como el de algunos termómetros o tubos fluorescentes) los procedimientos específicos de limpieza se utilizan para evitar la exposición a sustancias tóxicas. En esencia, se recomienda combinar físicamente más pequeñas gotas sobre superficies duras, combinándolos en un solo grupo más grande para facilitar la extracción mediante el uso de un gotero, o empujando en un recipiente desechable. Las aspiradoras y escobas no debe ser utilizado debido a que causan una mayor dispersión del mercurio. Limpieza de superficies porosas y prendas de vestir no es eficaz para eliminar todos los rastros de mercurio y lo que es aconsejable para descartar este tipo de elementos que deben estar expuestos a un derrame de mercurio.

2.2.3. Índice de Plasticidad

El *índice de plasticidad*, que indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica.

Es un parámetro físico que se relaciona con la facilidad de manejo del suelo, por una parte, y con el contenido y tipo de arcilla presente en el suelo, por otra:

Se obtiene de la diferencia entre el limite liquido y el limite plástico:

$$IP = LL - LP > 10 \text{ plástico.}$$

$$IP = LL - LP < 10 \text{ no plástico.}$$

Valores Menores de 10 indican baja plasticidad, y valores cercanos a los 20 señalan suelos muy plásticos.

Partiendo del límite líquido y el límite plástico, el índice de plasticidad (IP) puede definirse como la diferencia numérica entre ellos:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad se expresa con el porcentaje del peso en seco de la muestra de suelo, e indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico. En general, el índice de plasticidad depende sólo de la cantidad de arcilla existente e indica la finura del suelo y su capacidad para cambiar de configuración sin alterar su volumen. Un IP elevado indica un exceso de arcilla o de coloides en el suelo. Siempre que el LP sea superior o igual al LL, su valor será cero.

El índice de plasticidad también da una buena indicación de la compresibilidad. Mientras mayor sea el IP, mayor será la compresibilidad del suelo. En los Cuadros siguientes se dan ejemplos de valores del índice de plasticidad.

Tabla 2 Ejemplos
Plasticidad de diversos suelos arcillosos/limosos

<i>Categoría</i>	<i>Suelo</i>	<i>IP</i>	<i>Grado de plasticidad</i>
<i>I</i>	<i>Arena o limo</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>trazas de arcilla</i> • <i>poca arcilla</i> 	<i>0-1</i>	<i>No plástico</i>
		<i>1-5</i>	<i>Ligera plasticidad</i>
		<i>5-10</i>	<i>Baja plasticidad</i>
<i>II</i>	<i>Franco arcilloso</i>	<i>10-20</i>	<i>Mediana plasticidad</i>
<i>III</i>	<i>Arcilloso limoso</i> <i>Arcilla</i>	<i>20-35</i>	<i>Alta plasticidad</i>
		<i>> 35</i>	<i>Muy alta plasticidad</i>

El Índice de plasticidad determina el rango de humedad en el que el suelo es plástico y tiene los mayores riesgos para manipular con equipos, por los posibles efectos de compactación y sellado de la superficie según Plá Senti (1972) cuando el índice se encuentra entre 5 - 10 % de

humedad los suelos tienen moderada plasticidad y para Gaucher (1971) el índice de plasticidad varía entre un valor de 4% para un suelo arenoso hasta un 25% para un suelo arcilloso

Índice de plasticidad:

Donde:

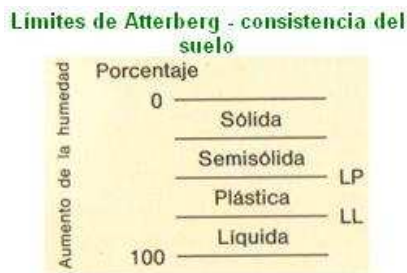
W_L = Límite Líquido en porcentaje

W_P = Límite Plástico en porcentaje

2.3. MÉTODOS DE TRABAJO

2.3.1. Límites de Atterberg

Fig. 3



Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso (ver Fig.1). La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra

muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida.

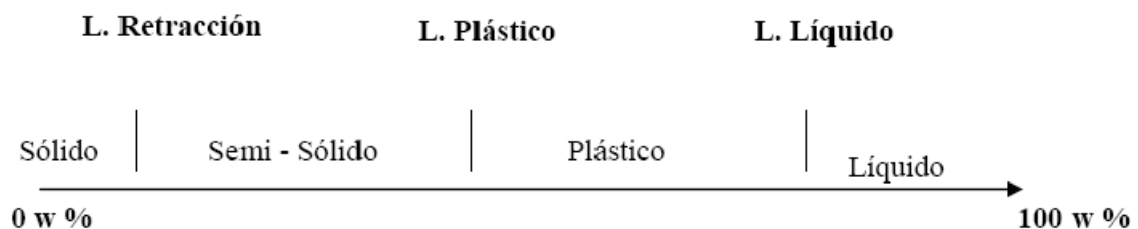


Fig. 4

Límites de Atterberg

El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad). Se trata de la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por el científico sueco Albert Atterberg en el año 1911 [1]. Los límites de Atterberg son propiedades, valores de humedad de los suelos que se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

Utilización práctica de los Límites de Atterberg

En la actualidad, los límites de Atterberg son las determinaciones que con más asiduidad se practican en los laboratorios de Mecánica del Suelo. Su utilidad deriva de que, gracias a la experiencia acumulada en miles de determinaciones, es suficiente conocer sus valores para poderse dar una idea bastante clara del tipo de suelo y sus propiedades. Como, por otra parte, se trata de determinaciones sencillas y rápidas, permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más complicados.

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes.

Debe tenerse en cuenta, no obstante, que todos los límites e índices, a excepción del límite de retracción, se determinan en suelos que han sido amasados para formar una mezcla uniforme suelo-agua. Este proceso de amasado conduce al ablandamiento de la masa como

consecuencia de la destrucción del ordenamiento de las moléculas bipolares de agua, a la reorientación de las láminas de arcilla y a la ruptura de la estructura que el suelo adquiere durante su formación por sedimentación o consolidación. Al cesar el proceso de amasado, las láminas de arcilla vuelven a orientarse y las moléculas de agua adquieren ligazón, pero la estructura del suelo no vuelve a ser la misma. Por tanto, habrá que señalar que los límites no dan indicación alguna sobre la estructura del suelo o de los enlaces residuales entre partículas que pudieran haberse desarrollado en el terreno natural.

→ *Plasticidad y límites de consistencia*

Albert Atterberg definió como plasticidad la capacidad que tenía un suelo de ser deformado sin agrietarse, ni producir rebote elástico. A su vez observó que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven muy duros en condiciones secas, que los limos no son necesariamente plásticos y se vuelven menos duros con el secado, y que las arenas son desmenuzables en condiciones sueltas y secas. También observó que existían arcillas altamente plásticas y otras de baja plasticidad.

Los límites establecidos por Atterberg para diferenciar los distintos estados de consistencia se deben obtener a partir de la fracción que pasa por el tamiz N° 40, descartando la porción retenida.

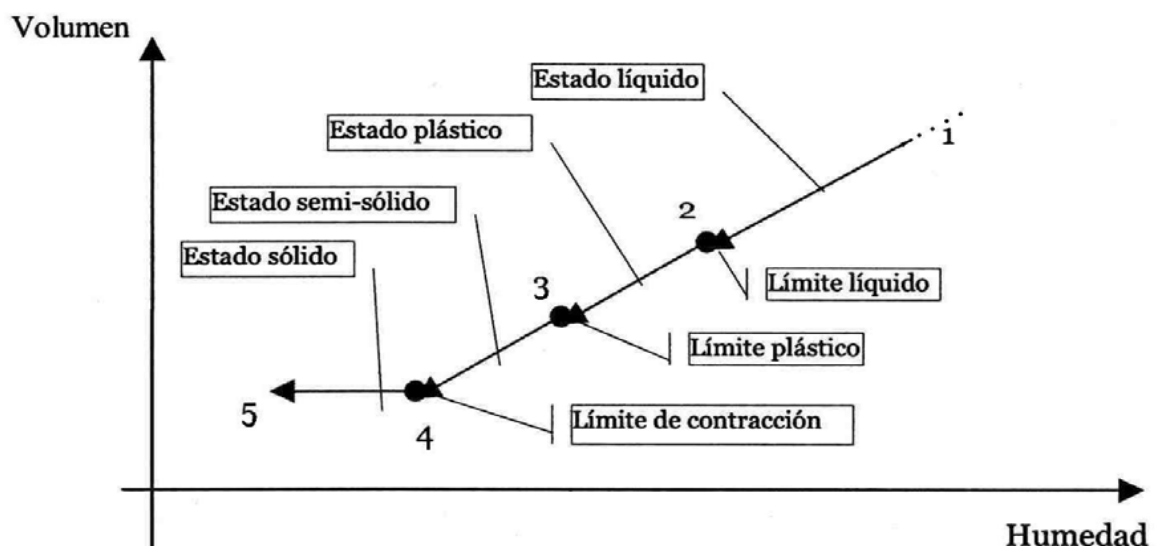


Fig. 5 Trayectoria humedad-volumen de un suelo amasado

La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción o de retracción y se define como la humedad presente al haber añadido agua suficiente para llenar todos los huecos de una pastilla de suelo seca. Se trata de la humedad máxima de un suelo para la cual una pérdida de humedad no causa disminución de volumen de suelo. La frontera entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, y se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a agrietarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro. A la frontera entre el límite plástico y líquido se le llama límite líquido y se determina midiendo la humedad que contiene el suelo cuando con 25 golpes se cierra una ranura de 13 mm de longitud mediante un aparato normalizado.

Atterberg encontró que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, denominado índice de plasticidad (*IP*), representaba una medida satisfactoria del grado de plasticidad de un suelo. Luego sugirió que estos dos límites sirvieran de base en la clasificación de los suelos plásticos. Acorde al valor del índice de plasticidad, distinguió los siguientes materiales.

- Suelos desmenuzables ($IP < 1$)
- Suelos débilmente plásticos ($1 < IP < 7$)
- Suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$)
- Suelos altamente plásticos ($IP > 15$)

Todos los límites se expresan en porcentaje de agua contenida sobre suelo seco.

→ *Límite líquido*

El límite líquido como fue definido por Atterberg ha estado sujeto a distintas variaciones en su determinación. Fue Terzaghi, quien le sugirió a Casagrande en 1927, que diseñara un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en la medida de lo posible los errores del operador en la determinación del mismo. Casagrande desarrolló un dispositivo normalizado como cuchara normalizada, cuando un surco, realizado mediante un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo del fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo. La altura de caída,

como las dimensiones del cascador y las dimensiones de la ranura, como el material de la base, etc., son factores de influencia en los resultados obtenidos. Estos factores se comentarán en el siguiente apartado.

Para entender el significado del ensayo mediante el dispositivo desarrollado por Casagrande, se puede decir que para golpes secos, la resistencia al corte dinámica de los taludes de la ranura se agota, generándose una estructura de flujo que produce el deslizamiento (ver Fig. LL). La fuerza resistente a la deformación puede considerarse como la resistencia al corte de un suelo. La resistencia al corte de todos los suelos en el límite líquido es constante y tiene un valor aproximado de 2,2 kPa

Deslizamiento de un suelo en el límite líquido

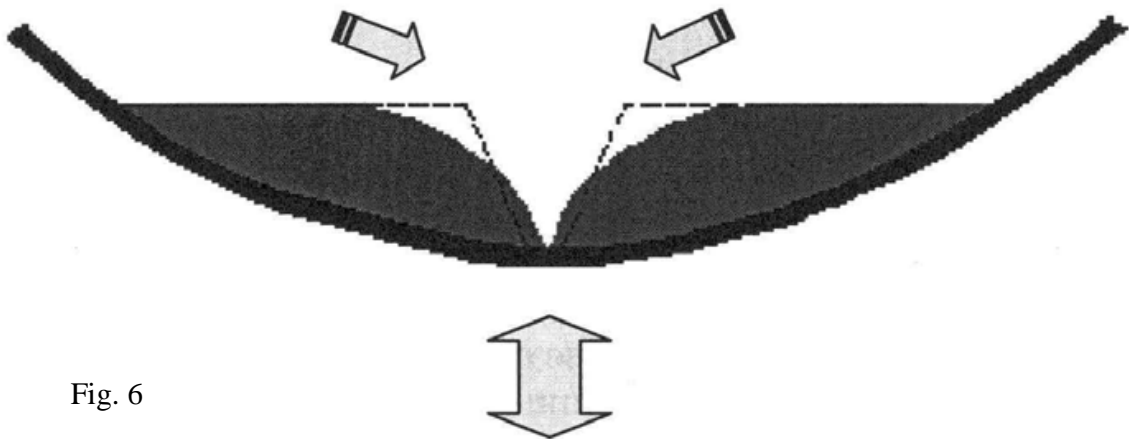


Fig. 6

2.3.2. Ensayo de Contracción de Terzaghi

En el estado semisólido, el proceso el decrecimiento de volumen del suelo es precisamente igual al valor de agua perdida por evaporación. Sin embargo cuando el contenido de humedad llega a un cierto valor mínimo, la muestra deja de disminuir su volumen con la pérdida de humedad pero el peso de la muestra continúa decreciendo.

Puede decirse que en ese punto la muestra pasa de un estado semisólido a uno sólido. El límite entre los dos estados es marcado por el cambio de color de oscuro a claro y el contenido de humedad correspondiente a dicho límite Atterberg lo denominó “límite de contracción”.

En el estado semisólido, los vacíos están completamente llenos de agua. La superficie libre de agua se localiza dentro de la superficie de la muestra y la tensión superficial ejerce en la superficie exterior de la muestra una presión distribuida uniforme, comparable a la presión externa actuando como una presión hidrostática en cada punto perpendicular a la superficie externa de la muestra. Por esta razón el aire no puede entrar en la arcilla ya que la presión ejercida por la tensión superficial es más pequeña que la presión requerida para comprimir o contraer la arcilla

En el límite líquido la presión ejercida por la tensión superficial del agua o “presión capilar” es prácticamente igual a cero. En el límite plástico ya suma varias atmósferas y durante el proceso de contracción en el estado semisólido su valor es todavía más grande. Finalmente, llega el punto donde la fuerza requerida para producir el cambio de volumen es tan grande como el máximo valor que la “presión capilar” puede posiblemente suponer. Si se sigue evaporando agua, la superficie de agua capilar se retira al interior de la muestra y el aire puede ingresar al suelo, en consecuencia, el color del suelo cambia de oscuro a claro. El contenido de agua, cuando se produce el cambio de color, es el límite de contracción. El límite de contracción depende obviamente de dos factores: la compresibilidad del suelo y el máximo valor de presión capilar.

Atterberg (1911), originalmente trabajó con pequeñas barras de arcilla que dejó secar lentamente. Observó el punto en el cual el color cambiaba y al mismo tiempo anotó que la longitud era esencialmente mínima en ese punto.

Terzaghi propuso que uno podría medir el volumen seco y la masa seca y a la vez calcular el contenido de agua en el punto de mínimo volumen. Una pequeña cantidad de suelo de masa

total M_i se coloca en un pequeño recipiente de volumen conocido V_i y se permite un secado lento. Luego de tener la masa seca al horno M_s , el volumen se suelo seco V_d se mide pesando la cantidad de mercurio que la muestra de suelo desplaza.

. Determinación del Límite de Contracción basado en:

(a) Masa total. (b) Contenido de humedad.

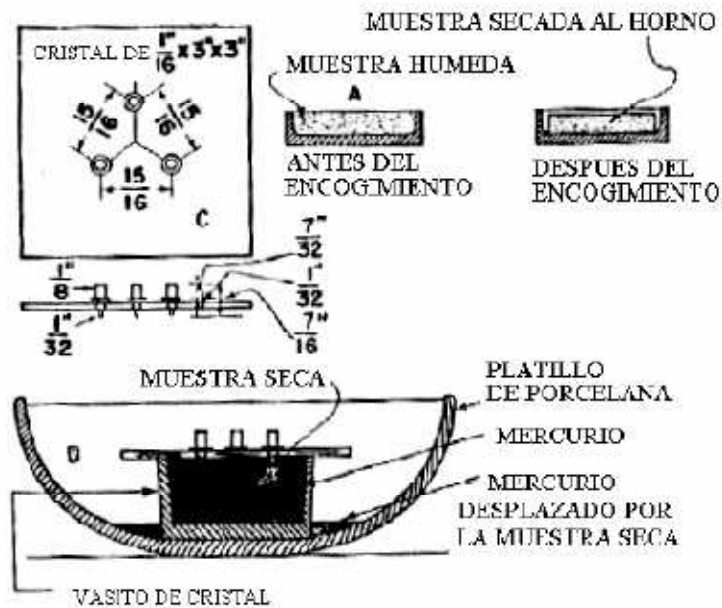


Fig. 7

Aunque el límite de contracción fue una popular prueba de clasificación durante los años 20, está sujeta a considerable incertidumbre y por ello no se practica más. El ensayo tiene algunas características indeseables: involucra errores como resultado de burbujas de aire en la muestra de suelo seco, agrietamiento durante el secado, pesado y otras medidas de error y el peligro de envenenamiento al operador con mercurio. Casagrande sugirió secar muestras grandes y medir físicamente sus dimensiones para evitar el problema del envenenamiento por mercurio.

Uno de los mayores problemas con el límite de contracción, es que la cantidad de contracción depende no solo del tamaño del grano, sino de la fábrica inicial del suelo. El estándar, por ejemplo la designación, del procedimiento, es comenzar con un límite de humedad cercano al límite líquido. Sin embargo, especialmente con arcillas limosas y arenosas, frecuentemente se produce un límite de contracción mayor que el límite plástico, lo cual carece de sentido.

Casagrande sugiere que el contenido inicial de agua sea ligeramente mayor que el límite plástico, si es posible, pero debe admitirse que es imposible evitar atrapar burbujas de aire.

Si el suelo está en estado natural inalterado, entonces el límite de contracción es frecuentemente mayor que el límite plástico debido a la estructura del suelo. Esto es especialmente cierto para arcillas altamente sensibles según Karlsson (1977). En la tabla a continuación se presenta la sensibilidad de la arcilla respecto del límite de contracción.

Tabla 3

SENSIBILIDAD DE LA ARCILLA	LC
Altamente sensible	>> LP
Sensibilidad media	≅ LP
Suelo orgánico	<< LP

A continuación se presenta una tabla en la cual se presenta el grado de expansión de las arcillas en función al límite de contracción y al índice de plasticidad

Tabla 4

GRADO DE EXPANSIÓN	EXPANSION PROBABLE COMO % DEL CAMBIO TOTAL DE VOLUMEN (CONDICION SATURADA A SECA)	CONTENIDO COLOIDAL (%<1 μm)	INDICE DE PLASTICIDAD IP	LIMITE DE CONTRACCION LC
Muy alto	> 30	> 28	> 35	< 11
Alto	20 - 30	20 - 31	25 - 41	7 - 12
Medio	10 - 20	13 - 23	15 - 28	10 - 16
Bajo	< 10	< 15	< 18	> 15

2.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Cuando hablamos de método, nos referimos a un conjunto de procedimientos sistemáticos para lograr el desarrollo de una ciencia. Ahora bien, al desglosar nuestra investigación planteamos técnicas referentes a como recolectar datos, como medir los datos, codificación, validez y los diferentes instrumentos de medición tales como: tabulaciones, el cuestionario, la observación.

El experimento entre otro tomando en consideración la confiabilidad de estos instrumentos que no es otra cosa que el grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto o objeto produce iguales resultados sin dejar otras. Sus posibles variaciones antes instrumentos poco confiables.

2.4.1. Recolección de la Información

A continuación presentamos un desarrollo bien definido que nos permitirá conocer cada unos de los métodos para recolectar información

Una vez recibidos los datos y antes de someterlos al análisis, suele ser útil llevar a cabo algunas operaciones preliminares. Esto puede incluir:

- **apartar** los datos que son obviamente erróneos o irrelevantes. Esto ha de ser hecho con precaución: no debiéramos borrar datos que son solamente "anómalos" y no armonizan con nuestras hipótesis. Pueden también demostrar que la hipótesis es defectuosa.
- **normalizar** o **reducir** nuestros datos significa que eliminamos la influencia de algún factor bien conocido pero sin interés.

En el análisis propiamente dicho de los datos, el propósito es extraer una invariante o estructura que nos interese a partir de los datos. Esto no significa que introduzcamos los datos en un ordenador y esperemos que el ordenador nos muestre qué estructuras pueden encontrarse en ellos. Los ordenadores no son lo bastante listos para eso. En lugar de ello, es bastante habitual que ya en un momento tan temprano como el inicio del proyecto, tengamos

un modelo matemático que aplicaremos a los resultados. Este modelo también proporciona las hipótesis para el proyecto de investigación.

Recolectar los datos implica tres actividades estrechamente vinculadas entre si:

- a. Seleccionar un instrumento de medición de los disponibles en el estudio del comportamiento o desarrollar uno (el instrumento de recolección de los datos). Este instrumento debe ser válido y confiable, de lo contrario no podemos basarnos en sus resultados.
- b. Aplicar ese instrumento de medición. Es decir, obtener las observaciones y mediciones de las variables que son de interés para nuestro estudio (medir variables).
- c. Preparar las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente (a esta actividad se le llama codificación de datos).

- **Escalas de medición**

Todo problema de investigación científica, aún el más abstracto, implica de algún modo una tarea de medición de los conceptos que intervienen en el mismo.

Una **escala** puede concebirse como un continuo de valores ordenados correlativamente que admite un punto inicial y otro final el cual se da en nuestro caso por tomaremos un punto origen para generar una curva empírica en función a otra donde el punto de origen coincide con la misma. Con estos dos valores tendríamos ya marcados los límites de nuestra escala; para concluir de confeccionarla será necesario asignar a los posibles rendimientos intermedios puntajes también intermedios.

Para que una escala pueda considerarse como capaz de aportar información objetiva debe reunir los dos siguiente requisitos básicos:

- a. **Confiability:** se refiere a la consistencia interior de la misma, a su capacidad para discriminar en forma constante entre un valor y otro.

- b. Validez: indica la capacidad de la escala para medir las cualidades para las cuales ha sido construida y no otras parecidas. Una escala confusa no puede tener validez, lo mismo que en una escala que esté midiendo, a la vez e indiscriminadamente, distintas variables superpuestas. "Una escala tiene validez cuando verdaderamente mide lo que afirma medir".

Existen diferentes tipos de escalas que se distinguen de acuerdo a la rigurosidad con que han sido construidas y al propio comportamiento de las variables que miden. Se acostumbra a clasificarlas en cuatro tipos generales que son los siguientes: escalas nominales, ordinales, de intervalos iguales y de cocientes o razones.

Escalas **nominales** son aquellas en que sólo se manifiesta una equivalencia de categorías entre los diferentes puntos que asume la variable. Es como una simple lista de las diferentes posiciones que pueda adoptar la variable, pero sin que en ella se defina ningún tipo de orden o de relación.

Las escalas **ordinales** distinguen los diferentes valores de la variable jerarquizándolos simplemente de acuerdo a un rango. Establecen que existe una gradación entre uno y otro valor de la escala, de tal modo que cualquiera de ellos es mayor que el precedente y menor que el que le sigue a continuación. Sin embargo la distancia entre un valor y otro no queda definida sino que es indeterminada. En otras palabras, tales escalas nos esclarecen solamente el rango que las distintas posiciones guardan entre sí.

Las escalas de **intervalos iguales**, además de poseer la equivalencia de categorías y el ordenamiento interno entre ellas, como en el caso de las ordinales, tienen las características de que la distancia entre sus intervalos está claramente determinada y que son iguales entre sí.

Por último tenemos las escalas de **cocientes**, llamadas también de razones. En ellas se conservan todas las propiedades de los casos anteriores pero además se añade la existencia de

un valor cero real, con lo que se hacen posibles ciertas operaciones matemáticas, tales como la obtención de proporciones y cocientes. Esto quiere decir que un valor de 20 en una escala de este tipo es el doble de un valor de 10, o de las dos terceras partes de un valor de 30. Son escalas de cocientes las que miden la longitud, la masa, la intensidad de corriente eléctrica y otras variables del mundo físico. Difícilmente las variables que intervienen en las ciencias sociales son medidas con escalas de razones, pues son contados los casos en que dichas variables pueden ser definidas con la exactitud y precisión necesarias.

Procedimiento que se sigue para construir un instrumento de medición

Existen diversos tipos de instrumentos de medición, cada uno con características diferentes. Sin embargo, el procedimiento general para construirlos es semejante.

El procedimiento que sugerimos para construir un instrumento de medición es el siguiente:

Pasos

- a. **Listar las variables** que se pretende medir u observar.
- b. **Revisar su definición conceptual y comprender su significado.** Por ejemplo, comprender bien que es la motivación intrínseca y que dimensiones la integran.
- c. **Revisar como han sido definidas operacionalmente las variables**, esto es, como se ha medido cada variable. Ello implica comparar los distintos instrumentos o maneras utilizadas para medir las variables (comparar su confiabilidad, validez, sujetos a los cuales se les aplicó, facilidad de administración, veces que las mediciones han resultado exitosas y posibilidad de uso en el contexto de la investigación).
- d. **Elegir el instrumento o los instrumentos (ya desarrollados) que hayan sido favorecidos por la comparación y adaptarlos al contexto de la investigación.** Para este caso sólo deben seleccionarse instrumentos cuya confiabilidad y validez se reporte.

2.4.2. Correlación de datos

En probabilidad y estadística, la **correlación** indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los

valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

Conceptos Básicos

A fin de facilitar la comprensión del presente trabajo definiremos algunos conceptos básicos.

Análisis de Correlación.- Es el conjunto de técnicas estadísticas empleado para medir la intensidad de la asociación entre dos variables. El principal objetivo del análisis de correlación consiste en determinar que tan intensa es la relación entre dos variables. Normalmente, el primer paso es mostrar los datos en un diagrama de dispersión.

Diagrama de Dispersión.- es aquel gráfico que representa la relación entre dos variables.

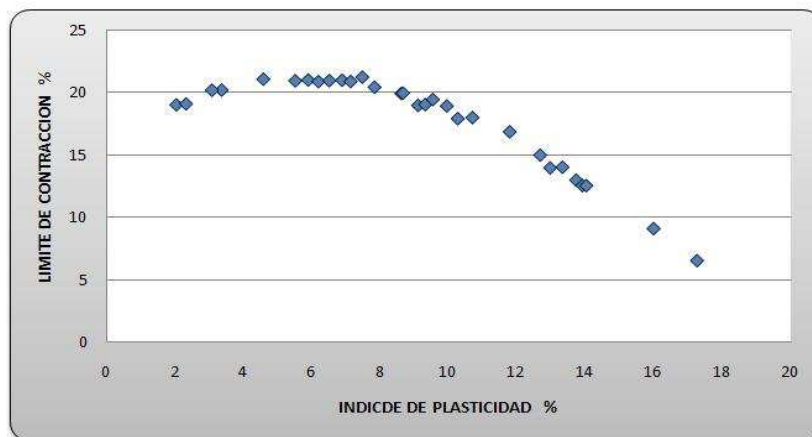


Fig.8

Variable Dependiente.- es la variable que se predice o calcula. Cuya representación es "Y"

Variable Independiente.- es la variable que proporciona las bases para el cálculo. Cuya representación es: X1,X2, X3.....

Coefficiente de Correlación.- Describe la intensidad de la relación entre dos conjuntos de variables de nivel de intervalo. Es la medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables.

El valor del coeficiente de correlación puede tomar valores desde menos uno hasta uno, indicando que mientras más cercano a uno sea el valor del coeficiente de correlación, en cualquier dirección, más fuerte será la asociación lineal entre las dos variables. Mientras más cercano a cero sea el coeficiente de correlación indicará que más débil es la asociación entre ambas variables. Si es igual a cero se concluirá que no existe relación lineal alguna entre ambas variables.

Análisis de regresión.- Es la técnica empleada para desarrollar la ecuación y dar las estimaciones.

Ecuación de Regresión.- es una ecuación que define la relación lineal entre dos variables.

Ecuación de regresión Lineal: $Y' = a + Bx$

Ecuación de regresión Lineal Múltiple: $Y' = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3...$

Tabla 5

$r = 1$	correlación perfecta.
$0'8 < r < 1$	correlación muy alta
$0'6 < r < 0'8$	correlación alta
$0'4 < r < 0'6$	correlación moderada
$0'2 < r < 0'4$	correlación baja
$0 < r < 0'2$	correlación muy baja
$r = 0$	correlación nula

Fuente: Bisquerra

CAPÍTULO III RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

No hay un método único de Toma de Muestras, debido a la diversidad de ambientes naturales y los distintos objetivos del análisis. Sin embargo, existen algunas **NORMAS BASICAS** para obtener **MUESTRAS REPRESENTATIVAS**, que son descriptas a continuación

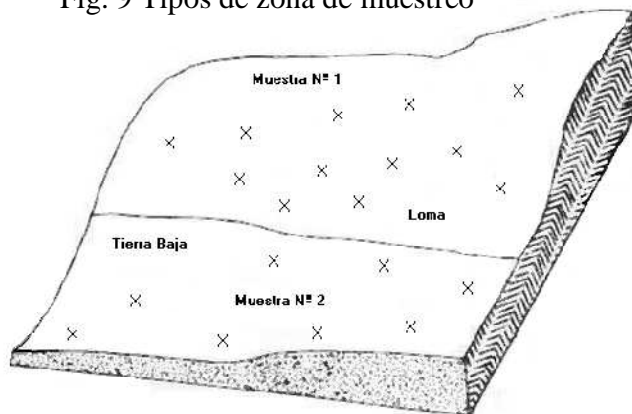
Paso 1: Diferenciar las áreas de muestreo

Se deberá realizar un relevamiento del terreno de manera de dividir el lote en áreas uniformes en lo que hace a la topografía. Tanto las **diferencias naturales** como ser relieve, la erosión, el color, la vegetación y las **diferencias de manejo** como ser tipo de labranza, fertilizaciones, rotaciones, tipos de cultivo; deben ser tenidas en cuenta.

Precauciones:

Si existen **MANCHONES** o **PROBLEMAS LOCALIZADOS**, considerar cada uno individualmente. Si estas superficies son tan pequeñas que no pueden ser tratadas por separado en el Manejo del Suelo, deben ser omitidas en el muestreo.

Fig. 9 Tipos de zona de muestreo



Paso 2: Materiales a utilizar

Se pueden utilizar:

- Palas
- Barrenos (o caladores), éstos resultan más prácticos ya que sacan muestras más uniformes, son rápidos y causan menos daño a la superficie del terreno. La única desventaja es que no son muy útiles en suelos muy secos, compactos.
- Bolsa de plástico resistente, balde o contenedor impermeable donde ir colocando las distintas submuestras que se van recolectando



Fig. 10

Fuente: Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007

Precauciones:

Rotular o identificar perfectamente las muestras (sobre todo si se toman muestras a distintas profundidades). No utilizar bolsas o contenedores que hayan contenido algún material que contamine la muestra.



Fig. 11
Recolección de muestras



Fuente: Tomada por el autor

Paso 3: Profundidad – Condiciones de humedad

Nunca muestrear luego de una lluvia. Esperar siempre entre 2 y 3 días.

Cuando el suelo se encuentra cercano a la Capacidad de Campo es cuando la extracción de la muestra se facilita. O sea que el suelo debe estar húmedo, pero no saturado ni barroso.

En cuanto a la profundidad habría que considerar lo siguiente:

Tabla 6

TERRENO OBJETIVOS DEL ENSAYO	PROFUNDIDAD
Contenido de humedad	10 - 15 (cm)
Limites	30- 50 (cm)
Granulometría	> 30 (cm)

Paso 4: Procedimiento

Luego de que se establecieron las áreas homogéneas como se explicó en el paso 1, se procede a obtener una muestra de cada una de ellas. Ésta muestra (conjunto) estará compuesta por suelo obtenido en campo sin alterar sus condiciones originales que presenta. Cuanto mayor es la cantidad de muestra que se tome, más representativa será para el fin del estudio.

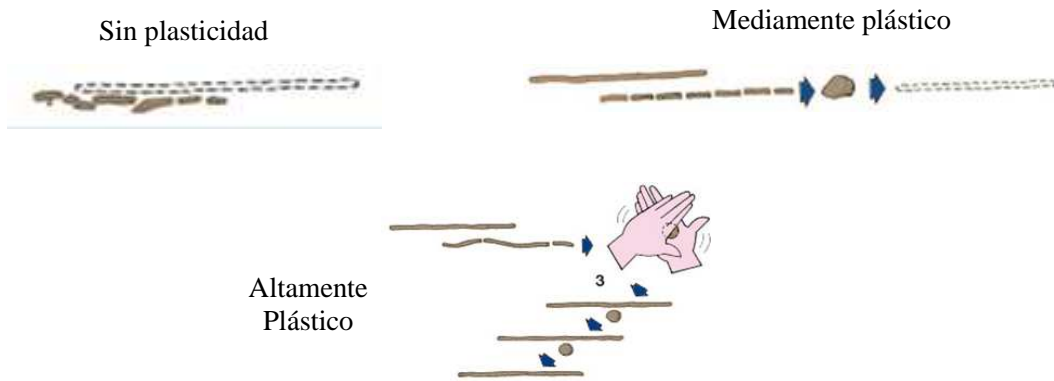
1. Determinación el número de muestras:

Para el fin del proyecto se optara por tomar 30 diferentes muestras cada una de un barrio en particular no con el fin de zonificar si no con el fin de encontrar la mayor cantidad de suelos arcillosos en la ciudad capital de Tarija provincia Cercado. La cantidad de muestra será de 5 Kg por cada punto para los diferentes ensayos que se practicaran en cada muestra para poder clasificarlos según sus diferentes características.

Extracción de muestras:

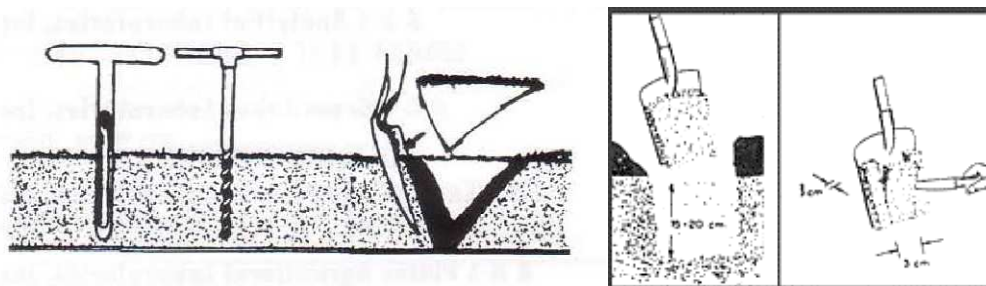
- En primer lugar se determinara si el suelo es plástico con un método visual y manual como se describe a continuación.

Fig. 11.1



- En cada punto elegido, **ELIMINAR LA COBERTURA VEGETAL**, limpiar la superficie del suelo descartando todo lo que sea rastrojo o restos de césped.
- Con una pala efectuar cortes como indican las figuras, hasta unos 50 cm de profundidad. Cavar una primera palada (haciendo un hoyo en forma de V) arrojándola al costado, y luego una segunda palada de 3 cm de grosor aproximado, descartando los bordes mediante un corte a cuchillo. Colocar en un balde o bolsa grande.
- Si se utilizan barrenos, introducir hasta la profundidad deseada y sacar directamente, colocar las muestras en una bolsa grande o un balde.

Fig. 12 Extracción de muestras



Fuente: Manual de laboratorio de suelos J. Boules

Paso 5: Embalaje – Identificación – Conservación –

Envasar las muestras en bolsas de plástico grueso o en bolsas de papel especiales para suelos (impermeables por dentro).

Consignar todos los datos relevantes a la muestra:

- Establecimiento.
- Número de lote.
- Barrio al que representa.
- Profundidad a la cual fue tomada.
- Observaciones y demás datos relevantes.

Muchas veces es conveniente utilizar doble bolsa plástica para evitar posibles roturas durante el manipuleo de la muestra.

Conservar la muestra en lugar fresco y enviar lo antes posible al Laboratorio. Cuanto menos tiempo transcurra, más fidedignos serán los resultados.

Si llegara a haber demoras, no mantener las muestras muy húmedas. Secarlas sobre una lona o plástico formando una capa no mayor a 2 ó 3 cm de altura, teniendo la precaución de deshacer los terrones.

Precauciones y normas general a tener en cuenta:

- No muestrear inmediatamente después de una lluvia (la humedad ideal del suelo debe ser de 25 % aproximadamente) o si el perfil del suelo está saturado, conviene siempre esperar 2 ó 3 días a que drene bien.

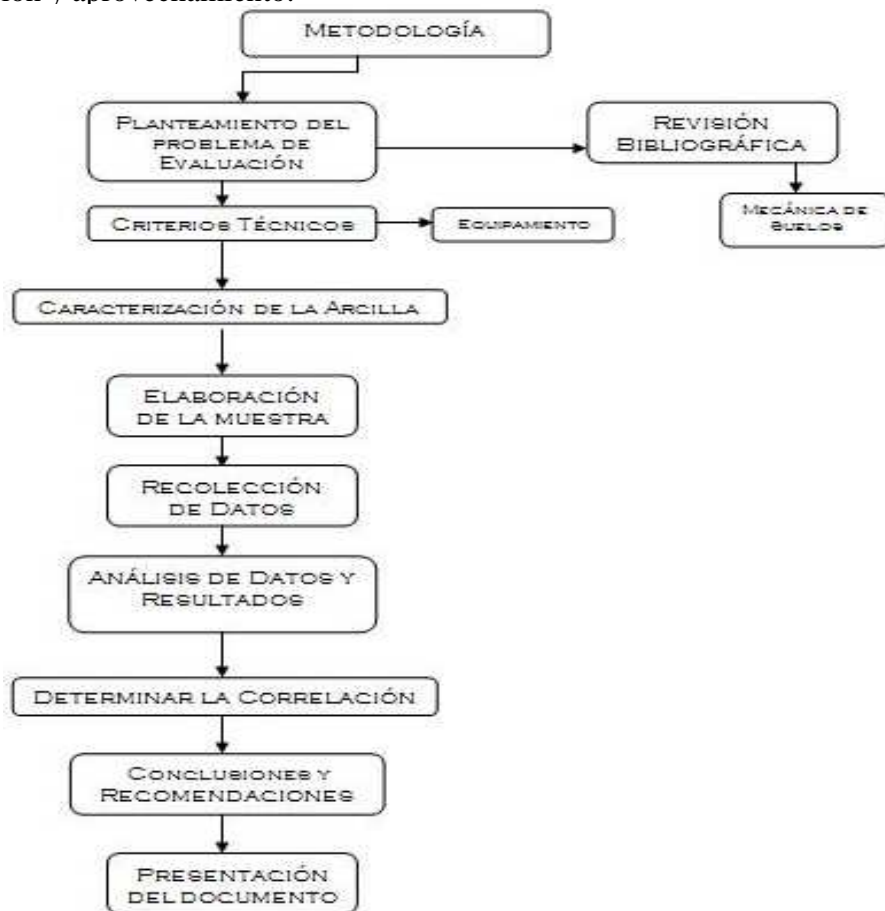
- Al extraer de las profundidades de más abajo (5-20 cm / 20-40 cm / 40-60 cm), convendrá quitar o separar la tierra que haya caído de más arriba para no contaminar las sub muestras.
- Tener especial cuidado de no mezclar las muestras de diferentes profundidades.
Es muy importante conocer la historia del campo y tener en cuenta las siguientes pautas:

PARA RECORDAR:

Uno de los aspectos más importantes para que el resultado de un análisis tenga validez es que éste se realice sobre una MUESTRA QUE REPRESENTE adecuadamente al SUELO en ESTUDIO.

3.2. PLAN ESTRATÉGICO DE TRABAJO

Para la realización del presente trabajo se realizó un esquema lógico estructural para una mejor organización y aprovechamiento.



Para el presente estudio se realizara cada trabajo conforme al cronograma ya establecido.

Los puntos a realizar son los siguientes:

- Introducción
- Consideraciones de las arcillas
- Definición de Parámetros
- Aplicación Practica
- Conclusiones y recomendaciones

→ **Introducción.**

Se realiza una introducción en forma teórica y practica del alcance del proyecto, así como la información requerida para emprender el proyecto como de antecedentes que sirvan para la buena ejecución del proyecto.

→ **Consideraciones de las Arcillas.**

Es importante el conocimiento a fondo de las características de las arcillas ya que es el tema principal del proyecto, es por esta razón que en esta sección se hará una recopilación de toda la información de las características que presenta un suelo arcilloso como ser:

- Reconocimiento visual (color, olor)
- Características físicas y químicas
- Tipos de clasificación

Todo esto con el fin de realizar una buena clasificación y toma de muestras en campo para su posterior estudio en el laboratorio de suelos.

→ Definición de Parámetros

La definición de cada uno de los parámetros es importante ya que delimitan el trabajo a realizar los parámetros que se definirán en el presente proyecto son los siguientes:

- Granulometría
- Limite Líquido
- Limite Plástico
- Limite de Contracción
- Índice de Plasticidad

Cada parámetro expuesto nos indica estudios que se deben realizar para obtenerlos, delimitando el trabajo a normas ya establecidas.

→ Aplicación Práctica

Con la información ya establecida se procede a realizar los siguientes pasos:

- a) Equipamiento necesario
- b) Zona de muestreo
- c) Recolección de muestras
- d) Clasificación y rotulado de muestras
- e) Realización de estudios en laboratorio
- f) Elaboración de planillas con los resultados obtenidos

a.- Equipamiento necesario.- Se debe tomar en cuenta que para la recolección de muestras se debe contar con el equipo necesario como ser palas, bolsas, cinta, rótulos, etc. Todo esto para tener los datos de una manera ordenada y segura para el técnico.

b. Zona de muestreo.- Determinar qué zonas de muestreo son las óptimas para la extracción de muestras para el presente proyecto, con el fin de optimizar el tiempo de ejecución.

c. Clasificación y rotulado de muestras.- Esto es importante ya que saber la procedencia de cada muestra será de crucial importancia para la determinación de los resultados y a las conclusiones obtenidas con el estudio.

d. Realización de estudios en laboratorio.- Con la finalidad de optimizar el tiempo de uso del laboratorio es bueno trabajar por grupos de muestras, para optimizar equipo, tiempo y material de trabajo.

f. Elaboración de planillas con los resultados.- Trabajar en gabinete con los resultados de las prácticas y su posterior consulta al docente guía, esto para eliminar o arreglar toda posible falla.

→ Conclusiones y Recomendaciones

Se llevara a cabo un estudio de los resultados así como la depuración y la interpretación de los resultados y comprobar si se llegó a cumplir los objetivos planteados en el estudio,

CRONOGRAMA DE TRABAJO



Estudio : ANALISIS BASICO PARA UNA CORRELACION ENTRE EL INDICE DE PLASTICIDAD Y EL LIMITE DE CONTRACCION EN SUELOS ARCILLOSOS
Estudiante : SANCHEZ VELASCO SAUL ARMANDO
Direccion : UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
Fecha de inicio : 07/02/11
Conclusion : 23/05/11
Dias de trabajo : 105 DIAS

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Nº	TAREA	DIAS	INICIO	FINAL	07/02/11	14/02/11	21/02/11	28/02/11	07/03/11	14/03/11	21/03/11	28/03/11	04/04/11	11/04/11	18/04/11	25/04/11	02/05/11	09/05/11	16/05/11	23/05/11	21/11/010	28/11/010
1	INTRODUCCION	10	07/02/11.	17/02/11.	█	█	█	█														
2	CONSIDERACIONES SOBRE LAS ARCILLAS	12	18/02/11.	02/03/11.		█	█	█	█	█												
3	DEFINICION DE PARAMETROS	15	03/03/11.	18/03/11.				█	█	█	█	█	█	█								
4	APLICACIÓN PRACTICA	58	19/03/11.	15/05/11.							█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	10	13/05/11.	23/05/11.																█	█	█

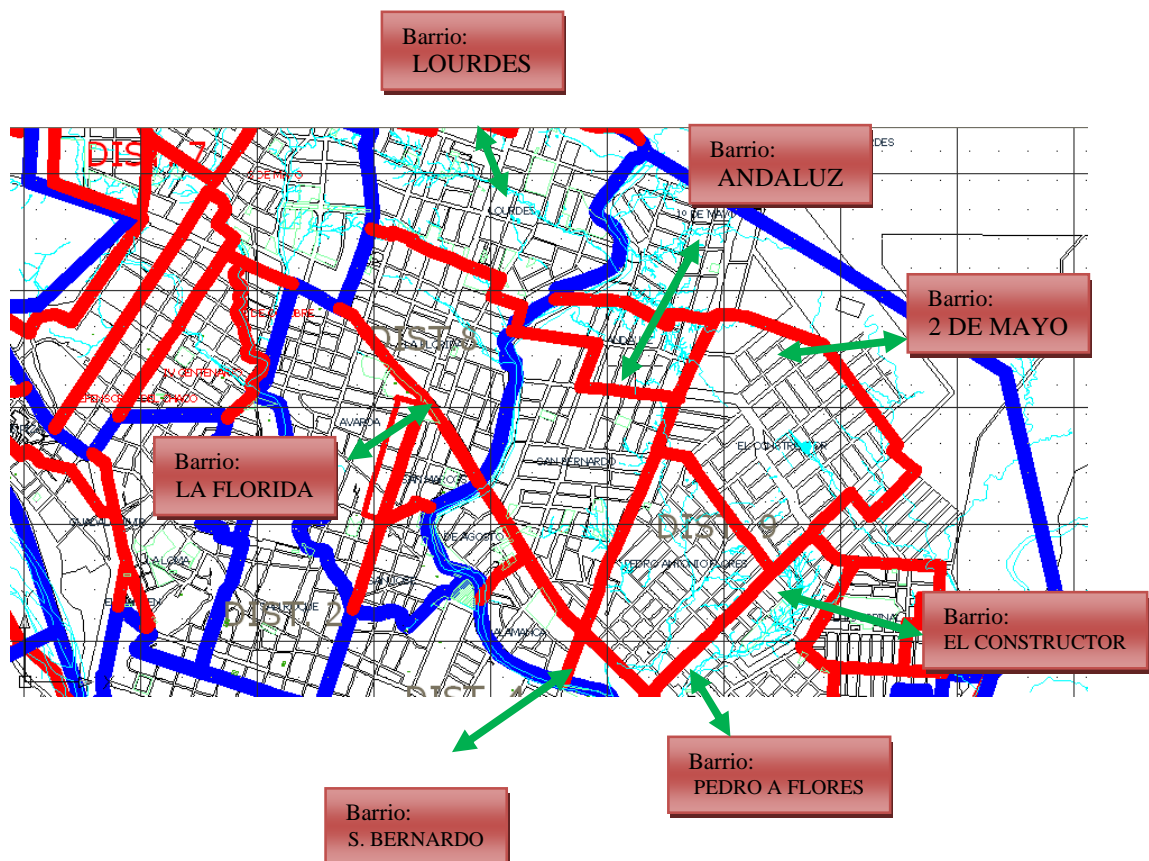
3.3. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO

La determinación de la zona de muestreo estará sujeta a 30 diferentes barrios de la ciudad de Tarija – Bolivia, barrios los cuales están en crecimiento.

Zona N°1:

Los barrios en los cuales se tomaron las muestras son los siguientes:

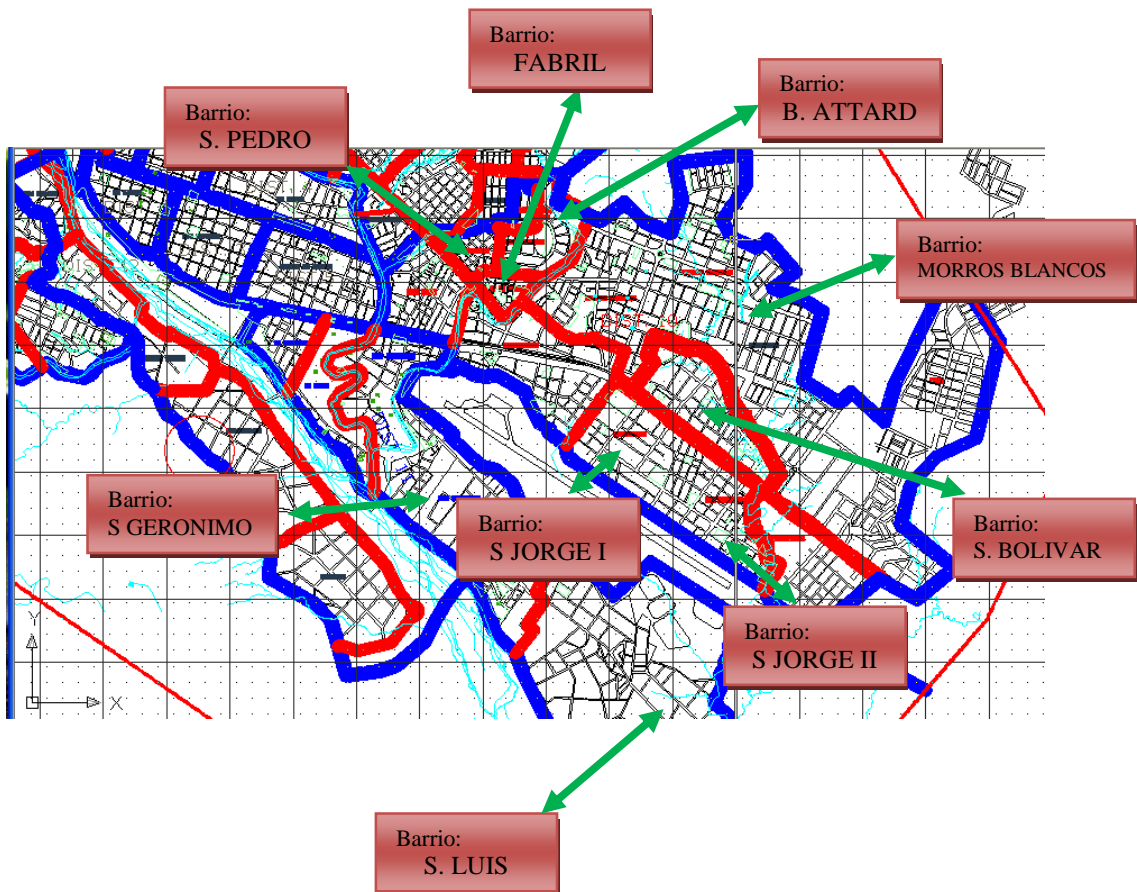
1. Barrio Lourdes
2. Barrio Andaluz
3. Barrio 2 de Mayo
4. Barrio El Constructor
5. Barrio Pedro Antonio Flores
6. Barrio San Bernardo
7. Barrio La Florida



Zona N°2:

Los barrios en los cuales se tomaron las muestras son los siguientes:

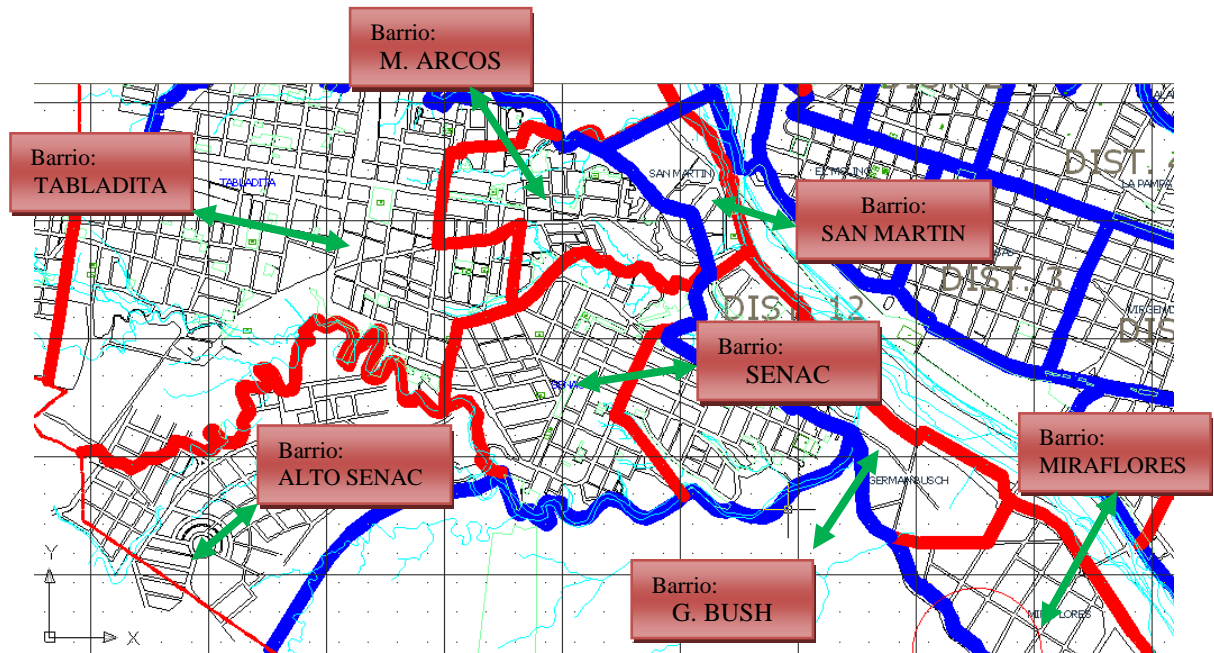
1. Barrio Fabril
2. Barrio Morros Blancos
3. Barrio Bartolomé Attard
4. Barrio San Gerónimo
5. Barrio San Jorge I
6. Barrio San Jorge II
7. Barrio San Luis
8. San Pedro
9. Barrio Simón Bolívar



Zona N°3:

Los barrios en los cuales se tomaron las muestras son los siguientes:

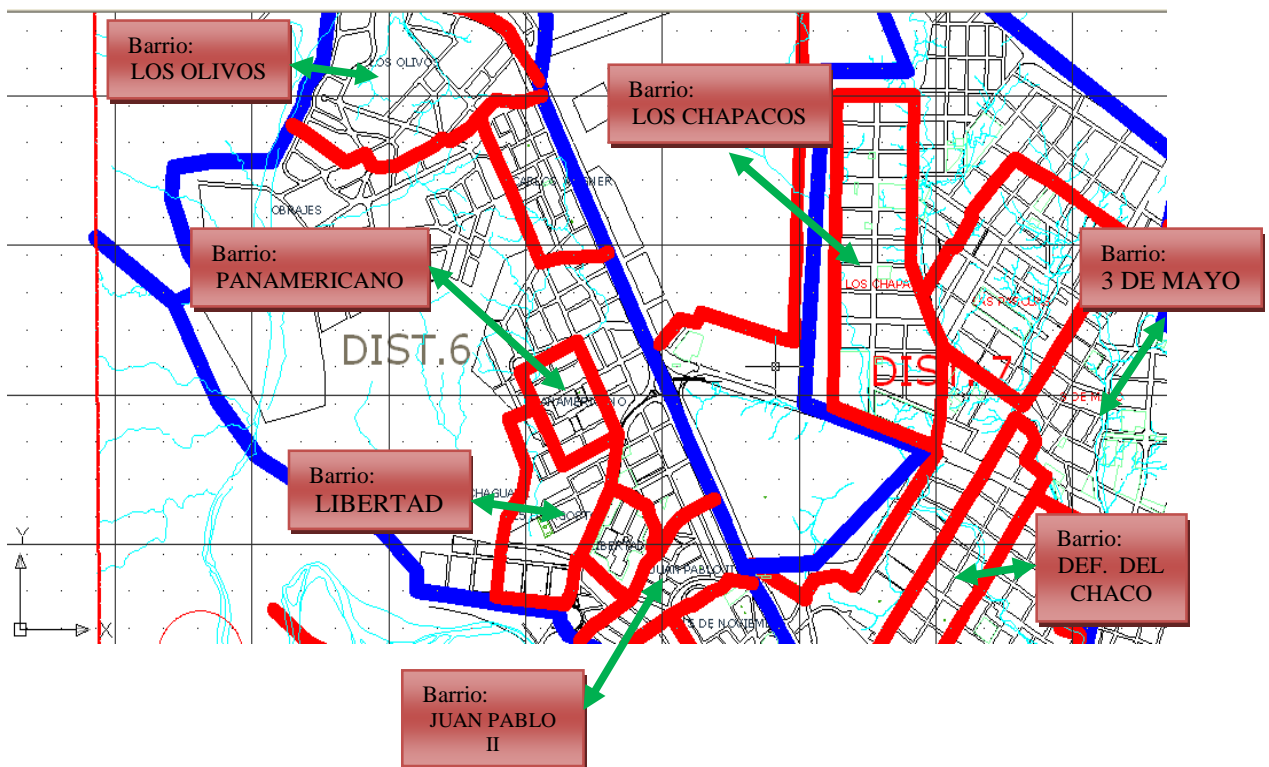
1. Barrio Alto Senac
2. Barrio Germán Busch
3. Barrio Méndez Arcos
4. Barrio Miraflores
5. Barrio San Martín
6. Barrio Senac
7. Barrio Tabladita



Zona N°4:

Los barrios en los cuales se tomaron las muestras son los siguientes:

1. Barrio Libertad
2. Barrio Defensores del Chaco
3. Barrio Juan Pablo II
4. Barrio Los Olivos
5. Barrio 3 de Mayo
6. Barrio Los Chapacos
7. Barrio Panamericano



3.4. EQUIPAMIENTO

3.4.1. Equipo Normalizado

El equipo para la ejecución estará en condiciones de operación según normas, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales a usar serán de calidad.

Descripción del material normalizado a usar para encontrar los Límites de Consistencia

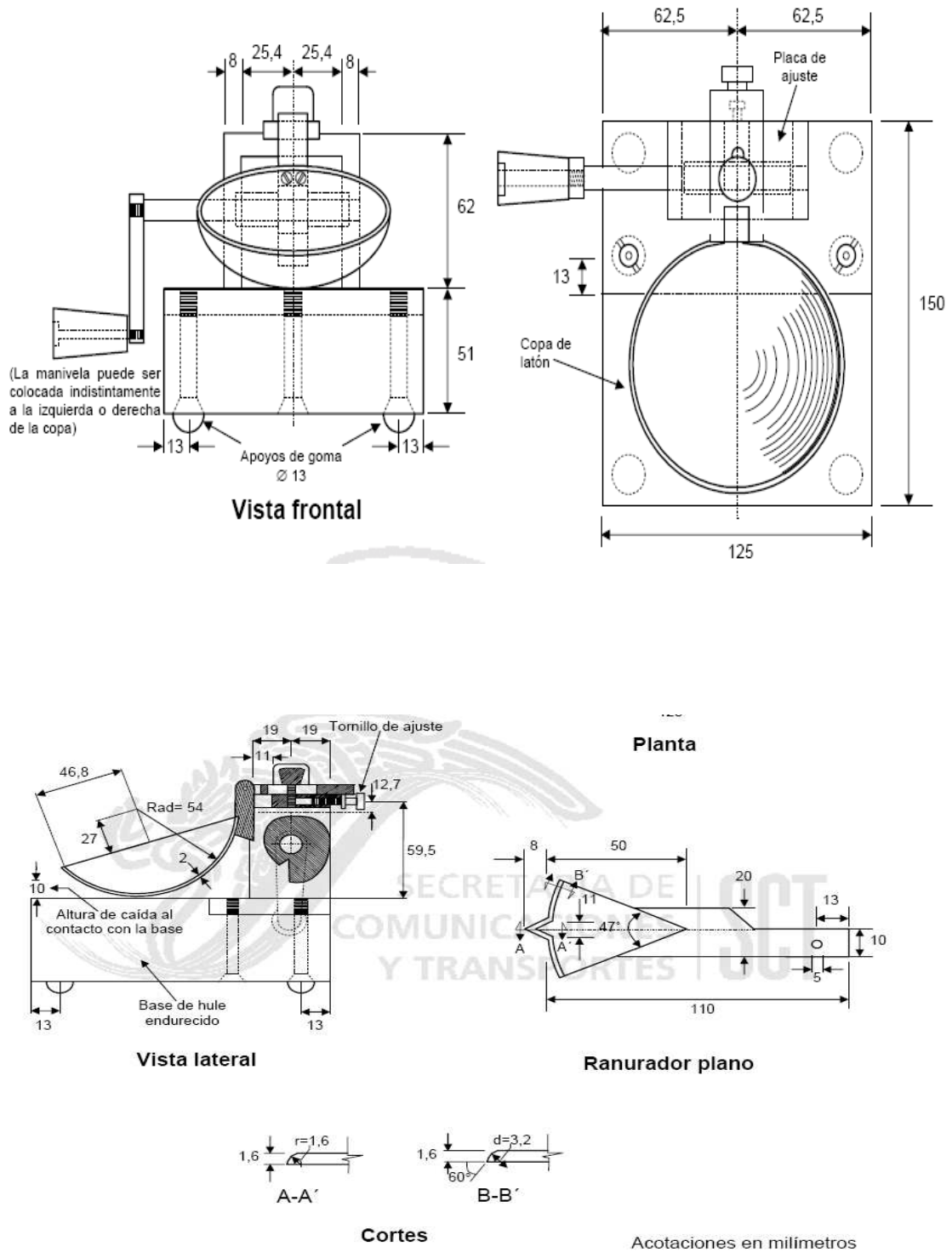
- **Malla N° 40**

Fabricada con alambres de bronce o de acero inoxidable, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura nominal de 0.425 mm, que cumpla con las tolerancias indicadas en la tabla 1 del manual M:MMP:1:06, *Granulometría de Materiales Compactables*. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lamina de bronce o latón, de 206 ± 2 mm de diámetro interior y 68 ± 2 mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50mm del borde superior del bastidor.

- **Copa de CASAGRANDE**

Calibrada para una altura de caída de 1 cm, provista por un ranurador con las características que se indican en la figura:

Fig. 17 Características de la copa de Casa Grande



- **Balanza**

Balanza de 6 000 gr de capacidad con una aproximación de 0.01 gr.

- **Horno**

Eléctrico o de gas, con termostato capaz de mantener una temperatura de 105 ± 5 °C.

3.4.2. Equipo no normalizado

Material de apoyo indispensable que en muchos casos no cuenta con características elementales en su forma, tamaño, color, etc, sino que sirven para el buen desarrollo del ensayo.

Descripción del material NO normalizado a usar para encontrar los Límites de Consistencia

Fig. 17.1

- **Vaso o recipiente**

De 0.5 L de capacidad



- **Cápsulas de Porcelana o metal**

De aproximadamente 10 cm de diámetro



- **Espátula Flexible**

De acero inoxidable, de aproximadamente 7.5 cm de longitud y 2 cm de ancho, con punta redonda.



Fig. 17.1

- **Cuentagotas**

De vidrio o metal



- **Vidrios de reloj**

Refractarios para el secado de material

- **Paño**

De material absorbente, de 60 x 60 cm.



- **Placa de Vidrio**

Con dimensiones mínimas de 40 x 40 cm.
por lado y 0.6 cm de espesor.



- **Alambre de Acero**

De 3 mm de diámetro.



- **Plato de goma o metal**

De aproximadamente 15 cm de diámetro.

- **Secador**

Pistola de calor o secador de pelo.



- **Guantes**

Guantes desechables o de goma para el manejo del mercurio



Fuente: Laboratorio de Suelos Y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA

Podríamos definir la arcilla como una sustancia mineral terrosa compuesta en gran parte de hidrosilicato de alúmina que se hace plástica cuando se humedece y dura y semejante a la roca cuando se somete al calor. Otra definición podría ser la disgregación y descomposición de las rocas feldespáticas durante millones de años para dar lugar a partículas pequeñísimas.

Son partículas finísimas menores de 0.002 mm, de diámetro, procedentes de la descomposición de rocas feldespáticas. La arcilla pura recibe el nombre de caolín. Una de las principales propiedades de la arcilla es su plasticidad, además de ser refractaria. Desempeña un gran papel en la construcción por ser una materia prima en la fabricación de cementos y de cerámica.

De acuerdo a su estructura, los minerales de arcilla se clasifican en tres grandes grupos:

- Caolinitas
- Montmorilonitas
- Ilitas

Caolinitas

La unión de sus partículas son suficientemente firmes para no permitir la penetración de moléculas de agua. Es decir son relativamente estable ante el agua.

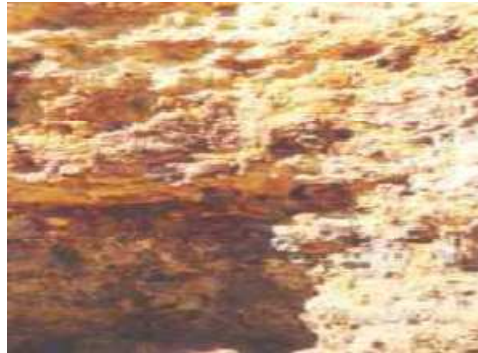
Fig. 18 Caolinita



Montmorilonitas

La unión de sus partículas son débiles, por lo que son susceptibles a ser afectados por el agua, a causa de las fuerzas eléctricas dipolares. Es decir son muy expansivas.

Fig. 19 Montmorilonitas

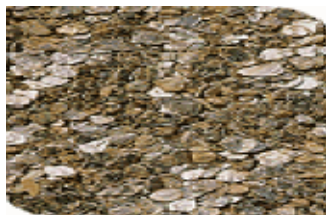


Fuente: Tomada por el autor

Ilitas

Su estructura es similar a la montmorilonitas, pero su constitución interna muestra tendencia a formar grumos de materia, reduciendo el área expuesta al agua. Por lo que su potencial de expansión es menor.

Fig. 20 Ilitas



Fuente: Tomada por el autor

Propiedades de la arcilla.

Plasticidad: Mediante la adición de una cierta cantidad de agua, la arcilla puede adquirir la forma que uno desee. Esto puede ser debido a la figura del grano (cuanto más pequeña y aplanada), la atracción química entre las partículas, la materia carbonosa así como una cantidad adecuada de materia orgánica.

Merma: Debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado.

Refractariedad: Todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.

Porosidad: El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo arcilloso al ser sometido a temperaturas elevadas.

Color: Las arcillas presentan coloraciones diversas debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico.

3.6. ELABORACIÓN DE PLANILLAS:

A continuación se incluye a modo de ejemplo algunas planillas Excel que pueden ser usadas para tomar datos y calcular los resultados de algunos ensayos de laboratorio.

Una forma de usarlas es imprimirlas y llenarlas a mano, efectuando los cálculos con calculadora.

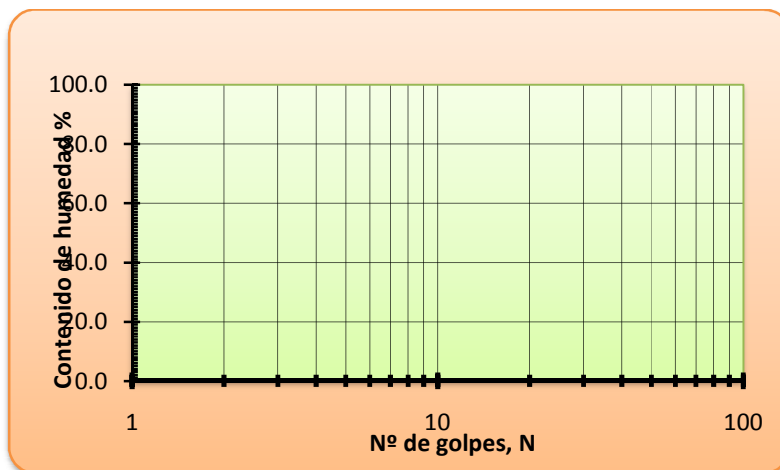
Otra forma es definir en las celdas adecuadas, las fórmulas descritas en las mismas planillas, con lo cual estas prestarán una verdadera utilidad.

En este caso no olvide grabar sus planillas modificadas, con otro nombre, y conservar las originales como respaldo.

Planilla Excel de:

Límite Líquido

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes				
Suelo Húmedo + Cápsula				
Suelo Seco + Cápsula				
Peso del agua				
Peso de la Cápsula				
Peso Suelo seco				
Porcentaje de Humedad				



Limite Plástico

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula			
Peso de suelo seco + Cápsula			
Peso de cápsula			
Peso de suelo seco			
Peso del agua			
Contenido de humedad			

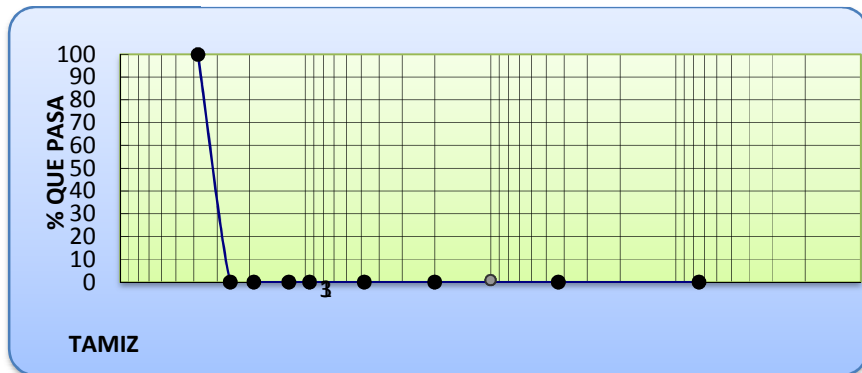
Limite de Contracción

Muestra N°1				pHg=	13.55	gr/cm3
Recipiente de contraccion				pAgua=	1	gr/cm3
		1	2	3		
Masa del recipiente de contracción Vacio	Mt=				gr	
Masa del recipiente con muestra humeda	Mw=				gr	
Masa del recipiente con muestra seca	MD=				gr	$m_{agua} = m_w - m_t$
Masa del suelo seco	Mo=				gr	$m_o (suelo seco) = m_D - m_t$
Masa del agua	Magua=				gr	
Masa del mercurio que llena el recipiente de contraccion	MR=				gr	
Volumen del suelo humedo	Vhum=				cm3	
Recipiente de Vidrio						$W_{desplazado} = W_{lleno} - W_{sobrante}$
		1	2	3		
Masa del mercurio que llena el recipiente de Vidrio	Mv=				gr	
Masa del mercurio mas el recipiente de Vidrio sobrante	Mv=				gr	
Calculo del limite de contraccion						$w(\%) = \left(\frac{(m - m_o)}{m_o} \right) \times 100$
		1	2	3		
Contenido de humedad inicial	w =				%	
Masa de Hg desplazada por la muestra	Wdes=				gr	$V_o = \frac{W_{desplazado}}{\rho_{Hg}}$
Vol desplazado o Vol muestra seca	Vo=				cm3	
$L_{contracción} = w - \left\{ \left[\frac{(V_h - V_s) * \gamma_w}{m_s} \right] * 100 \right\}$						
		1	2	3		
Limite de contraccion	Lc=				%	
Limite de Contraccion	Lc =				%	

Granulometría

-Método del Lavado

Peso Total (gr.)					
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
2 1/2"	63				
2	50.8				
1 1/2	38.10				
1	25.40				
3/4	19.05				
1/2	12.27				
3/8	9.50				
Nº4	4.80				
Nº10	2				
Nº40	0.43				
Nº200	0.075				



CAPITULO IV ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

4.1. PREPARACIÓN DE METODOLOGÍA.

4.1.1. Granulometría

4.1.1.1. Método del Lavado

Fig. 21 Tamiz “Método del Lavado”



Fuente: ELE International.
Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007.
Pág. 128



Fuente: Lab. Suelos y Hormigones
(Tomada por el autor)

Equipo a Utilizar

- Tamiz N°200 de 0.075 mm de abertura.
- Guantes de goma.
- Plato de evaporación

Procedimiento para realizar la prueba

- Obtener una muestra representativa del suelo (mayor a 500 g, pero muestras mayores son estadísticamente más representativas), colocaren el horno para que el contenido de humedad que exista desaparezca.
- Sacar la muestra del horno y colocarlo en el tamiz No. 200 de lavado, lavar cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común hasta que el agua que pasa a través del tamiz mantenga su transparencia. Es necesario ser cuidadoso en este proceso para evitar daños en el tamiz y la pérdida de suelo que eventualmente pueda salpicar fuera del tamiz.
- Verter cuidadosamente el residuo, con ayuda de agua, en un recipiente de secado y permitir por un período de tiempo suficiente hasta lograr que el agua en la parte superficial de la suspensión se vuelva transparente. Botar tanto como se pueda de esta agua transparente y colocar el recipiente con la suspensión suelo – agua en el horno de secado.
- Al día siguiente, pesar el residuo secado al horno. Hacer pasar la muestra a través de una serie de tamices que varíen desde los diámetros mayores hasta los diámetros inferiores en un agitador eléctrico automático o manualmente. Como el objetivo de la práctica es lograr una curva semilogarítmica del porcentaje de material más fino contra el tamaño de las partículas, será necesario obtener una distribución razonable de puntos a lo largo del rango potencial de diámetros presentes en la muestra.

Nota: Si hay gravas pequeñas en la muestra se puede utilizar el tamiz de 1 ½ plg antes del tamiz de ¾ plg en la serie. Para muestras con grava de gran tamaño, debería utilizarse una muestra mayor en conjunción con una adecuada serie de tamices.

- Retirar la serie de tamices del agitador mecánico y obtener el peso del material que quedó retenido en cada tamiz. Sumar estos pesos y comparar el total con el peso

obtenido en el paso cuatro (el residuo de material procedente del secado al horno con el cual se comenzó). Esta operación permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado mecánico. Si se tiene una pérdida más del dos por ciento con respecto al peso original se considera no satisfactorio.

- Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original obtenido en el paso uno, esto es válido ya que el material que haya pasado a través del tamiz No.200 pasaría cualquier otro por encima del mismo en la serie.
- Calcular el porcentaje que pasa (o el porcentaje más fino) comenzando por 100% y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulado.
- Trazar la curva granulométrica, colocando en el eje de las abscisas en escala semilogarítmica el diámetro en milímetros y en el eje de las ordenadas en escala aritmética el porcentaje que pasa.

Nota: Si menos del 12% del material pasa a través del tamiz No. 200, es necesario calcular el Cu y el Cc. Pero si más del 12% del material pasa a través del tamiz No. 200, es necesario hacer un análisis por sedimentación sobre el suelo y en este caso guardar los datos del mismo para poder completar la curva granulométrica.

Pasos en el ensayo del método del lavado

Fig. 22



(a)
Pesar 500 gr de suelo



(b)
Verter la muestra en el tamiz n° 200



(c)
Someter la muestra a la presión del grifo



(d)
Muestra retenida en el tamiz, para llevar al horno a una temperatura de 105 °C

Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

4.1.1.2. Análisis por sedimentación (Método del Hidrómetro)

El principal objetivo del análisis de hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 50% del material pasa a través del tamiz No. 200 no se utiliza como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva.

Equipo a Utilizar

- Cilindro de sedimentación (de 1,000 cm³), también conocido como probeta de hidrómetro.
- Hidrómetro 152H.
- Plato de evaporación y espátula.
- Agente dispersivo Hexametáfosfato de sodio (Na₆P₆O₄₀), cuyo nombre comercial es Calgón, o Silicato de sodio (Na₂SiO₃).
- Termómetro de mercurio.

Fig. 23

Hidrómetro modelo 152H ASTM



Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el Autor)

Procedimiento para realizar la prueba

- Realizar el análisis del hidrómetro modelo 152H *ASTM* , para conocer la corrección de cero y la corrección del menisco.
- Tomar 50 - 60 gr de suelo secado al horno y pulverizado (muestra de suelo que pase por el tamiz N° 200, 0.075 mm) y mezclarlo con 125 cm³ de solución al 4% de Na₂SiO₃.

Nota: La solución debe ser siempre fresca y en ningún caso debe ser preparada con más de un mes de anterioridad.

- Dejar secar la muestra de suelo cerca de una hora (la *ASTM* sugiere 16 horas para suelos arcillosos pero esto generalmente, es innecesario). En el plato de evaporación añadir el suelo y la solución de agente dispersante. Mezclarlo por espacio de un minuto si se emplearon entre 10 y 16 horas en la preparación de la muestra, de lo contrario mezclarlo entre tres y cinco minutos.
- Transferir el contenido del plato de evaporación a un cilindro de sedimentación (probeta de 1,000 cm³), teniendo mucho cuidado de no perder material en el proceso. Añadir agua común hasta completar la marca de 1,000 cm³ de cilindro. Preparar el cilindro patrón de control con agua común y 125 cm³ de la solución de dispersante al cuatro por ciento o la misma que se utilizó en el paso dos. Verificar que la temperatura del agua común sea igual para ambos cilindros, el de sedimentación y el de control.
- Tomar un tapón de caucho No. 12 o la palma de la mano para tapar la boca del cilindro donde se encuentra la suspensión de suelo y agitarla cuidadosamente por cerca de un minuto. Colocar sobre la mesa el cilindro, remover el tapón e inmediatamente insertar el hidrómetro y tomar lecturas con los siguientes intervalos de tiempo: cinco lecturas cada cinco minutos. Tomar igualmente lecturas del termómetro en los mismos intervalos de tiempo. Colocar el hidrómetro y el

termómetro en el recipiente de control (el cual debe encontrarse a una temperatura que no difiera en más de un grado Celsius del suelo). Tomar una lectura para corrección de menisco en el hidrómetro dentro del cilindro de control.

Nota: Es usual dejar el hidrómetro metido dentro de la solución de suelo durante las primeras dos mediciones y luego removerlo y volverlo a colocar para cada una de las siguientes dos mediciones. Sin embargo, el error que se introduce al dejar el hidrómetro metido entre la suspensión durante las cuatro mediciones es mínimo. Es necesario evitar en lo posible la agitación de la suspensión cuando se coloca el hidrómetro dentro de ella, colocándolo tan suavemente como para requerir alrededor de 10 segundos en realizar dicha operación.

- Tomar mediciones adicionales a los siguientes intervalos de tiempo: 60 minutos, 120 y 96 horas. Los intervalos sugeridos para tomar mediciones después de dos horas de comenzado el ensayo sólo son aproximados, ya que en realidad cualquier tiempo sería adecuado siempre y cuando sea tomado con suficiente espacio para permitir una dispersión satisfactoria de los puntos en la gráfica.
- Registrar la temperatura de la suspensión suelo – agua con una precisión de un grado Celsius para cada medición del hidrómetro. La práctica puede terminarse antes de las 96 horas a discreción, si el tamaño de las partículas D que se encuentran en suspensión sea del orden de 0.001 mm (se debe hacer simultáneamente el cálculo). Entre lectura y lectura del hidrómetro se debe guardar éste y el termómetro en el cilindro de control (el cual debe estar a la misma temperatura).
- Aplicar la corrección de menisco a las lecturas de hidrómetro y de la Tabla XXIII obtener los valores de L . Si G_s es desconocido, suponer un valor razonable entre 2.68 y 2.74. Hacer una selección tal que impida interpolaciones innecesarias en cualquier suposición. Con G_s y la temperatura del ensayo para cualquier lectura del hidrómetro, buscar en la Tabla XXII el valor correspondiente de K . Con los valores de K , L y el tiempo transcurrido t , para dichas lecturas, calcular los valores para D .

· Lectura corregida del hidrómetro.

$$R_c = R_a - \text{corrección cero} + C_T$$

Donde:

R_c = lectura corregida del hidrómetro

R_a = lectura real del hidrómetro

corrección cero = corrección cero del hidrómetro 152H

C_T = factor de corrección por temperatura (Tabla XXI)

· Hidrómetro corregido por menisco.

$$R = R_a + \text{corrección menisco}$$

Donde:

R = lectura corregida del hidrómetro por menisco

R_a = lectura real del hidrómetro

corrección menisco = corrección del menisco, hidrómetro 152H

· Velocidad de caída de las partículas.

$$v = \frac{L}{t}$$

Donde:

v = velocidad de caída de las partículas, en cm/min

L = profundidad efectiva del hidrómetro (Tabla XXIII)

t = tiempo transcurrido, en min

· Diámetro de las partículas más finas.

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} = \sqrt{v}$$

Donde:

D = diámetro de las partículas más finas

K = factor para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas (Tabla XXII)

v = velocidad de caída de las partículas, en cm/min

- Utilizando un valor corregido de R_c , calcular el porcentaje de material más fino correspondiente al diámetro de partícula D .

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{R_c \cdot \alpha}{W_s} \cdot 100$$

Donde:

R_c = lectura corregida del hidrómetro

α = factor de corrección para el peso unitario de los sólidos (Tabla XX)

W_s = peso del suelo, en g

- Utilizar los datos obtenidos de los anteriores pasos; diámetro de las partículas más finas y el porcentaje de material más fino, para dibujar la curva de porcentaje más fino contra tamaño de partículas (bien sobre el formato donde se dibujó la curva de distribución granulométrica por tamizado o sobre uno nuevo).

Nota: Tomar en cuenta que el porcentaje de finos es independiente de la cantidad de suelo utilizada, por lo tanto, el resultado del análisis de hidrómetro puede combinarse con el análisis mecánico. Si esto se hace, tener presente que el análisis mecánico utiliza una muestra mayor y debería resultar un peso mayor cuando se dibuja la curva de distribución granulométrica, a través de la región discontinua entre las dos ramas de la curva.

Muestra y solución patrón para el ensayo granulométrico por sedimentación

Fig. 24



Fuente: Laboratorio de Suelos Y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

Fuente: Laboratorio de Suelos Y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

Tabla 7 **Propiedades del agua destilada**

Temperatura °C	Peso unitario del agua g/cm ³	Viscosidad del agua poises ¹
4	1.00000	0.01567
16	0.99897	0.01111
17	0.99880	0.01083
18	0.99862	0.01056
19	0.99844	0.01030
20	0.99823	0.01005
21	0.99802	0.00981
22	0.99780	0.00958
23	0.99757	0.00936
24	0.99733	0.00914
25	0.99708	0.00894
26	0.99682	0.00874
27	0.99655	0.00855
28	0.99627	0.00836
29	0.99598	0.00818
30	0.99568	0.00801

¹Poise = dina-s / cm² = g / cm-s

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 58

Tabla 8 **Factores de corrección α para el peso unitario de los sólidos**

Peso unitario de los sólidos del suelo g/cm ³	Factor de corrección α
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.04
2.45	1.05

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 58

Tabla 9 Factores de corrección por temperatura C_T

Temperatura °C	C_T
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	0.00
21	+0.20
22	+0.40
23	+0.70
24	+1.00
25	+1.30
26	+1.65
27	+2.00
28	+2.50
29	+3.05
30	+3.80

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 58

Tabla 10 . Valores de K para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas

Temp. °C	Pesos unitarios de los sólidos del suelo (g/cm^3)							
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 58

Tabla 11

**Stokes en la determinación de diámetros de partículas con el hidrómetro
152H ASTM D422**

Lectura original del hidrómetro (corregida por menisco solamente) R	Profundidad efectiva L en cm	Lectura original del hidrómetro (corregida por menisco solamente) R	Profundidad efectiva L en cm	Lectura original del hidrómetro (corregida por menisco solamente) R	Profundidad efectiva L en cm
0	16.3	21	12.9	42	9.4
1	16.1	22	12.7	43	9.2
2	16.0	23	12.5	44	9.1
3	15.8	24	12.4	45	8.9
4	15.6	25	12.2	46	8.8
5	15.5	26	12.0	47	8.6
6	15.3	27	11.9	48	8.4
7	15.2	28	11.7	49	8.3
8	15.0	29	11.5	50	8.1
9	14.8	30	11.4	51	7.9
10	14.7	31	11.2	52	7.8
11	14.5	32	11.1	53	7.6
12	14.3	33	10.9	54	7.4
13	14.2	34	10.7	55	7.3
14	14.0	35	10.5	56	7.1
15	13.8	36	10.4	57	7.0
16	13.7	37	10.2	58	6.8
17	13.5	38	10.1	59	6.6
18	13.3	39	9.9	60	6.5
19	13.2	40	9.7		
20	13.0	41	9.6		

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 59

Fig. 25

Pasos en el ensayo del método del lavado



(a)

Pesar 50 gr de suelo que pase el tamiz N° 200



(b)

Preparar la solución de silicato de sodio (defloculante)



(c)

Muestra de suelo mas defloculante



(d)

Mezclar la solución por cinco minutos y enrasar



(e)

Sumergir el hidrómetro en la solución y tomar los datos correspondientes



(f)

Tomar la temperatura de la solución y del cilindro de control

Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

4.1.1.2.1. Peso Específico de los sólidos

El peso específico relativo de una sustancia es la razón de su peso al peso de igual volumen de agua. El peso específico de una masa de suelo o roca (peso específico de los sólidos) es la razón de la masa del suelo seco sobre su volumen y se designa por G_m y se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$G_m = \frac{W_s}{V} \left(\text{gr} / \text{cm}^3 \right)$$

Equipo a Utilizar

- Balanza con precisión de 0.01 gr.
- Equipo para límite de contracción (mercurio, taza de vidrio, vidrio de 3 puntas, plato de evaporación, guantes)
- Un cuchillo para labrar el espécimen
- Brocha para limpiar el espécimen

Muestras inalteradas, tomadas in situ para formar el espécimen de estudio.



Fig. 26



Fuente: Laboratorio de Suelos Y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

Procedimiento para realizar la prueba

- ❑ Labrar un espécimen de la muestra inalterada con el cuchillo, de forma de una galleta cilíndrica (como el espécimen de la prueba del límite de contracción).
- ❑ Registrar inmediatamente la masa del suelo en gramos (W_s).
- ❑ Enrasar la taza de vidrio con la placa de vidrio de tres puntas y tomar el peso del mercurio que llena el recipiente, para calcular el volumen inicial.
- ❑ Poner el espécimen sobre el mercurio y sumergir con la placa de tres puntas evitando que se forme burbujas.

- Anotar el peso del mercurio sobrante en la taza de vidrio el cual será el volumen sobrante, al dividir la masa sobre la densidad del mercurio, con un valor de $13.55 \text{ gr} / \text{cm}^3$.
- Restar el volumen inicial menos el volumen sobrante, para obtener el volumen del suelo seco.
- Dividir la masa del suelo entre el volumen del suelo para obtener la densidad del suelo (gr/cm^3)

Fig. 27



- Labrar el espécimen de forma circular (pastilla) y pesar el peso seco del espécimen.



- Calcular el volumen de la pastilla mediante el uso del método del mercurio.

Fuente: Laboratorio de Suelos Y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

4.1.2. Límites de Atterberg

Los límites de *Atterberg* son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

Atterberg dividió y consideró tres límites o estados de consistencia: el límite de contracción que es la frontera convencional entre el estado sólido y semisólido, el límite plástico que es la frontera entre los estados semisólido y plástico; y el límite líquido que se define como la frontera entre estado plástico y semilíquido. También se denomina al límite líquido como la frontera entre el estado plástico y líquido.

4.1.2.1. Límite Líquido

Equipo a Utilizar

Copa de *Casagrande* (ASTM D4318), copa esférica con un radio interior de 54 mm, espesor de 2 mm y peso de 200.20 g, incluyendo el tacón los cuáles giran en torno a un eje fijo unido a la base.

- Ranurador,
- Tamiz No. 40
- Cazuela de porcelana
- Recipientes para muestra de contenido de humedad.
- Balanza con precisión de 0.01 g
- Espátula con hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.
- Probeta con una capacidad de 25 cm³
- Horno capaz de mantener temperatura constante de 105 °C

Copa de Casagrande



Fig. 28

Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el Autor)

Figura 16. Probeta y pipeta para proveer cantidades controladas de agua

Fig. 29



Espátula con hoja flexible para alisar la muestra en la copa

Fig. 30



Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

Procedimiento para realizar la prueba

- Colocar el aparato de límite líquido o copa de *Casagrande* sobre una base firme y horizontal; para verificar la calibración de la copa. Ajustar la altura de la caída de la copa haciendo girar la manivela hasta que la tazase eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de un centímetro, adosado al ranurador, se verifica que la distancia entre el punto de percusión y la base sea de un centímetro exactamente. De ser necesario, se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el ajuste hasta obtener la altura de caída requerida. Si el ajuste es correcto se escuchará un ligero campanilleo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido debe realizarse un nuevo ajuste.
- La muestra de ensayo debe ser igual o mayor que 100 g y pasar completamente por el tamiz No. 40 (malla de 0.5 mm); obtenido de acuerdo con la norma *AASHTO* T87. Si la muestra contiene partículas de mayor tamaño, se deben eliminar.
- Extraiga por cuarteo, una muestra representativa de un tamaño que asegure una masa mínima de ensayo de 160 g de material. Se procede a agregar agua cuando sea necesario, revolver la muestra hasta obtener una pasta semilíquida homogénea.
- Se deja un tiempo de curado para que la fase líquida y sólida se mezcle homogéneamente o se debe mezclar con la ayuda de la espátula por aproximadamente 5 minutos para garantizar una mezcla homogénea. La cual depende del grado de plasticidad del suelo, existiendo la siguiente clasificación: suelos de alta plasticidad ≥ 24 h, suelos de plasticidad media ≥ 12 h, suelos de baja plasticidad ≥ 1 h.
- El límite líquido, se determina considerando que el suelo remoldeado a la humedad de límite líquido (%HLL), tiene una pequeña resistencia al corte de aproximadamente 0.02 kg/cm²; de tal modo que la muestra remoldeada necesita 25

golpes para cerrar dos secciones de una pasta de suelo de dimensiones especiadas por norma.

- Luego, colocando aproximadamente entre 50 y 70 g de muestra (pasta de suelo), en la copa y extendiendo la misma para evitar la incorporación de burbujas de aire con la espátula de hoja flexible. Encerrar y nivelar a una altura de un centímetro en el punto de mayor profundidad de la copa.

Nota: El nivelado a un centímetro implica un volumen de material aproximado de 16 cm³ y una longitud de surco, medida sobre la superficie nivelada de 63 mm.

- Reincorporar el material sobrante a la cazuela de porcelana y usando el ranurador, separar la mezcla depositada en la copa de la máquina en dos mitades según el eje de simetría de la copa; quedando una ranura de un centímetro a lo largo de 13 mm aproximadamente. Para una arcilla el surco se puede hacer de una sola vez, los limos pueden exigir dos o tres pasadas suaves antes de completarlo.
- Girar la manivela levantando y dejando caer la copa desde una altura de un centímetro a razón de dos golpes por segundo hasta que las paredes del surco sufran un cierre de un centímetro después de 25 golpes. Si el cierre del surco es irregular, descártelo.
- Retirar a aproximadamente 10 g de material que se junta en el fondo del surco, en un recipiente ya pesado con anterioridad depositar el material extraído y determinar su humedad (%H). Transferir el material sobrante desde la copa hasta la cazuela, donde se tiene el total de la mezcla homogénea. Limpiar y secar la copa de la máquina y el ranurador.

- Repetir todo el ensayo, con el mismo material, por lo menos cuatro pruebas adicionales y así tener suficiente información para formar el gráfico con una abscisa semilogarítmica, en la cual se ubicará el número de golpes; y en la ordenada una escala aritmética donde se ubica el porcentaje de humedad (%H).

- Los puntos obtenidos tienden a alinearse sobre una recta, lo que permite la determinación de la ordenada para la abscisa $N = 25$ golpes. Y este porcentaje de humedad se denomina como límite líquido.

Pasos en el ensayo del Limite Liquido

Fig. 31



(a)
Suelo colocado en la copa



(b)
Muestra del suelo con la ranura
Hecha con el ranurador



(c)
Ranura en la muestra del suelo



(d)
Cierre del surco a los N golpes



(e)
Toma de muestra en el cierre del surco



(d)
Tara con muestra para contenido de humedad

Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

4.1.2.2. Limite Plástico

Equipo a Utilizar

- Plato de evaporación de porcelana, con un diámetro de aproximadamente 120 mm
- Espátula con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.
- Placa de vidrio de 20x20 cm, aproximadamente.
- Cazuela para secado.
- Recipientes para muestra de contenido de humedad.
- Balanza con precisión de 0.01 g
- Probeta con una capacidad de 25 cm³
- Horno capaz de mantener temperatura constante de 105 oC
- Patrón de comparación, alambre o plástico de 3 mm
- Tamiz No. 40 *ASTM*

Fig. 32

Equipo para determinación de límite plástico



Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

Procedimiento para realizar la prueba

- La muestra necesaria para realizar este ensayo debe tener un peso aproximado de 20 g y pasar completamente por el tamiz No. 40 *ASTM*(0.5 mm).
- Tomar la muestra de ensayo del material completamente homogeneizado que pasa por el tamiz No. 40, colocar en el plato de evaporación y mezclar completamente con agua destilada (el agua común brinda muy buenos resultados para este tipo de ensayos), mediante la espátula hasta que la pasta se vuelva suficientemente plástica para moldearla como una esfera.
- Curar la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

Nota: En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de baja plasticidad este plazo puede ser mucho menor y en otros casos puede eliminarse mezclando durante 5 minutos la muestra.

- Tomar una porción de la muestra de ensayo acondicionada, de aproximadamente un centímetro cúbico.
- Amasar la muestra entre las manos y luego hacerla rodar con la palma de la mano sobre la placa de vidrio hasta conformar un cilindro de tres milímetros de diámetro aproximadamente, conformar dicho cilindro sólo con el peso de la mano (esto para perder mas rápido la humedad del cilindro).
- Cuando el cilindro alcance un diámetro de aproximadamente tres milímetros, doblar, amasar nuevamente y volver a conformar el cilindro.
- Repetir la operación hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente tres milímetros, en trozos de orden de 2.0 a 3.0 cm de largo y no pueda ser reamasado ni reconstruido.

- ❑ Repetir las etapas anteriores con dos porciones más de la muestra de ensayo, hasta obtener un número considerable de cilindros (3 a 4 cilindros por muestra).
- ❑ Reunir las fracciones del cilindro disgregado y colocarlas en un recipiente(tarro). Para determinar y registrar su humedad la cual será el porcentaje de humedad que corresponde al límite plástico.
- ❑ La falla o agrietamiento del cilindro se puede definir de las siguientes maneras; simplemente por separación en pequeños pedazos, por desprendimiento de escamas desde dentro hacia fuera del cilindro de suelo.

Fig. 33

Cilindro de suelo obtenido en el ensayo de límite plástico



Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el autor)

4.1.2.3. Limite de Contracción

Equipo a Utilizar

- Plato de evaporación. De porcelana, de aproximadamente 140 mm de diámetro.
- Espátula. O cuchillo, con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo por 20 mm de ancho.
- Molde. Cilíndrico, metálico o de porcelana, con el fondo plano y de aproximadamente 45 mm de diámetro y 13 mm de altura.
- Regla de enrase. De acero, de aproximadamente 150 mm de largo.
- Taza de vidrio. De aproximadamente 60 mm de diámetro y 30 mm de altura, con su borde superior pulido y esencialmente paralela a la base.
- Placa de vidrio. Con tres puntas para sumergir la muestra en el mercurio
- Probeta. Con una capacidad de 25 mm y graduada a 0.2 ml
- Balanza. Con una precisión de 0.01 g.
- Mercurio. Suficiente para llenar la taza de vidrio.
- Horno capaz de mantener temperatura constante de 105 °C

Procedimiento para realizar la prueba

Calibración del molde.

- Pesar y registrar la masa del molde vacío (mm), aproximado a 0.1 g.
- Determinar la capacidad del molde en cm³ (ml) llenándolo con mercurio, enrasando con una placa de vidrio plana y midiendo el volumen de mercurio que llena el molde por pesada y dividiendo por la densidad del mercurio ($\gamma_{Hg} = 13.55 \text{ g/cm}^3$). Registrar dicha capacidad como volumen de la pastilla de suelo humedo (Vh) aproximando a 0.01 ml.

Tamaño de la muestra de ensaye.

- Debe tener un tamaño en masa de aproximadamente 30 g

Acondicionamiento de la muestra de ensaye.

- Si solo se requiere determinar el límite de contracción, tomar la muestra de ensayo del material completamente homogeneizado que pasa por el tamiz N° 40 de 0.5 mm obtenido de acuerdo con la norma AASHTO 387-80.
- Colocar la muestra en el plato de evaporación y mezclar completamente con agua en una cantidad suficiente para llenar completamente los huecos del suelo y dejar el suelo suficientemente pastoso para colocarlo en el molde sin inclusión de burbujas de aire.

Nota: La humedad necesaria para alcanzar la consistencia requerida en suelos desmenuzables es igual o ligeramente superior a w_L y en suelos plásticos puede exceder a w_L hasta un 10% o estar por debajo de los 25 golpes de la copa de Casagrande.

- Curar la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

Nota : En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de baja plasticidad este plazo puede ser mucho menor y en algunos casos puede eliminarse con la , mezcla constante por 5 minutos.

Ensayo.

- Recubrir el interior del molde con una capa delgada de lubricante (por ejemplo, vaselina o aceite de silicón para prevenir la adherencia de suelo al molde).
- Colocar una porción de suelo húmedo de aproximadamente un tercio de la capacidad del molde en el centro de este y extenderlo hasta los bordes, golpeando el molde contra una superficie firme recubierta con papel secante o similar.
- Agregar una porción similar a la primera y golpear el molde hasta que el suelo este completamente compactado y todo el aire atrapado suba a la superficie.
- Agregar material y compactar hasta que el molde este completamente lleno y con exceso de suelo sobre el borde.
- Enrasar con la regla y limpiar posibles restos de suelo adherido al exterior del molde con un paño seco y limpio.
- Inmediatamente de enrasado, pesar el molde con el suelo compactado. Restar la masa del molde determinando la masa del suelo húmedo (mh). Registrar aproximando a 0.01 g.
- Dejar secar lentamente al aire hasta que la pastilla de suelo moldeado se desprege de las paredes del molde o hasta que cambie de color oscuro a claro.

- Secar en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante.

Nota: El secado en horno a 110 ± 5 °C no entrega resultados fiables en suelos que contienen en suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En estos casos es recomendable el secado en horno a aproximadamente 60 °C.

- Pesar el molde con el suelo seco. Restar la masa del molde determinando la masa del suelo seco (ms). Registrar aproximando a 0.01 g.
- Determinar el volumen de la pastilla de suelo seco.
- Llenar la taza con mercurio hasta que desborde, enrasar presionando con la placa de vidrio y limpiar los restos de mercurio adheridos al exterior de la taza;
- Colocar la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, colocar el trozo de suelo sobre la superficie del mercurio y sumergirlo cuidadosamente mediante las puntas de la placa de vidrio hasta que esta tope firmemente contra el borde de la taza. (Es esencial que no quede aire atrapado bajo el trozo de suelo ni bajo la placa de vidrio); y
- Medir el volumen de mercurio desplazado por el trozo de suelo por pesada y dividiendo por la densidad del mercurio ($\rho_{\text{Hg}} = 13,55 \text{ g/cm}^3$), registrarlo como volumen del trozo de suelo seco (V_s), aproximando a $0,01\text{cm}^3$ (0,01ml).

Fig. 34

Pasos en el ensayo del Límite de Contracción



(a)

Enrasar el molde con mercurio y pesarlo



(b)

Lubricar el molde con Vaselina



(c)

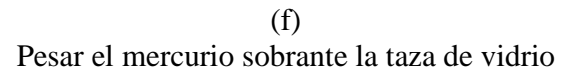
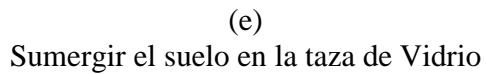
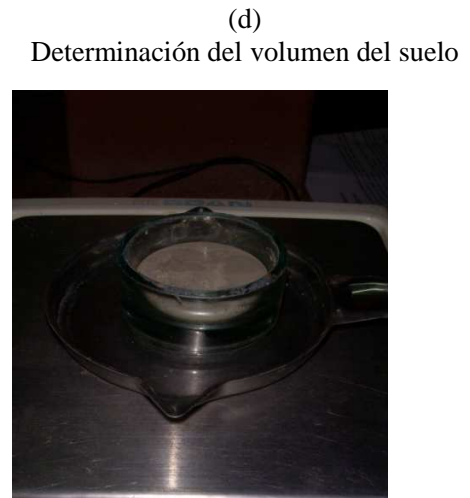
Llenar cada uno de los moldes de tercio en tercio golpeando sobre una superficie plana



(d)

Muestras ya secas por el horno a 105 °C





Fuente: Laboratorio de Suelos y Hormigones UAJMS (Tomada por el Autor)

4.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Los parámetros específicos o a los que estará sometido el presente estudio son los siguientes:

- Límite Plástico
- Límite Líquido
- Índice de Plasticidad IP
- Límite de Contracción LC

Limite Plástico

Contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico. Arbitrariamente, también se define como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro se rompe o se agrieta, cuando se enrolla a un diámetro aproximado de tres milímetros (1/8 plg), al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa.

Tabla 12

Tipo de Suelo	LP
Limo a Arcilla	5 % - 30 %
Arena	No Plastico

Fuente: <http://www.galeon.com/geomecanica/cap4.pdf>

Limite Líquido LL

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión.

Tabla 13

Clasificación de suelos finos en base a la Plasticidad

Índice de plasticidad	Límite líquido
Baja plasticidad	< 35%
Media plasticidad	35% a 50%
Alta plasticidad	50% a 70%
Muy alta plasticidad	70% a 90%
Extremadamente alta plasticidad	> 90%

Fuente: Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos

Cap. 8 - 162

Índice de Plasticidad IP

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica.

Tabla 14 **Clasificación de los suelos según su Índice Plástico (IP)**

Si $IP = 0$	Si no es posible determinar uno de los dos límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como No Plástico (NP).
Si $IP < 7$	El suelo tiene una baja plasticidad
Si $7 < IP < 17$	El suelo es medianamente plástico
Si $IP > 17$	Suelo altamente plástico

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 21

Limite de Contracción LC

Límite de contracción: humedad máxima de un suelo para la cual la una reducción de la humedad no causa disminución de volumen de suelo.

Tabla 15 **Clasificación de suelos expansivos con base al limite de contracción.**

Cambio de volumen	Limite de contracción	Índice de plasticidad
Probablemente bajo	> 12	0 - 15
Probablemente moderado	10 - 12	15 - 30
Probablemente alto	0 - 10	> 30

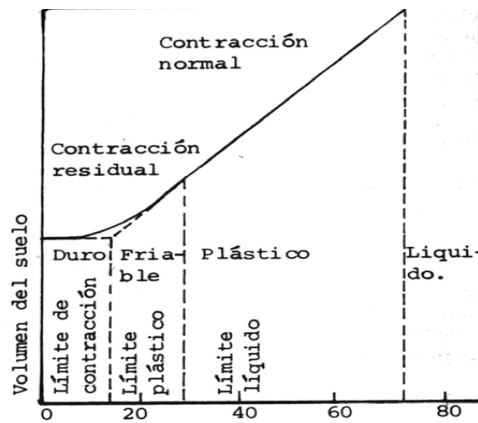
Fuente: (Juares& Rico, 1992)

Datos de pruebas de identificación		Grado de expansión
Limite de Contracción	Índice de Plasticidad	
> 35	< 11	Muy alto
25 - 41	7 - 12.	Alto
16 - 28	10 - 16.	Medio
< 28	> 15	Bajo

Fuente: Criterio de Holtz para estimar el cambio volumétrico probable en suelos expansivos (Juares& Rico, 1992)

Clasificación de límites de consistencia

Fig:35



4.3. ELABORACIÓN DE LA MUESTRA

4.3.1. Obtención del Índice Plástico (IP)

En el punto 4.1 (metodología), se explica claramente los pasos a seguir para obtener el IP índice de plasticidad, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 16

			LP	LL	IP
1	Barrio	Alto Senac	21.15	23.17	2.02
2	Barrio	Andaluz	20.19	22.49	2.3
3	Barrio	San Bernardo	21.13	24.47	3.34
4	Barrio	Tabladita	22.31	25.37	3.06
5	Barrio	Florida	23.02	27.58	4.56
6	Barrio	San Pedro	25.47	30.96	5.49
7	Barrio	Senac	23.65	29.52	5.87
8	Barrio	Morros Blancos	25.85	32.02	6.17
9	Barrio	Def. del chaco	28.22	34.71	6.49
10	Barrio	Miraflores	29.17	36.03	6.86
11	Barrio	German Busch	23.04	30.15	7.11
12	Barrio	2 de Mayo	23.85	31.29	7.45
13	Barrio	Fabril	25.88	33.21	7.81
14	Barrio	Simon Bolivar	25.4	34.24	8.59
15	Barrio	Panamericano	24.03	32.67	8.64
16	Barrio	Pedro A Flores	26.5	35.58	9.08
17	Barrio	Constructor	25.95	35.24	9.29
18	Barrio	Libertad	26.4	35.91	9.51
19	Barrio	Los Olivos	30.28	40.2	9.92
20	Barrio	San Geronimo	32.56	42.8	10.24
21	Barrio	Moto Mendez	25.82	36.49	10.67
22	Barrio	Lourdes	26.6	38.36	11.76
23	Barrio	San Luis	26.92	39.57	12.65
24	Barrio	San Martin	26.63	39.57	12.94
25	Barrio	3 de Mayo	28.34	41.64	13.3
26	Barrio	Mendez Arcos	28.69	42.39	13.7
27	Barrio	Los Chapacos	31.55	45.43	13.88
28	Barrio	San Jorge I	35.01	49.01	14
29	Barrio	San Jorge II	33.03	48.99	15.96
30	Barrio	Juan Pablo II	33.22	50.45	17.23

4.3.2. Obtención del Límite de Contracción (LC), Terzaghi

En el punto 4.1 (metodología), se explica claramente los pasos a seguir para obtener el LC límite de contracción, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 17


			LC
1	Barrio	Alto Senac	19.03
2	Barrio	Andaluz	19.1
3	Barrio	San Bernardo	20.21
4	Barrio	Tabladita	20.2
5	Barrio	Florida	21.09
6	Barrio	San Pedro	20.96
7	Barrio	Senac	21.02
8	Barrio	Morros Blancos	20.89
9	Barrio	Def. del chaco	20.97
10	Barrio	Miraflores	21
11	Barrio	Germán Busch	20.9
12	Barrio	2 de Mayo	21.25
13	Barrio	Fabril	20.44
14	Barrio	Simón Bolívar	19.93
15	Barrio	Panamericano	19.97
16	Barrio	Pedro A Flores	18.98
17	Barrio	Constructor	19.05
18	Barrio	Libertad	19.45
19	Barrio	Los Olivos	18.93
20	Barrio	San Gerónimo	17.92
21	Barrio	Moto Méndez	18
22	Barrio	Lourdes	16.86
23	Barrio	San Luis	14.99
24	Barrio	San Martin	13.96
25	Barrio	3 de Mayo	14.02
26	Barrio	Méndez Arcos	12.98
27	Barrio	Los Chapacos	12.54
28	Barrio	San Jorge I	12.54
29	Barrio	San Jorge II	9.09
30	Barrio	Juan Pablo II	6.51

4.4. ANÁLISIS DEPURATIVO DE DATOS

Índice de Plasticidad

En la siguiente tabla se observa que para cada una de las muestras se realizó 3 ensayos de índice de plasticidad IP, al igual que en el límite plástico LP, se tolera que haya una diferencia de $\pm 1\%$ entre cada uno de los ensayos en el presente estudio también se compartirá ese concepto para definir el índice de plasticidad IP.

Tabla 18

Nota: El color celeste  denota el valor depurado por tener una diferencia de $\pm 1\%$

N° de Ensayo	INDICE DE PLASTICIDAD			IP
	1	2	3	FINAL
2 DE MAYO	6.99	7.83	7.52	7.45
CONSTRUCTOR	9.46	8.83	7.55	9.28
LOURDES	11.84	11.60	11.79	11.74
SAN BERNARDO	3.38	3.22	3.41	3.32
ANDALUZ	2.33	2.45	2.13	2.30
FLORIDA	4.84	4.36	4.47	4.44
P. ANTONIO FLORES	9.07	9.46	7.51	9.08
FABRIL	7.91	7.64	7.89	7.81
MOTO MENDEZ	10.96	10.53	10.55	10.68
SAN JORGE I	13.56	14.12	14.31	14.00
SAN LUIS	12.47	12.52	13.02	12.67
SIMON BOLIVAR	8.66	8.24	8.86	8.59
MORROS BLANCOS	6.17	6.06	6.30	6.18
SAN GERONIMO	9.94	10.34	10.43	10.24
SAN JORGE II	15.21	16.29	16.39	15.96
SAN PEDRO	5.30	5.45	4.89	5.41

	INDICE DE PLASTICIDAD			IP
ALTO SENAC	2.01	0.99	2.09	2.04
MENDEZ ARCOS	13.37	13.84	13.87	13.69
SAN MARTIN	12.98	12.90	12.94	12.94
TABLADITA	3.92	4.54	4.83	4.23
GERMAN BUSCH	7.31	6.78	7.25	7.11
MIRAFLORES	6.88	6.82	6.89	6.87
SENAC	6.04	6.00	5.57	5.96
3 DE MAYO	13.23	13.25	13.41	13.30
JUAN PABLO II	17.13	17.56	17.01	17.23
LOS CHAPACOS	16.11	14.17	13.36	13.88
PANAMERICANO	8.68	8.98	8.27	8.64
DEF DEL CHACO	6.61	6.52	6.35	6.49
LIBERTAD	9.61	9.73	9.18	9.51
LOS OLIVOS	12.17	10.11	9.47	9.92

Limite de Contracción LC

En la siguiente tabla se observa que para cada una de las muestras se realizó 3 ensayos de límite de contracción LC, al igual que en el límite plástico LP, se tolera que haya una diferencia de $\pm 1\%$ entre cada uno de los ensayos en el presente estudio también se compartirá ese concepto para definir el límite de contracción LC.

Nota: El color naranja denota el valor depurado por tener una diferencia de $\pm 1\%$

Tabla 19

Nº de Ensayo	LIMITE DE CONTRACCION			LC
	1	2	3	FINAL
2 DE MAYO	21.54	24.84	22.16	21.25
CONSTRUCTOR	18.94	22.92	19.16	19.05
LOURDES	16.75	19.96	16.97	16.86
SAN BERNARDO	20.39	19.93	20.31	20.21
ANDALUZ	19.03	19.29	18.97	19.1
FLORIDA	20.97	21.07	21.23	21.09
P. ANTONIO FLORES	19.08	18.88	21.59	19.98
FABRIL	25.17	20.70	20.18	20.44
MOTO MENDEZ	17.65	18.35	20.17	18.00
SAN JORGE I	12.04	12.73	12.84	12.54
SAN LUIS	15.07	20.07	14.90	14.99
SIMON BOLIVAR	19.86	19.81	20.03	19.93
MORROS BLANCOS	20.79	21.08	20.82	20.89
SAN GERONIMO	18.51	17.33	21.04	17.92
SAN JORGE II	9.11	9.54	8.61	9.09
SAN PEDRO	20.92	20.46	21.40	20.96
ALTO SENAC	18.75	19.31	13.06	19.03
MENDEZ ARCOS	13.25	12.71	16.99	12.98
SAN MARTIN	14.16	13.76	17.64	13.96
TABLADITA	20.20	20.01	18.41	20.2
GERMAN BUSCH	20.95	20.18	21.58	20.9
MIRAFLORES	21.14	21.01	20.86	21.00
SENAC	20.96	21.18	20.91	21.02
3 DE MAYO	14.00	14.03	17.35	14.02
JUAN PABLO II	6.61	6.37	6.53	6.51
LOS CHAPACOS	12.54	17.84	12.54	12.54
PANAMERICANO	19.95	24.74	19.99	19.97
DEF DEL CHACO	20.85	25.39	21.08	20.97
LIBERTAD	19.11	19.69	19.54	19.45
LOS OLIVOS	19.20	18.67	21.00	18.93

4.5. DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN PARA ENCONTRAR EL LC

Correlación entre el Índice de Plasticidad IP y el Limite de Contracción LC

Tabla 20

			LC	IP
1	Barrio	Alto Senac	19.03	2.02
2	Barrio	Andaluz	19.1	2.3
3	Barrio	San Bernardo	20.21	3.34
4	Barrio	Tabladita	20.2	3.06
5	Barrio	Florida	21.09	4.56
6	Barrio	San Pedro	20.96	5.49
7	Barrio	Senac	21.02	5.87
8	Barrio	Morros Blancos	20.89	6.17
9	Barrio	Def. del chaco	20.97	6.49
10	Barrio	Miraflores	21	6.86
11	Barrio	German Busch	20.9	7.11
12	Barrio	2 de Mayo	21.25	7.45
13	Barrio	Fabril	20.44	7.81
14	Barrio	Simon Bolivar	19.93	8.59
15	Barrio	Panamericano	19.97	8.64
16	Barrio	Pedro A Flores	18.98	9.08
17	Barrio	Constructor	19.05	9.29
18	Barrio	Libertad	19.45	9.51
19	Barrio	Los Olivos	18.93	9.92
20	Barrio	San Geronimo	17.92	10.24
21	Barrio	Moto Mendez	18	10.67
22	Barrio	Lourdes	16.86	11.76
23	Barrio	San Luis	14.99	12.65
24	Barrio	San Martin	13.96	12.94
25	Barrio	3 de Mayo	14.02	13.3
26	Barrio	Mendez Arcos	12.98	13.7
27	Barrio	Los Chapacos	12.54	13.88
28	Barrio	San Jorge I	12.54	14
29	Barrio	San Jorge II	9.09	15.96
30	Barrio	Juan Pablo II	6.51	17.23

Para la determinación de la correlación entre el índice de plasticidad y el límite de contracción se optó por un programa estadístico, el cual lleva el nombre de Stat Graphics, del cual se observa que la línea de tendencia que más se aproxima a la tendencia de la curva es polinómica de grado 2 con una aproximación de 98 %. La cual se presenta más adelante

4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se presentara un resumen, e interpretación de resultados de los diferentes ensayos realizados.

Granulometría

Método Mecánico

Al tratarse el estudio en base a suelos finos y que mas del 35% del material pasa a través del tamiz N° 200, se emplea el método del lavado, llegando a obtener suelos con material limo arcillosos que comprenden según la clasificación AASHTO del grupo A-4 al A-7, y según la clasificación de suelos SUCS del grupo ML, CL y CH.

Método del Hidrómetro (Análisis por sedimentación)

Para el presente estudio es de mucha importancia conocer el porcentaje de arcilla del suelo en estudio es por esta razón que se realizo el ensayo del hidrómetro, obteniendo resultados óptimos al conocer el porcentaje de arcilla que contenía cada tipo de muestra, dándonos como rango un porcentaje de arcilla que va desde el 22.1% al 86.15%, con sus respectivas características de cada suelo.

Peso Especifico: Es necesario el cálculo de este valor ya que los suelos ensayados varían entre si por lo consiguiente se realizo la prueba utilizando formulas empíricas en función al peso y al volumen de las muestras haciendo uso del mercurio, obteniendo valores que oscilan de 2.70 – 2.90 gr/cm³. Como establece la bibliografía para suelos arcillosos.

Limite Líquido

Se puede clasificar al límite líquido de acuerdo a la siguiente clasificación:

- Compresibilidad baja: LL inferior a 30
- Compresibilidad media: LL de 30 a 50
- Compresibilidad alta: LL superior a 50

De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro estudio, se observa que se presentan límites líquidos de baja a media compresibilidad.

La compresibilidad es el grado en que una masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga

Índice de Plasticidad

Se puede clasificar al Índice Plástico de acuerdo a la siguiente clasificación:

Tabla 14 , **Clasificación de los suelos según su índice plástico (IP)**

Si $IP = 0$	Si no es posible determinar uno de los dos límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como No Plástico (NP).
Si $IP < 7$	El suelo tiene una baja plasticidad
Si $7 < IP < 17$	El suelo es medianamente plástico
Si $IP > 17$	Suelo altamente plástico

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 21

De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro estudio, se observa que se presentan Índices de Plasticidad de baja a media plasticidad.

Plasticidad, es la capacidad de deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico conservando la deformación al retirarse la carga o la capacidad de un suelo de obtener y conservar su forma cuando se lo moldea.

Límite de Contracción

Dentro de los valores que se clasifica al límite de contracción se tiene:

Tabla 15



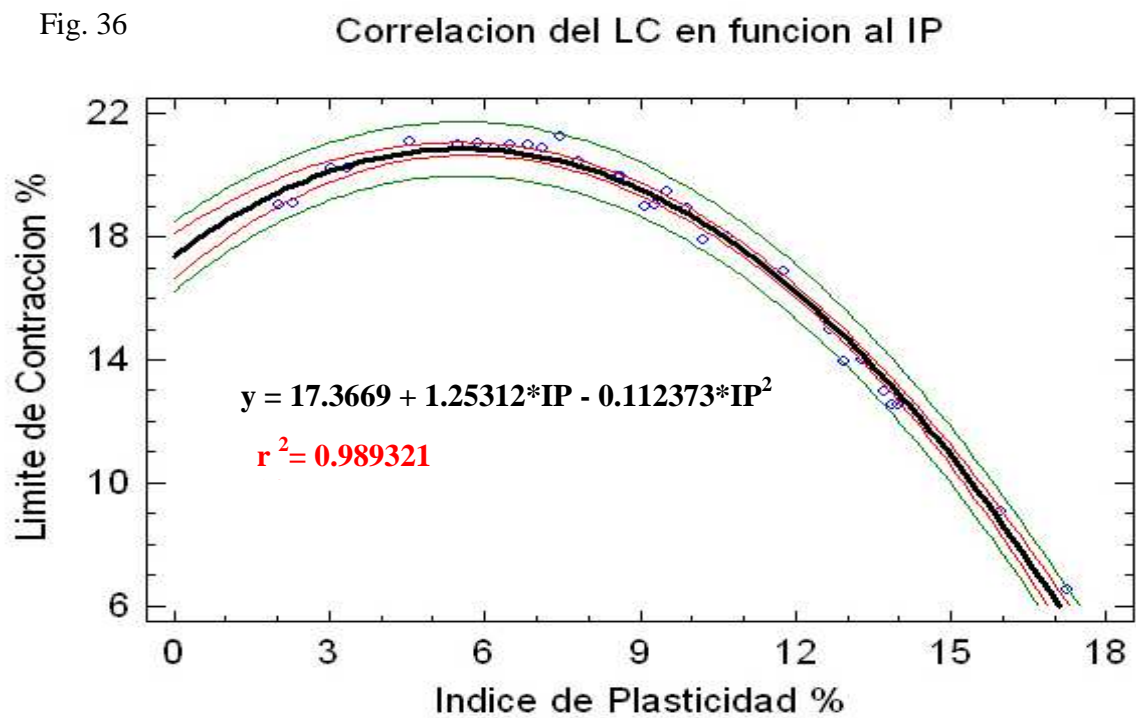
GRADO DE EXPANSIÓN	INDICE DE PLASTICIDAD IP	LIMITE DE CONTRACCION LC
Muy alto	> 35	< 11
Alto	25 - 41	7 - 12
Medio	15 - 28	10 - 16
Bajo	< 18	> 15

Criterio de W. G. Holtz

De acuerdo a lo expuesto se observa que a medida que la arcilla se incrementa el limite de contracción tiende a decrecer. Dentro del rango de expansión clasificamos a la serie de muestras que barias de bajo a alto.

4.7. PLANTEAMIENTO DE CURVA

En el presente grafico se muestra la tendencia de la curva para las abscisas el índice de plasticidad IP % y para las ordenadas el límite de contracción LC %, el cual contiene la ecuación de la curva que más se asemeja a la tendencia de la curva.



Regresión Polinomial - Limite de Contraccion % vs. Indice de Plasticidad %

Variable dependiente: Limite de Contraccion %

Variable independiente: Indice de Plasticidad %

Orden del polinomio = 2

Parámetro	Estimado	Error		Estadístico	Valor-P
		Estándar	T		
CONSTANTE	17.3669	0.353882	49.0755	0.0000	
Indice de Plasticidad %	1.25312	0.082353	15.2164	0.0000	
Indice de Plasticidad %^2	-0.112373	0.00434629	-25.8548	0.0000	

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	435.482	2	217.741	1250.71	0.0000
Residual	4.70054	27	0.174094		
Total (Corr.)	440.183	29			

R-cuadrada = 98.9321 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.853 por ciento

Error estándar del est. = 0.417246

Error absoluto medio = 0.325247

Estadístico Durbin-Watson = 1.02808 (P=0.0005)

Autocorrelación de residuos lag 1 = 0.379592

El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo polinomial de segundo orden para describir la relación entre Limite de Contracción % y Índice de Plasticidad %. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Limite de Contracción \%} = 17.3669 + 1.25312 * \text{IP \%} - 0.112373 * \text{IP \%}^2$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Limite de Contracción % y Índice de Plasticidad % con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 98.9321% de la variabilidad en Limite de Contracción %. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.853%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.417246. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 0.325247 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, hay una indicación de posible correlación serial con un nivel de confianza del 95%. Grafique los residuos versus el número de fila para ver si hay algún patrón que pueda detectarse.

Para determinar si el orden del polinomio es apropiado, primero note que el valor-P en el término de mayor orden es igual a 0.0. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, el término de mayor orden es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%. Consecuentemente, es probable que no quisiera considerar ningún modelo de orden menor.

Si derivamos la ecuación igualándola a 0 podemos obtener el índice plástico para el límite de contracción máximo.

$$y = 17.3669 + 1.25312*IP - 0.112373*IP^2$$

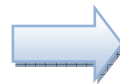
$$y = 17.3669 + 1.25312*IP - 0.112373*IP^2$$

$$y = 1.25312 - 0.112373 * 2 * x$$

$$0.224 * x + 1.253 = 0$$

$$x = 1.253/0.224$$

$$x = IP = 5.6 \%$$



$$LC = 20.86 \%$$

En un índice plástico igual a 5.6% se encuentra el límite de contracción máximo de 20.86 %

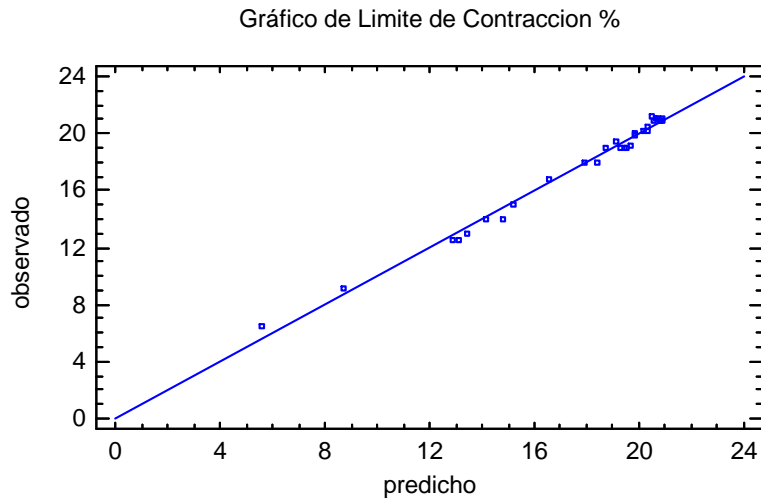
ANOVA para las Variables según Orden de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Índice de Plastic	319.105	1	319.105	1832.94	0.0000
Índice de Plastic	116.377	1	116.377	668.47	0.0000
Modelo	435.482	2			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la diferencia significativa de cada potencia de Índice de Plasticidad % conforme fue incluida en el modelo de regresión polinomial. Esta tabla puede usarse para ayudarle a determinar si un polinomio de menor grado sería suficiente para describir la relación observada entre Límite de Contracción % y Índice de Plasticidad %. Puesto que el valor-P correspondiente al término de orden 2 es menor que 0.05, esta tabla sugiere un modelo de orden 2 con un nivel de confianza del 95%.

Fig. 36



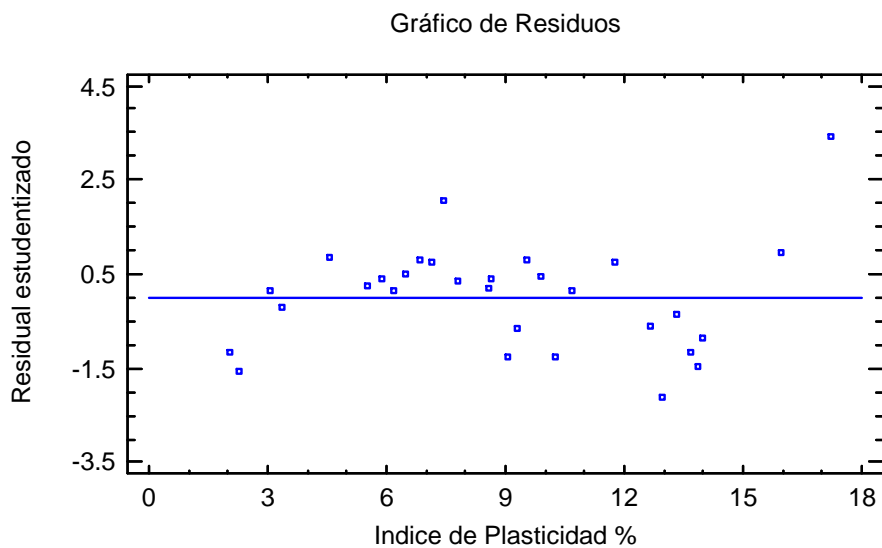
El StatAdvisor

Esta tabla muestra los valores predichos para Limite de Contraccion % usando el modelo ajustado. Además de las mejores predicciones, la tabla muestra:

- (1) intervalos de previsión del 95.0% para las nuevas observaciones
- (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones

Los intervalos de predicción y de confianza corresponden a las cotas internas y externas en la gráfica del modelo ajustado.

Fig. 37



			% Arcilla	LC	LP	LL	IP
1	Barrio	Alto Senac	22.03	19.03	21.15	23.17	2.02
2	Barrio	Andaluz	23.37	19.1	20.19	22.49	2.3
3	Barrio	San Bernardo	24.83	20.21	21.13	24.47	3.34
4	Barrio	Tabladita	26.16	20.2	22.31	25.37	3.06
5	Barrio	Florida	26	21.09	23.02	27.58	4.56
6	Barrio	San Pedro	26.54	20.96	25.47	30.96	5.49
7	Barrio	Senac	26.81	21.02	23.65	29.52	5.87
8	Barrio	Morros Blancos	27.51	20.89	25.85	32.02	6.17
9	Barrio	Def. del chaco	27.61	20.97	28.22	34.71	6.49
10	Barrio	Miraflores	27.81	21	29.17	36.03	6.86
11	Barrio	German Busch	28.09	20.9	23.04	30.15	7.11
12	Barrio	2 de Mayo	29.5	21.25	23.85	31.29	7.45
13	Barrio	Fabril	31.09	20.44	25.88	33.21	7.81
14	Barrio	Simon Bolivar	33.09	19.93	25.4	34.24	8.59
15	Barrio	Panamericano	34.21	19.97	24.03	32.67	8.64

			% Arcilla	LC	LP	LL	IP
16	Barrio	Pedro A Flores	35.03	18.98	26.5	35.58	9.08
17	Barrio	Constructor	34.45	19.05	25.95	35.24	9.29
18	Barrio	Libertad	41.07	19.45	26.4	35.91	9.51
19	Barrio	Los Olivos	42.64	18.93	30.28	40.2	9.92
20	Barrio	San Geronimo	45.23	17.92	32.56	42.8	10.24
21	Barrio	Moto Mendez	50.66	18	25.82	36.49	10.67
22	Barrio	Lourdes	55.36	16.86	26.6	38.36	11.76
23	Barrio	San Luis	58.4	14.99	26.92	39.57	12.65
24	Barrio	San Martin	62.62	13.96	26.63	39.57	12.94
25	Barrio	3 de Mayo	70.09	14.02	28.34	41.64	13.3
26	Barrio	Mendez Arcos	73.28	12.98	28.69	42.39	13.7
27	Barrio	Los Chapacos	73.34	12.54	31.55	45.43	13.88
28	Barrio	San Jorge I	74.19	12.54	35.01	49.01	14
29	Barrio	San Jorge II	82.35	9.09	33.03	48.99	15.96
30	Barrio	Juan Pablo II	86.77	6.51	33.22	50.45	17.23

4.8. APLICACIÓN PRÁCTICA

Se llevo a cabo el estudio de tres diferentes suelos, los cuales provienen de los siguientes barrios:

- Barrio San Blas
- Barrio Las Pascuas
- Barrio Unión

El objetivo es calcular el límite de contracción LC de las siguientes maneras:

1. Haciendo uso de la curva obtenida.
2. Mediante el método del Mercurio propuesta por el Dr. Karl von Terzaghi

Obteniendo los siguientes resultados:

Barrio	UNION	SAN BLAS	LAS PASCUAS
Limite Liquido LL	23	34.1	45.1
Limite Plastico LP	20	26.8	32.1
Indice Plastico IP	3	7.3	12.9

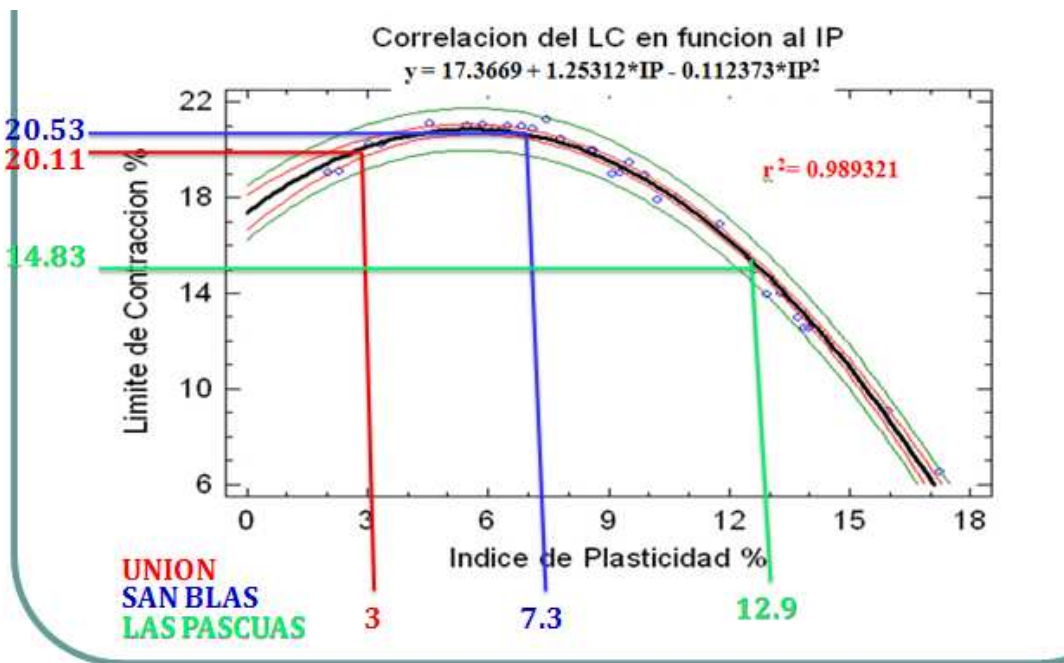


Uso de la
Correlación

Método del Mercurio

Barrio	UNION	SAN BLAS	LAS PASCUAS
Limite de Contracción	20.11	20.53	14.83

Barrio	UNION	SAN BLAS	LAS PASCUAS
Limite de Contracción	20.96	21.32	15.62



Uso de la correlación

Método del Mercurio

Barrio	UNION	SAN BLAS	LAS PASCUAS
Limite de Contracción	20.11	20.53	14.83

Barrio	UNION	SAN BLAS	LAS PASCUAS
Limite de Contracción	20.96	21.32	15.62

Tabla de Identificación y descripción de los daños ocasionados por la expansión

LIMITE DE CONTRACCIÓN "LC"	EXPANSION CAMBIO VOLUMETRICO EN %	POTENCIAL DE EXPANSION	EXPANSIÓN (cm)	DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO	ACCIONES A TOMAR
				Ancho de Grieta (cm)		
< 10	> 30	Muy Alto	> 8.0	> 7.50	1-2-3-5	a - b - c - d - e - f
6 - 12.	20 - 30	Alto	7.0 - 8.0	> 6.0	1-2-3.	a - b - c - f
10 - 18.	10 - 20.	Medio	3.5 - 7.0	1.50 - 6.0	4-3.	e - d - c
> 15	< 10	Bajo	1.3 - 3.5	< 1.50	5-4.	e - d

Daño	Descripción	Acciones a Tomar
1 Movimiento Céntrico	Ocurre el parte central de la estructura en una forma de domo con su valor máximo en el centro, asociado con una reducción de la evapotranspiración.	a Inundar el suelo en el sitio de manera que se produzca una expansión antes de la construcción.
2 Movimiento Perimetral	Forma un patrón de disco asociado al encharcamiento en la inmediación de sitios de construcción.	b Reducir la densidad del suelo mediante un adecuado control de la compactación.
3 Movimiento Cíclico	El movimiento está asociado al cambio continuo de humedad producido por precipitación y evapotranspiración.	c Reemplazar el suelo expansivo por uno que no lo sea.
4 Empuje Lateral	Se desarrolla como un empuje sobre un muro de contención, asociado al aumento del contenido de agua.	d Modificar las propiedades expansivas del suelo mediante diversos procedimientos: estabilización mediante cal, cemento o inyecciones.
5 Agrietamiento del Suelo	A causa de la contracción vertical y horizontal se genera esfuerzos de tensión que llegan a romper la resistencia del suelo y provoca grietas, disminuyendo los factores de seguridad de la construcción.	e Aislar el suelo de manera que no sufra modificaciones en su contenido de humedad.
		f Actuar sobre la estructura y a través de la selección de un diseño de cimentación apropiado.

Análisis de Resultados

Barrio	UNION	SAN BLAS	LAS PASCUAS
Limite de Contraccion	20.11	20.53	14.83

- El grado de expansión del suelo varia de grado bajo a medio.
- El daño ocasionado a una estructura ya construida varia de grietas menores a 6 cm, teniendo un grado de expansión en suelo natural de 10 – 20%.
- Los daños son causados por movimiento cíclico, empuje lateral, agrietamiento del suelo y las acciones a tomar son reemplazar el suelo expansivo por uno que no sea, modificar las propiedades expansivas del suelo mediante diversos procedimientos: estabilización mediante cal, cemento o inyecciones o aislar el suelo de manera que no sufra modificaciones en su contenido de humedad.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ❖ Con el ensayo en campo (prueba visual), determinamos que las muestras recolectadas presentan una plasticidad ligera a muy plástica. Evidenciando así la presencia de suelo arcilloso en las zonas de muestreo de cada uno de los barrios periféricos de la ciudad de Tarija.



- ❖ Según la clasificación AASHTO las muestras presentan una granulometría que varía de A-5 hasta A-7 y en la clasificación unificada SUCS varía de un ML, CL lo que nos indica que se trata de suelos finos con contenido de arcilla en su estructura.
- ❖ El cálculo del límite líquido nos da un parámetro de la compresibilidad existente en el suelo, el cual nos indica el grado en que una masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga, en nuestro estudio dentro de las 30 muestras se presenta una compresibilidad de media a baja.

Tabla. 14

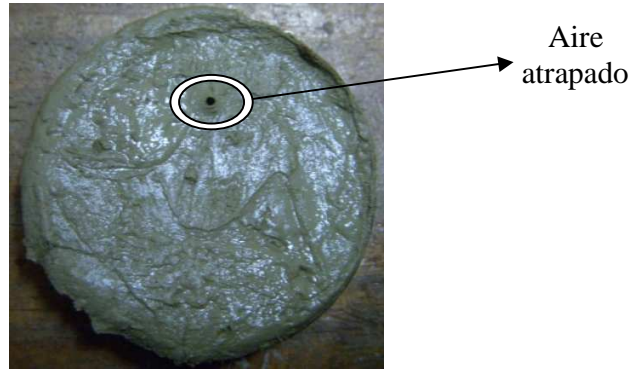
Si $IP = 0$	Si no es posible determinar uno de los dos límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como No Plástico (NP).
Si $IP < 7$	El suelo tiene una baja plasticidad
Si $7 < IP < 17$	El suelo es medianamente plástico
Si $IP > 17$	Suelo altamente plástico

Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 21

- ❖ Un incremento en la cantidad de arcilla provoca el incremento del índice de plasticidad ya que la arcilla aumenta el rango en el que el suelo se comporta plásticamente.

- ❖ Un valor erróneo en el cálculo del volumen es debido a que las burbujas de aire contenidos en la pastilla en el momento de su elaboración no fueron extraídas adecuadamente, lo cual se puede observar visiblemente en la superficie de cada pastilla.

Fig. 39



- ❖ Al observar cada uno de los recipientes de contracción se nota la diferencia que hay entre el suelo y la superficie interna del recipiente identificando fácilmente que suelos presentan más contracción que otros y que suelos deben ser retirados para la realización de la prueba.
- ❖ A medida que hay un incremento de arcilla en el suelo el límite de contracción decrece esto es debido a que a mayor contenido de arcilla el suelo se hace más vulnerable a los cambios volumétricos en presencia de agua.
- ❖ El espectro del límite de contracción varía de 19.03% para la muestra del barrio Senac a 6.51% para la muestra del barrio Juan Pablo II, el valor mayor nos indica que el suelo tolera una mayor cantidad de agua antes de sufrir un cambio en su volumen y el valor inferior nos indica que la tolerancia al contacto con el agua es menor lo que llevaría a un cambio rápido en su volumen.
- ❖ Un límite de contracción con un valor menor a 10 nos indica que el suelo tendrá una expansión muy alta provocando grietas mayores a 7.5 cm provocadas por movimiento céntrico, perimetral, cíclico, empuje lateral o por agrietamiento en el suelo, un valor mayor a 15 nos indica que el suelo presentará una expansión baja

causando grietas menores a 1.5 cm. quizás provocada por el agrietamiento del suelo

Fig. 40

o por empuje lateral sobre un muro después de una precipitación.



- ❖ El estudio tiene un espectro en suelos arcillosos que presentan una variación del índice de plasticidad entre 2 – 17%. Por lo tanto con la sola identificación del índice de plasticidad se puede obtener de forma directa el límite de contracción.
- ❖ Se llegó a cumplir el objetivo principal proponiendo una correlación para la obtención del límite de contracción en base a una curva la cual nos presenta una ecuación en función del índice de plasticidad para el rango de 2 a 17.23%.

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Es necesario que la muestra de suelo se obtenga bajo condiciones adecuadas, en lo que se refiere a extracción, manejo y transporte. Debido a que la muestra al perder humedad y no reflejaría las propiedades reales del suelo *in situ*; y como consecuencia, los resultados de cualquier ensayo no serán los esperados.
- ❖ Utilizar los instrumentos adecuados para la manipulación y preparación de las muestras, previo a la realización del ensayo, ya que una muestra bien preparada refleja la exactitud y confiabilidad de los resultados.
- ❖ Procurar la calibración, mantenimiento y cuidado del equipo de laboratorio para la elaboración de los ensayos; de este modo se asegurará una adecuada obtención de datos. Asimismo, elaborar las gráficas de las pruebas de la manera más exacta posible, para evitar errores que puedan transformarse en datos poco confiables.
- ❖ Para la granulometría se sugiere que en el método del lavado la presión del grifo sea adecuada ya que mucha presión puede provocar el desalojo de partículas del tamiz al exterior provocando una pérdida de material. Es recomendable lavar el material no por un tiempo determinado, sino hasta que se observe, que el agua que pase a través del tamiz sea clara.
- ❖ Para el caso de la granulometría por hidrómetro, una dispersión incompleta del suelo en la suspensión o agitación insuficiente provocaría que los resultados sean afectados. Evitar la perturbación de la suspensión cuando se introduce o se remueve el hidrómetro. Tal perturbación es muy corriente que ocurra cuando el hidrómetro se extrae rápido después de una lectura o si el tamaño de la muestra excede las cantidades recomendadas. El hidrómetro debe estar suficientemente limpio. La presencia de polvo o grasa en el vástago del hidrómetro puede impedir el desarrollo de un menisco uniforme también el calentamiento no uniforme de la suspensión lo que provocaría una variación excesiva de la temperatura de la suspensión durante el ensayo, esto puede ocurrir dependiendo de la ubicación de la probeta.

- ❖ Para el límite líquido sólo es necesario obtener entre tres y cuatro puntos a diferentes contenidos de humedad, conjuntamente con el número de golpes necesarios para cerrar la ranura correspondiente, colocar estos datos en un diagrama semilogarítmico y establecer la proyección lineal insinuada por dicho punto para el contenido de humedad correspondiente a una cuenta de 25 golpes (LL). Es evidente que mientras más cercano alrededor de la cuenta de 25 se encuentre el intervalo de puntos experimentales, mayor será la confiabilidad del valor. Es más fácil agregar agua a una muestra de suelo y homogenizar que agregar suelo seco a una masa que ya se encuentra húmeda y que deba ser secada para obtener un conteo de golpes en el ensayo en la parte seca o sea superior a los 25 golpes.

- ❖ En el límite plástico, si la disgregación (agrietamiento) se produce cuando tiene un diámetro mayor que tres milímetros, puede considerarse como si la muestra carece de humedad o en lo contrario si la muestra está por debajo de los tres milímetros y no muestra ningún agrietamiento se considera como si la muestra contiene mucha humedad. Se recomienda efectuar tres determinaciones que no difieran entre ellas en más del uno por ciento, en caso contrario deberá ser depurado el valor erróneo o repetirse el ensayo. Para reducir esta falla de procedimiento no es necesario reducir la velocidad de amasado y/o presión de la mano para llegar a los tres milímetros de diámetro es más conveniente utilizar papel para aumentar la velocidad de pérdida de humedad del espécimen en estudio. Los suelos de muy baja plasticidad son una excepción, en este sentido ya que llega a presentarse agrietamientos muy rápidamente.

- ❖ En la obtención del límite de contracción se recomienda efectuar tres determinaciones que no difieran entre ellas en más del uno por ciento, en caso contrario deberá ser depurado el valor erróneo o repetirse el ensayo. Es necesario sacar todo el aire atrapado en la tara, ya que provocaría variación de volumen de la muestra así como que la pastilla se llegue a rajarse o fisuras inutilizando la misma para el estudio. Si después del secado en el horno la pastilla tiene rajaduras es necesario desechar la

muestra ya que en esas rajaduras el mercurio penetra sin dificultad lo que provoca un incremento de volumen de mercurio y la pérdida del mismo. El manipuleo del mercurio debe ser contemplando las precauciones debidas como el uso de barbijo, guantes y lentes ya que los gases que despiden esta sustancia es tóxica. El equipo no normalizado se recomienda que sea de plástico, porcelana o vidrio ya que el mercurio se adhiere a algunos metales.

- ❖ Debido al alza de precios de los metales a nivel mundial, el mercurio se cotiza en un precio elevado por gramo aun mas su obtención en el mercado boliviano, es así que en base a esta correlación se obtiene el límite de contracción de una forma más rápida, económica y segura para el laboratorista por la toxicidad del mercurio.
- ❖ La presente investigación presenta un espectro de aplicación mencionado en anteriores capítulos, no siendo esta una limitante si no se presta a futuros estudios para ampliar el rango de aplicación o apoyar a similares proyectos.
- ❖ Con el presente estudio se promueve el interés de los estudiantes de proyecto de grado, a investigar e incrementar sus conocimientos en brindar nuevos métodos para el cálculo de propiedades del suelo, colaborando así con el enriquecimiento de conocimiento de la carrera de ingeniería civil de la U.A.J.M.S.

5.3. BIBLIOGRAFÍA

1. Berry, Peter L. y David Reid. **Mecánica de Suelos**. Colombia: Editorial McGraw-Hill, 1993. 415
2. Bowles, Joseph E. **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil**. México: Editorial McGraw-Hill, 1981. 213 pp.
3. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Quinta Edición. México: Editorial Limusa, 2005. 650 pp.
4. Das, Braja M. **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica**. México: Editorial Thomson Learning, 2001. 594 pp.
5. Das, Braja M. **Principios de Ingeniería de Cimentaciones**. Cuarta Edición. México: International Thomson Editores, 2001. 862 p
6. Juárez Badillo, Eulalio y Alfonso Rico Rodríguez. **Mecánica de Suelos, Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos**. Tercera Edición. México: Editorial Limusa, 2005. 642 pp.
7. Juárez Badillo, Eulalio y Alfonso Rico Rodríguez. **Mecánica de Suelos, Tomo 2, Teoría y aplicaciones de la Mecánica de Suelos**. Tercera Edición. México: Editorial Limusa, 2003. 703 pp.
8. Lambre, William y Robert Whitman. **Mecánica de Suelos**. México: Editorial Limusa, 2005. 582 pp.

→ **Referencia Electrónica**

9. <http://biblio2.ugb.edu.sv/bvirtual/10983/capitulo7.pdf>
Marzo 2011

10. URL:<http://www.monografias.com/trabajos15/suelosconsistencia/suelos-consistencia.pdf>
Abril 2011

11. <http://labsuelosuni.edu.pe/pdf/ponencia3.PDF>
Abril 2011

12. <http://uson.mx/digital/tesis/docs/8659/Capitulo2.pdf>
Mayo 2011

13. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3282/5/53973-5.pdf>
Mayo 2011

- 14. <http://lauca.usach.cl/doocc/mdidacti/ms2.htm>**
Mayo 2011

0