



**UNIVERSIDAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DESCARTES**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**PLAN DE ESTUDIOS**

**INGENIERÍA CIVIL**

**LEYENDA**

**TESINA PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO**

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS MEDIANTE EL USO DE CALIZA  
ALTERADA (CALICHE), PARA SU EMPLEO EN MEJORAMIENTOS EN DIVERSAS  
EN OBRAS CIVILES.**

**PRESENTA**

**ALVARO LARA JOSÉ MARTIN**

**ASESOR**

**JOSÉ INOCENTE ESPINOZA VICENTE**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS: JUNIO 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios**

Agradezco su amor y su infinita bondad, por permitirme hoy sonreír ante este logro. Gracias por tantas pruebas porque me han enseñado y han hecho de mí una mejor persona.

### **A mis Padres**

Cuando se trata de agradecer el amor, los valores, el impulso, la motivación, el cuidado, la protección, los desvelos y el sacrificio sin duda pienso en ti mamá, a ti papá por tus historias, vivencias y experiencia compartida que me ha enseñado a superar muchos obstáculos. Me siento afortunado de tenerlos como papas y eternamente agradecido por su apoyo.

### **A mi Hermana**

Siempre ha sido una bendición en mi vida, gracias por ser mi cómplice en muchas aventuras, por entender mis ratos de silencio, por dejarme compartir contigo mis momentos de tristeza y de alegrías. Eres parte de este gran logro y quiero expresarte que estoy preparado de ser parte de tus propios logros.

### **A mi Novia**

A ti Amor por ser parte de este proyecto, por tu apoyo y compañía; no ha sido fácil y tú has sido testigo de ello, porque a través de tu amor y comprensión me motivabas a no desistir, y sobre todo a dar lo mejor de mí, mil gracias.

### **A mi Asesor**

Expreso un especial agradecimiento al Ing. José inocente Espinoza Vicente, asesor de la elaboración de la presente tesina, por su invaluable apoyo para guiar cada una de mis ideas; admiro su profesionalismo, su amplio conocimiento y su gran calidad humana. No puedo pasar por alto agradecerle haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo en su laboratorio todos los estudios necesarios para este proyecto. “El arte de enseñar, es el ayudar a descubrir”, gracias por ayudarme; gran parte de este trabajo se lo debo a usted.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I MARCO CONTEXTUAL.....	3
1.1. GENERALIDADES .....	3
1.2. PROBLEMÁTICA .....	8
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.4. OBJETIVO GENERAL .....	10
1.5. OBJETIVO ESPECIFICO .....	10
1.6. HIPÓTESIS .....	10
CAPITULO II MARCO TEORICO .....	11
2.1. ANTECEDENTES.....	11
2.2. DEFINICION DEL SUELO.....	12
2.2.1 CLASIFICACION DE SUELOS .....	14
2.2.2. CARACTERISTICAS DE SUELOS EXPANSIVOS .....	16
2.2.3. CAUSAS QUE ORIGINAN LA EXPANSIVIDAD DE SUELOS .....	17
2.2.4. COMO IDENTIFICAR SUELOS EXPANSIVOS.....	17
2.2.5. FALLAS POR SUELOS EXPANSIVOS .....	19
2.2.6. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS.....	21
2.3. EXPANSIVIDAD .....	22
2.4. ARCILLA .....	22
2.5. LUTITA .....	23
2.6. QUE ES LA CALIZA .....	24
2.6.1. PARA QUE SE UTILIZA LA CALIZA .....	25
2.7. NORMA MEXICANA .....	27
2.7.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....	28
2.8. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES .....	29
CAPITULO III METODOLOGIA.....	31
3.1. ESTABILIZACION DE SUELOS .....	31
3.1.1 ESTABILICACION MECANICA.....	33
3.2 VARIANTES DE LAS PRUEBAS (pruebas AASHTO).....	34

3.2.1. PREPARACION DE LA MUESTRA.....	35
3.2.2. PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS .....	35
3.3. ENSAYE DE COMPACTACION PORTER.....	38
3.4. ANALISIS GRANULOMETRICO .....	40
3.4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR .....	40
3.4.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA PRUEBA.....	41
3.4.3. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA. ....	42
3.4.4. CRIBADO DE LA FRACCIÓN DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°4 .....	43
3.5. PROCEDIMIENTOS .....	49
3.5.1. LIMITE LÍQUIDO .....	49
3.5.2. LIMITE PLASTICO .....	50
3.6. EQUIPO.....	52
3.6.1. DESCRIPCCION DEL EQUIPO.....	52
3.7. LIMITACIONES .....	54
CAPITULO IV.- RESULTADOS Y EXPERIENCIAS .....	55
4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS MATERIALES .....	55
4.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA ARCILA LUTITA – CAFÉ TONO CLARO .....	55
4.1.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA CALIZA ALTERADA – CAFÉ A TONO BLANQUIZCO .....	59
4.1.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA ARCILLA NEGRA (NO SE USO PARA EL ANALISIS) .....	63
4.1.4. ANALISIS DE MUESTRA DE ARCILLA NEGRA, QUE SE PLASMA PARA DIFERENCIAR EL PORCENTAJE DE PLASTICIDAD DEL MATERIAL, PERO NO SE EMPLEO PARA EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACION. ....	65
4.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS Y PRUEBAS INDICE DE LAS MEZCLAS REALIZADAS .	67
4.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS Y PRUEBAS INDICE DE LA MEZCLA 60 – 40.....	68
4.2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA MEZCLA 70 – 30 .....	71
4.2.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA MEZCLA 80 – 20.....	74
4.3. TABLAS DE LÍMITES.....	77
4.3.1. TABLAS DE LIMITES DE MATERIALES DE LOS SUELOS EN ESTADO NATURAL .....	77
4.3.2. TABLAS DE LÍMITES DE LAS MEZCLAS .....	78
4.4. PRUEBAS PORTER .....	79

<b>CONCLUSION .....</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>
<b>GLOSARIO DE TERMINOS. ....</b>	<b>98</b>

## INTRODUCCIÓN

En esta tesis del tema de Estabilización de suelos expansivos mediante el uso de caliza alterada (caliche), donde se especifica en los capítulos los objetivos, el concepto de estudio en el cual se establece la justificación y el planteamiento del problema.

Retomando un poco acerca del contenido redactado e investigado en donde se explica acerca de los daños estructurales causados por las arcillas expansivas a las obras de ingeniería, cimentaciones o pavimentos, que causan pérdidas económicas sustanciales y un inadecuado servicio de las construcciones. Este problema ha sido y es motivo de la investigación experimental enfocada a la caracterización, mitigación de riesgos geotécnicos y posible solución de la estabilización mediante el uso de la caliza alterada (CALICHE).

En el capítulo dos se menciona de forma general los factores que influyen en el efecto de la expansión que pueden dividirse en dos grupos. El primero incluye las condiciones estratigráficas y las propiedades intrínsecas del suelo: tipo de mineral arcilloso, tamaño y superficie específica de partículas, contenido de arcilla y contenido de agua. El segundo grupo abarca las condiciones ambientales: precipitación, evaporación y temperatura.

En el capítulo tres se presenta los pasos en la obtención de los resultados, especificando el uso de los procedimientos realizados, las estabilizaciones que se llevan a cabo, el uso del equipo y descripción de este. Teniendo en cuenta que también están las limitaciones que se presentaron en el proceso y las formas de las aplicaciones, otro punto importante es el procedimiento para la determinación de las propiedades índice (límite líquido, índice plástico, contracción lineal y valor relativo de soporte (VRS)), que es la base para obtener y comparar las variables de los resultados de un suelo natural contra un suelo estabilizado.

En el capítulo cuatro se especifican los ensayos y resultados obtenidos en las prácticas del suelo que fueron conseguidos, cerca del libramiento sur con las coordenadas 16°38'23.9" N y 93°06'00.4" W, en el Municipio de Suchiapa, Chiapas, en donde se realizaron las

pruebas índices y valor relativo de soporte, para finalmente asignarle una clasificación "SUCS", en base a los resultados obtenidos.

El objetivo de esta tesina es evaluar y estudiar los suelos expansivos, y conocer la reacción y/o efecto que sobre estos la adición de caliza, buscando con esto la estabilización de los suelos de plasticidad alta, para que de esta manera se eviten alteraciones en las estructuras de terrenos debido a los almacenamientos de agua y evitar el hinchamiento excesivo del suelo.

En donde el objetivo es aplicar la caliza alterada, es para la de obtener datos de laboratorio que nos permitan evaluar las mejoras de sus propiedades para su empleo en mejoramientos de suelos y con esto se espera obtener un material con mayor rigidez, más resistencia, y menor efectos de reacción ante el incremento de la humedad.



## **CAPITULO IMARCO CONTEXTUAL**

### **1.1. GENERALIDADES**

El proceso de estabilización de suelos expansivos mediante el uso de la caliza alterada (caliche), se debe tener en cuenta algunos puntos importantes y los antecedentes referente a este tema y que a continuación se presenta en este capítulo; es bien sabido por todos los estudiosos del tema, la complejidad de los suelos expansivos en cuanto a su comportamiento se refiere; por lo cual sería preferible para el proyectista no encontrarse con un material de este tipo en el lugar en el que se desplantarán sus estructuras. Sin embargo, tanto en México como en muchos lugares del mundo, existen suelos expansivos, que en ocasiones resultan inadecuados para la construcción; pero que también obligan a tomar alguna acción, pues las obras necesariamente deben construirse para fomentar el desarrollo de la región.

En ese sentido se deberá tomar una de las tres determinaciones siguientes:

- Aceptar el suelo tal y como está, y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones que impone la calidad del material.
- Remover y desechar el suelo del lugar de construcción, y sustituirlo por uno que tenga las características adecuadas.
- Alterar las propiedades del suelo existente de tal manera que se obtenga un material que reúna en mejor forma los requisitos impuestos, o cuando menos que la calidad obtenida sea adecuada.

Antiguamente no existían antecedentes que permitieran realizar estudios a fondo sobre los métodos de estabilización de suelos expansivos, ni siquiera podía diferenciarse este tipo de suelo de otros con características muy similares. Por ello resultaba difícil pensar en una solución adecuada a esta problemática, pues según (Fernaández Loaiza, 1982) fue alrededor de la década de 1950 que se empezaron a estudiar en forma racional los

mecanismos responsables de la estabilización, así como las diferentes modificaciones sufridas por el suelo estabilizado.

En el caso de México difícilmente se realizó algún tratamiento adecuado a los suelos expansivos el país no contaba con los recursos económicos suficientes para realizar investigaciones que condujeran a descubrimientos importantes en la materia, como el comportamiento del suelo, sus orígenes de formación y su estructura atómica.

Cuando ya se habían presentado los problemas causados por suelos expansivos surgió un nuevo factor: el conocimiento parcial del comportamiento de ciertos productos estabilizadores como la cal, la cual, se ha empleado desde épocas antiguas.

La cal se utilizó para estabilizar suelos en la construcción de la Muralla China y de algunos caminos que les brindaron problemas a los romanos durante el florecimiento de su imperio. No es que se desconociera a la cal como estabilizador, puesto que se empleó en la construcción de caminos sobre arcillas montmoriloníticas, susceptibles de expansión. Lo que no se sabía los efectos secundarios que después de un tiempo, la presencia de dicho mineral ocasiona en el suelo.

Cuando se detectaba la presencia de suelos inestables que sufrían cambios volumétricos por acción del agua; resultaba bastante sencillo aplicar el porcentaje de cal referido. Se obtenían mejoras bastante considerables, a largo plazo resultó inconveniente la utilización de este producto en la construcción de pavimentos pues su efecto estabilizador no es constante; lo que sí es definitivo es el cambio en las propiedades del suelo.

Actualmente existe una diversidad de productos químicos destinados a la estabilización de suelos, basados en pruebas que los fabricantes muestran, pero más adelante se explica como el uso de la caliza alterada se lograra la estabilización de suelos expansivos, específicamente en el estado de Chiapas que es el lugar en donde se llevó a cabo los estudios del suelo y como este reacciona al usar la caliza alterada (CALICHE).

Se tiene en cuenta que los suelos expansivos hoy en día se presentan en varios lugares del país y no solo en nuestro estado, y en el estado de Chiapas las lluvias, tuberías de drenaje o agua hacen que los suelos tengan una humedad y que esta misma provoque un hinchamiento, por eso es necesaria la buena compactación de un suelo expansivo y el uso de la caliza permite que la humedad no afecte al suelo.

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, se localiza en la región central de la entidad, con las coordenadas siguientes: 16°45'56" latitud norte y 93°06'56" longitud oeste, a una altura de 550 msnm. Tiene una extensión territorial de 412.4 km<sup>2</sup>, que representa 0.51% de la extensión estatal. El tipo de clima es cálido subhúmedo; la temperatura media anual es de 24.5°C. La temporada de lluvias se presenta entre los meses de mayo y octubre y la de estiaje de noviembre a abril. La precipitación anual es alrededor de 900 mm.(Ordóñez Ruiz, 2014)

Los daños estructurales causados por las arcillas expansivas a las obras de ingeniería, cimentaciones o pavimentos, causan pérdidas económicas sustanciales y un inadecuado servicio de las construcciones. Este problema ha sido y es motivo de investigación experimental enfocada a la caracterización y mitigación de riesgos geotécnicos.

Los factores que influyen en la expansión pueden dividirse en dos grupos. El primero incluye las condiciones estratigráficas y las propiedades intrínsecas del suelo: tipo de mineral arcilloso, tamaño y superficie específica de partículas, contenido de arcilla y contenido de agua. El segundo grupo abarca las condiciones ambientales: precipitación, evaporación y temperatura.

En la naturaleza, por las condiciones ambientales las arcillas expansivas sufren cambios importantes de contenido de agua: en época de lluvias el estrato superior se satura y en época de estiaje se produce el fenómeno de desecación y esta capa superficial se comporta como un suelo parcialmente saturado. El sistema hidrológico de la cuenca y subcuencas de la ciudad, influye en el comportamiento del subsuelo porque en época de lluvias se presentan corrientes o flujos de agua.

La expansión de las arcillas está asociada con el ciclo hidrológico y climático anual y con las actividades del hombre. La absorción de agua puede tener su origen en infiltraciones provocadas por: precipitaciones pluviales, flujos o corrientes de agua en el suelo, variación del nivel de aguas freáticas, riego y fugas en ductos de agua potable o de drenaje.

Determinar las constantes de los suelos como son:

Límite líquido; se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido.

Índice de flujo; es la medida de la consistencia o la facilidad relativa con que un suelo puede deformarse espontáneamente dada por la relación numérica entre a) la diferencia entre el contenido de agua de un suelo y su límite plástico, y b) su índice de plasticidad.  $I_f = (w - w_p) / IP$  y define la consistencia de un suelo.

Límite plástico; es el límite inferior del estado plástico. Un pequeño aumento en la humedad sobre el límite plástico destruye la cohesión\* del suelo. Y se obtiene el porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia al disminuir su humedad de la consistencia plástica a la semisólida, o, al aumentar su humedad, de la consistencia semisólida a la plástica.

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.

Consiguiendo los datos de las constantes de los suelos, se persigue un aumento de capacidad de soporte y una disminución de su sensibilidad o su contacto frente al agua y otras condiciones, para que no cambie las condiciones del suelo o se provoque el hinchamiento.

Al emplear diferentes métodos, que se describirán en este documento en donde la intención es reducir costos en maquinarias tanto como de carga y de acarreo, también a realizar los estudios correspondientes del suelo.

En el proceso de estabilización es necesario realizar estudios previos, detallando las características de los suelos y los materiales a emplear, para obtener mejor calidad y de esta forma cumplir con las especificaciones.

Límite de Contracción: El Límite de Contracción es aquel contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado semi sólido. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla se encuentra en estado sólido. Cualquier incremento en el contenido de humedad está asociado con un cambio de volumen, pero una reducción en el contenido de humedad no produce un cambio de volumen.

Este es el mínimo contenido de humedad que provoca saturación completa de la mezcla suelo-agua. El volumen permanece constante mientras la mezcla pasa del estado seco a LC moviéndose desde saturación 0 % a 100 %. En el lado húmedo de LC el volumen de la mezcla se incrementa linealmente con el contenido de humedad.

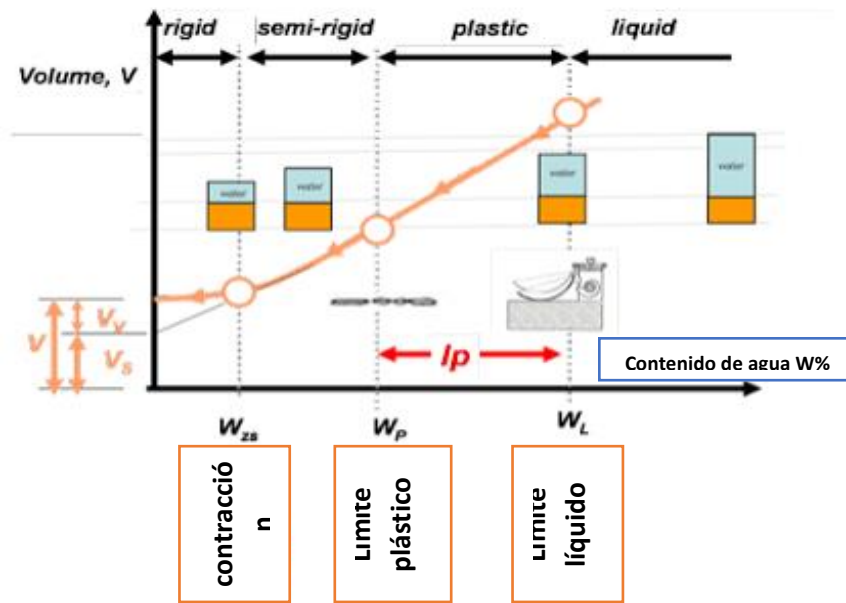


Figura 1, Límites de Atterberg.  
(Geotecnia, Santiago Osorio).

## 1.2. PROBLEMÁTICA

Un suelo expansivo es aquel que representa expansiones o contracciones, es decir, cambios de volumen cuando varía su humedad o agua que hay en él. Se considera expansivo un suelo que manifiesta, ante una modificación de su estado (de tensiones, de humedad, o ambos conjuntamente), un incremento de volumen (caso de que el estado de tensiones así lo permita) como consecuencia de la generación de una tensión vertical en el seno de su estructura interna (tensión llamada de hinchamiento.)

Si el estado de tensiones es tal que la tensión a la que está sometido el suelo iguala o supera la llamada tensión de hinchamiento, la presencia de agua en el medio no induce una variación de volumen, aunque conlleva una modificación en la situación de tensiones del suelo respecto los materiales o estructuras con que está en relación. (Joan, 2013)

Es necesaria la identificación de la profundidad hasta la cual se tiene una influencia significativa de los periodos estacionales, sin ignorar los efectos posibles a causa del ascenso y descenso del nivel de aguas freáticas, sobre todo cuando este no es muy

profundo. Así, lo que se determina es la capa de suelo sujeta a cambios de humedad que puedan ser significativos a cambios de volumen, en expansiones y contracciones, en tiempo de lluvia y en temporada de estiaje respectivamente.

Un suelo es un gran problema en la construcción, porque en el incremento del volumen no se presentan de manera uniforme, sino todo lo contrario, ya que produce alteraciones en el suelo en distintas zonas y al momento de reducirse, es decir la pérdida de humedad, genera asentamientos que dañan a la estructura de cualquier tipo.

En muchas ocasiones se asume que todo problema del terreno que afecta a una estructura y producido por un fenómeno de expansividad tiene relación con el acceso de aguas subterráneas o con la rotura de tuberías que aportan agua al terreno. Sin embargo, existen otros mecanismos que conducen a una modificación del estado de humedad del suelo, y que en muchas ocasiones pasan desapercibidos.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En cuanto a las estabilizaciones de suelos expansivos, años previos han tratado de reducir los daños que provoca un suelo expansivo mediante la estabilización mecánica, pero también se ha necesitado alterar las propiedades fisicoquímicas de los suelos a fin de estabilizarlos permanentemente, en este caso, el uso del caliza alterada, las propiedades físicas de un suelo expansivo, así también como todas sus propiedades fisicoquímicas para lograr la compactación de un suelo expansivo de manera permanente.

Una de las soluciones dadas en la estabilización de suelos expansivos es el uso de la caliza alterada (caliche), ya que las características de esta, permite el fácil uso del material, así como la compactación es mucho más fácil.

Ya se poseen los conocimientos suficientes para el manejo de las propiedades del caliche y de su efecto sobre el suelo expansivo. Este proyecto cuenta con el recurso económico necesario para llevar a cabo las pruebas de laboratorio. No existe un impacto ambiental negativo por el uso del caliche, así como el beneficio social es alto debido a que en la

región de Tuxtla Gutiérrez la mayor parte de terreno natural está compuesta de caliza alterada.

#### **1.4. OBJETIVO GENERAL**

Identificar los métodos para estudiar la manera de estabilizar los suelos expansivos, los métodos para identificarlos y proponer un tratamiento a fin de evitar los daños que podrían provocar a las estructuras.

#### **1.5. OBJETIVO ESPECIFICO**

Conocer las características del suelo expansivo, para que de esta forma se puedan aplicar los materiales correctos para el mejoramiento de este mismo.

Demostrar la estabilización de terrenos expansivos a través del uso de caliza alterada (caliche) como elemento integrado para el mejoramiento de suelos sobre los cuales se desplantarán diferentes obras civiles.

Encontrar la dosificación menor u optima de caliza alterada en la estabilización del suelo arcilloso (expansivo). Partiendo de los valores naturales del suelo.

#### **1.6. HIPÓTESIS**

El contenido de caliza alterada servirá para mitigar los cambios volumétricos (expansión y contracción de la arcilla de plasticidad alta), midiendo estos parámetros mediante las pruebas índice. Tomando como patrón para nuestro análisis el 60% de caliza alterada con un 40% de material arcilloso.



## **CAPITULO II MARCO TEORICO**

### **2.1. ANTECEDENTES**

La historia de los suelos expansivos comenzó hace millones de años en las eras del vulcanismo. La ceniza fue depositada en aguas poco profundas y formó una solidificación de arcilla rica en montmorillonita inestable, el principal mineral de las arcillas expansivas. También se debe a gran medida al proceso de edificación a lo largo del tiempo

Este problema surge desde que el hombre comenzó a construir edificaciones en sus diferentes entornos, algunos de ellos no tuvieron este problema ya que la zona donde ellos habitaban no estaba compuesta por este tipo de suelos, pero otros si lidiaron con este problema, desde hace mucho tiempo se han investigado estos suelos, pero fue hace casi 94 años que se esmeró más en el estudio de estos.

Como principales investigadores tenemos a:

- Lambe Whitman (1959)
- Fu H. Chen (1975)
- Brackley (1975)

La necesidad por la que se empezó a investigar acerca de este tema es que se estaba construyendo sin ninguna precaución sobre suelos expansivos, provocando que muchas edificaciones cayeran, generando gastos millonarios a los dueños de las edificaciones. Otra razón por la cual investigaron acerca de estos suelos es que los espacios en las ciudades se están haciendo mucho más pequeños ya que la población crece cada vez más y más al pasar de los años, creando la necesidad de que los planificadores de las ciudades busquen alternativas para maximizar el área de la ciudad.

Los principales problemas a los que se enfrentan con estos suelos son las deformaciones que son más grandes que las deformaciones elásticas y éstas no pueden ser previstas por la elasticidad clásica o por la teoría de la plasticidad. Los movimientos provocados por los mismos tienen comúnmente un patrón irregular como para causar grandes daños a las estructuras y pavimentos que se apoyan sobre estos.

La mayor parte de los asentamientos humanos se encuentra sobre suelos expansivos, sin embargo, los suelos expansivos no causan problemas a menos que las estructuras que se construyen sobre ellos sean diseñadas inadecuadamente. En general, los suelos expansivos afectan principalmente a las cimentaciones, así como también a diferentes partes de la estructura provocando que la cimentación esté sometida a solicitaciones ajenas al diseño. Estos daños los podemos observar a través de la aparición de grietas significativas muy a menudo en las esquinas de las ventanas y puertas, en los muros, en las losas de las cocheras inclusive pisos del interior de las casas, en las banquetas, y en las avenidas.

## **2.2. DEFINICION DEL SUELO**

El suelo es la porción más visible del planeta, se trata de una superficie sumamente variada y multiforme, sobre la cual se producen los fenómenos climáticos como la lluvia, el viento, etc. Los suelos se forman por la destrucción de la roca y la acumulación de materiales distintos, en un proceso que involucra numerosas variantes físicas, químicas y biológicas, que da como resultado una disposición en capas bien diferenciadas, observables en los puntos de falla o fractura de la corteza terrestre.

Existen diversos tipos de suelo, cada uno fruto de procesos distintos de formación, fruto de la sedimentación, la deposición eólica, la meteorización y los residuos orgánicos. Pueden clasificarse de acuerdo con dos distintos criterios, que son:

Según su estructura:

- Suelos arenosos. Incapaces de retener el agua, son escasos en materia orgánica y por lo tanto poco fértiles.
- Suelos calizos. Abundan en minerales calcáreos y por lo tanto en sales, lo cual les confiere dureza, aridez y color blanquecino.
- Suelos húmíferos. De tierra negra, en ellos abunda la materia orgánica en descomposición y retienen muy bien el agua, siendo muy fértiles.
- Suelos arcillosos. Compuestos por finos granos amarillentos que retienen muy bien el agua, por lo que suelen inundarse con facilidad.
- Suelos pedregosos. Compuestos por rocas de distintos tamaños, son muy porosos y no retienen en nada el agua.
- Suelos mixtos. Suelos mezclados, por lo general entre arenosos y arcillosos

Según sus características físicas:

- Litosoles. Capas delgadas de suelo de hasta 10cm de profundidad, con vegetación muy baja y también llamado "litosoles".
- Cambisoles. Suelos jóvenes con acumulación inicial de arcillas.
- Luvisoles. Suelos arcillosos con una saturación de bases del 50% o superior.
- Acrisoles. Otro tipo de suelo arcilloso, con saturación de bases inferior al 50%.
- Gleysoles. Suelos de presencia de agua constante o casi constante.
- Fluvisoles. Suelos jóvenes de depósitos fluviales, por lo general ricos en calcio.
- Rendzina. Suelos ricos en materia orgánica sobre piedra caliza.
- Vertisoles. Suelos arcillosos y negros, ubicados cerca de escurrimientos y pendientes rocosas

### 2.2.1 CLASIFICACION DE SUELOS

Los suelos son materiales con partículas de tamaño menor de 7,5 cm y se clasifican como suelos gruesos y como suelos finos. (Foth, 1985)

- Suelos gruesos

Los suelos gruesos se clasifican como grava cuando más del 50% de las partículas de la fracción gruesa tienen tamaño mayor que 4,75mm (malla N°4) y como arena cuando el 50% de las partículas o más de la fracción gruesa, son de tamaño menor.

La grava se identifica con el símbolo G(Gravel) y la arena con el símbolo S (Sand).

Ambas a la vez se subdividen en ocho subgrupos:

- a) Grava o arena bien graduada (GW o SW)

Si el material contiene hasta 5% de finos, cuando se trate de una grava cuyo coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) es mayor de 4 y su coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) esté entre 1 y 3, se clasifica como grava bien graduada y se identifica con el símbolo GW. Cuando se trate de una arena cuyo coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) es mayor de 6 y su coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) esté entre 1 y 3, se clasifica como arena bien graduada y se identifica con el símbolo SW.

- b) Grava o arena mal graduada (GP o SP)

Si el material contiene hasta 5% de finos y sus coeficientes de uniformidad y curvatura ( $C_u$  y  $C_c$  respectivamente), no cumplen con lo indicado en el punto anterior, se clasifica como grava mal graduada o arena mal graduada, según corresponda y se identifica con los símbolos GP o SP, respectivamente.

- c) Grava o arena limosa (GM o SM)

Si el material contiene más de 12% de finos y estos son limo, se clasifica como grava limosa o arena limosa, según corresponda y se identifica con los símbolos GM o SM, respectivamente.

- d) Grava o arena arcillosa (GC o SC)

Si el material contiene más de 12% de finos y estos son arcilla, se clasifica como grava arcillosa o arena arcillosa, según corresponda y se identifica con los símbolos GC o SC, respectivamente.

e) Grava o arena bien graduada limosa (GW-GM o SW-SM)

Si el material contiene entre 5 y 12% de finos y estos son limo, cuando se trate de una grava bien graduada, se clasifica como grava bien graduada limosa y se identifica con el símbolo GW-GM. Cuando se trate de una arena bien graduada, se clasifica como arena bien graduada limosa y se identifica con el símbolo SW-SM.

f) Grava o arena mal graduada limosa (GP-GM o SP-SM)

Si la grava o la arena son mal graduadas, contienen entre 5 y 12% de finos y estos son limo, se clasifican como grava mal graduada limosa o arena mal graduada limosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GP-GM o SP-SM, respectivamente.

g) Grava o arena bien graduada arcillosa (GW-GC o SW-SC)

Si la grava o la arena son bien graduadas, contienen entre 5 y 12% de finos y estos son arcilla, se clasifican como grava bien graduada arcillosa o arena bien graduada arcillosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GW-GC o SW-SC, respectivamente.

h) Grava o arena mal graduada arcillosa (GP-GC o SP-SC)

Si la grava o la arena son mal graduadas, contienen entre 5 y 12% de finos y estos son arcilla, se clasifican como grava mal graduada arcillosa o arena mal graduada arcillosa, según corresponda y se identifican con los símbolos GP-GC O SP-SC, respectivamente.

- Suelos finos

a) Limo (M)

El suelo fino se clasifica como limo cuando su límite líquido y su índice plástico. Si el material contiene una cantidad apreciable de materia orgánica y el punto

definido por su límite líquido y su índice plástico, se ubica cercano y por debajo de la línea A de la Carta de plasticidad, se clasifica como limo orgánico de baja compresibilidad si su límite líquido es menor de 50% y se identifica con el símbolo OL, o como limo orgánico de alta compresibilidad si su límite líquido es mayor y se identifica con el símbolo OH.

b) Arcilla(C)

El suelo fino se clasifica como arcilla cuando su límite líquido y su índice plástico, determinados como se indica en el Manual M-MMP-1-07, Límites de Consistencia, definen un punto ubicado en las zonas II o IV de la Carta de plasticidad y se identifica con el símbolo C (Clay). Si dicho punto se aloja en la zona II, el material se clasifica como arcilla de baja compresibilidad y se identifica con el símbolo CL, si se ubica en la zona IV, se clasifica como arcilla de alta compresibilidad y se identifica con el mismo símbolo CH.

c) Altamente orgánicos ( $P_t$ )

El suelo fino se clasifica como altamente orgánico cuando se identifica por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa; se le denomina turba y se identifica con el símbolo  $P_t$ .

### **2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE SUELOS EXPANSIVOS**

Se conocen como suelos expansivos aquellos que presentan expansiones o contracciones, ósea cambios de volumen cuando varía su humedad o contenido de agua. Los materiales de arcilla tienen la capacidad de absorber una gran cantidad de agua y retenerla debido a su estructura, el agua produce el incremento del volumen en el material mencionado anteriormente y también una drástica reducción del volumen cuando el agua que retenía se seca.

Los suelos expansivos resultan ser un gran problema para la construcción, porque los incrementos del volumen no se presentan de una manera uniforme, sino todo lo contrario al producirse incrementos en distintas zonas y al momento de contraerse generan asentamientos, que pueden dañar severamente las estructuras.

### **2.2.3. CAUSAS QUE ORIGINAN LA EXPANSIVIDAD DE SUELOS**

Una de las causas por las que se presentan los suelos expansivos son, las condiciones climáticas, que influyen de manera directa al comportamiento de estos suelos. Una expansión se genera debido al agua, por lo que es más propenso a encontrar suelos expansivos en áreas donde las lluvias sean moderadas y frecuentes. Otro factor importante es la presencia de aguas subterráneas que se filtran de la superficie.

El contenido de humedad es la cantidad de agua o humedad que se presenta en un suelo, varía en un límite muy amplio, dependiendo de cada zona geográfica. Se expresa como un porcentaje. El contenido de humedad es un factor muy importante cuando se habla de la expansión de suelos ya que nos puede indicar donde se podrían presentar expansión si tienen materiales arcillosos.

Además, la humedad es el elemento que hace posible el fenómeno de la expansión, ya que, si no hay variación en el contenido de humedad del suelo, por más montmorillonita que contenga una arcilla, no se presentará un cambio en los valores volumétricos.

No es necesario que el suelo se sature de agua completamente para que se presente expansión de este.

### **2.2.4. COMO IDENTIFICAR SUELOS EXPANSIVOS**

Los principales factores que deben ser identificados en la caracterización de un sitio para una obra de ingeniería son:

- Las propiedades de expansión o la expansión-contracción del suelo.
- Las condiciones ambientales y humanas que contribuyen a los cambios de humedad del suelo.

Los suelos expansivos se pueden identificar visualmente por varias características, tienen alta plasticidad, si observamos el terreno encontraremos grietas o rajaduras, esto se debe a la expansión y contracción constante que sufre la superficie de estos suelos cuando hay variación de la humedad.

La identificación mineralógica es una de las principales formas usadas para ubicar suelos expansivos, los métodos más recomendados para la identificación mineralógica son: difracción de rayos x, análisis térmico diferencial, análisis químico, absorción de tinte y la microscopía electrónica. Consisten en detectar la presencia de minerales arcillosos, que pueden resultar ser expansivos. Sin embargo, esta forma de identificación no es muy útil para la práctica de ingeniería ya que pueden llegar a ser muy costosos y requiere un amplio conocimiento.

Otra forma es la determinación de propiedades básicas del suelo. Las propiedades que se busca obtener son: límite líquido y plástico, límite de contracción, contenido de coloides, expansión libre del suelo.

Los suelos, según la naturaleza, cantidad de agua, presentan propiedades para ser incluidos en el estado sólido, semisólido, plástico o semilíquido. La cantidad de agua de un suelo, así como el límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

Los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados son llamados límites de Atterberg:

- ✓ Límite líquido: “es el límite entre los estados semi líquido y plástico”, según Atterberg.
- ✓ Límite plástico: “es el límite entre los estados plástico y semisólido”, según Atterberg.
- ✓ Límite de contracción: “humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo”, según Atterberg.



Identificación por métodos indirectos que consisten en identificar el potencial expansivo del suelo de forma cualitativa, la desventaja de este usar este tipo de métodos es que obtenemos datos muy variables, que dependen del tipo de suelo que es analizado.

Métodos directos para la identificación de suelos expansivos, consisten en saturar el suelo en diferentes condiciones de carga para poder medir la expansión que presente y graficar las variaciones de hinchazón.

Se reconocen dos parámetros que definen el Potencial de Hinchamiento, los cuales son:

- Presión de hinchamiento (PS). Es la presión aplicada en laboratorio sobre una muestra de suelo expansivo, se añaden cargas para no permitir el hinchamiento, la presión máxima que hay que añadir para que no haya hinchamiento, es decir se mantenga su volumen inicial es conocida como presión de hinchamiento.
- Hinchamiento libre (Hc). Se expresa como el porcentaje de la elevación máxima, cuando hay presión nula en relación con la longitud inicial.

Para lograr medir estos parámetros se realizan pruebas de odómetro o basadas en técnicas de succión, tratando de simular los factores que pudieran ser relevantes al momento de presentarse este fenómeno de manera natural. Para lograr dicho objetivo se han propuesto diversos métodos experimentales. Resultando las diferentes predicciones precisas al utilizar estos métodos, también existen algunas variables tales como: tamaño y forma de la muestra, forma de simular las condiciones reales en el edómetro, entre otras, las cuales hacen que se obtengan diferencias en los resultados obtenidos y se creen discrepancias al momento de tratar de predecir el comportamiento de los suelos.

### **2.2.5. FALLAS POR SUELOS EXPANSIVOS**

Los siguientes ejemplos son típicos de problemas originarios por suelos arcillosos expansivos:

- Cuarteaduras en muros de mampostería:

En muchos casos los muros se han cuarteado considerablemente una situación peligrosa. En general, las cuarteaduras siguen las juntas de mortero a manera de escalón y a menudo rompen a través de las unidades de la mampostería. Estas cuarteaduras con frecuencia no pueden ser reparadas satisfactoriamente dando por resultado una pérdida de valor de la propiedad.

- Cuarteaduras en losas del piso:

En construcciones en que la losa forma parte integral de la cimentación, las losas del piso a veces se cuarteán y sufren buzamientos tan notorios que las puertas y las ventanas no pueden abrirse, se cuarteán los muros interiores y la superficie del piso se distorsiona enormemente. Los pisos construidos sobre cimientos extendidos en trabes se han visto igualmente dañados por arcillas que se expanden.

- Fallas en la estabilidad de taludes:

Las cuarteaduras que se forman como consecuencia de los ciclos de humedad y de sequía pueden ocasionar disminución de resistencia y estabilidad en los terraplenes (o diques de tierra).

Las fallas de taludes suceden en carreteras, en plataformas y ferrovías, ocasionando costos de mantenimiento excesivos, pérdida de propiedades y riesgos a la seguridad pública.

- Fallas en pavimentos y en la losa:

En las carreteras, pistas de aeropuertos, así como en otros pavimentos hechos con losas a menudo se cuarteán tanto, que se hace necesaria una reconstrucción casi completa. Los problemas típicos, tales como rajaduras en la superficie, baches y superficies bufadas y disparejas, generalmente son ocasionadas por humedad que penetra en las arcillas del suelo subyacente y causa expansión destructiva.

### **2.2.6. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS**

Ante la presencia de suelos expansivos, las acciones más adecuadas son: reducir o eliminar la expansión del suelo y actuar sobre la estructura y mediante la selección de un diseño adecuado de cimentación.

Existen diferentes formas para reducir o eliminar la expansión del suelo, una de ellas es inundar el suelo antes de realizar una construcción, dicha práctica es llamada “pre-humectación del suelo”, en teoría al inundar el suelo y saturarlo permitiéndole que se expanda hasta su máximo potencial, manteniendo la humedad posteriormente, se deben evitar los cambios volumétricos, por lo que no se tendrían daños en la estructura después de construir. Se ha logrado determinar que la humedad de las áreas cubiertas por losa, pavimento, etc., rara vez decrece.

Sin embargo, existen muchas desventajas para este método, es muy difícil que se obtenga una variación uniforme en la humedad del suelo. Además, los suelos arcillosos que resultan ser los potencialmente expansivos son muy difíciles de pre humectar, ya que el agua puede penetrar por diferentes lados y obtener una humectación dispareja.

Otra forma más efectiva es sustituir el material expansivo, esta alternativa consiste en reemplazar el material expansivo por otro que no lo sea. Los materiales que se pueden usar de relleno principalmente no deben ser expansivos, deben tener una cierta permeabilidad para evitar que el agua llegue a los materiales arcillosos y expansivos subyacentes.

Con la tecnología actual, la sustitución de suelos puede ser considerada como una de las mejores opciones para eliminar el problema de suelos expansivos.

Las desventajas de esta alternativa son que para llevarlo a cabo se necesita maquinaria pesada para poder remover el material expansivo y del mismo modo para rellenar de material que no lo sea, lo cual podría resultar muy costoso.

Otra forma de reducir o eliminar totalmente distinta los suelos expansivos es actuando sobre la estructura y el sistema de cimentación. Estos son algunos de los métodos principales para lograr que la cimentación se adapte a las deformaciones que puedan resultar debido a los suelos expansivos, esto se hace dando la rigidez o flexibilidad adecuada a la estructura. Fundaciones superficiales en suelos expansivos: este tipo de cimentación también llamadas zapatas, pueden ser usadas en subsuelos conformados por materiales expansivos. Zapatas corridas, Zapatas aisladas.

### **2.3. EXPANSIVIDAD**

El término de expansividad puede definirse como la capacidad de un suelo de experimentar cambios volumétricos o de generar presión (si el suelo está confinado) al modificarse las condiciones de humedad. En general el fenómeno de la expansividad está asociado a algunos tipos de arcillas, especialmente las montmorillonitas, que modifican su estructura al adsorber agua u otros líquidos. Del mismo modo, también puede producirse la retracción del suelo expansivo al desecarse o liberarse el agua contenida en él.

### **2.4. ARCILLA**

Las arcillas pueden presentar distintos grados de expansividad, dependiendo su respuesta a las variaciones de humedad a las que se vean sometidas. Al ganar humedad, presentan un incremento de volumen o hinchamiento según su grado de expansividad y al desecarse, justo lo contrario, el volumen disminuye produciéndose un agrietamiento del suelo.

Son partículas de granos muy finos en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, con diámetro menor a 0.075 mm. y un índice de plasticidad mayor que 10, cuya masa se vuelve plástica al ser mezclada con agua, químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados



Figura 2 Suelo arcilloso, agrietamiento  
figura cedida por Laboratorio de Ingeniería y Medio  
Ambiente(IMASALAB)

Agrietamiento por desecación en arcillas expansivas.

Hay que tener en cuenta que las variaciones de humedad del terreno se producen en los primeros metros.

## **2.5. LUTITA**

La lutita es la roca sedimentaria que más extensión tiene sobre la superficie de la tierra, sin embargo, debido a su composición y tamaño de grano es muy difícil estudiarla e identificar sus componentes a simple vista e incluso bajo el microscopio.

Las lutitas se componen principalmente de minerales arcillosos y micas como la caolinita, montmorillonita, illita, clorita, esmectita.

Además, contienen cantidades de cuarzo, feldespatos potásicos y plagioclasas. Las lutitas se usan por las siguientes razones:

- ✓ Las lutitas tanto por su extensión y por su composición mineralógica tienen una variedad de usos importantes en la industria:
- ✓ En la industria del petróleo convencional y gas natural son importantes debido a que pueden ser las rocas madres de hidrocarburos, sobre todo cuando su contenido de materia orgánica sobrepasa el 2%.
- ✓ En la industria del petróleo y gas natural no convencional, lo que se hace es una fractura miento hidráulico (aumentar la permeabilidad) de las lutitas bituminosas para obtener los hidrocarburos atrapados en la roca casi impermeable.

- ✓ Productos de arcillas obtenidos al mezclar agua con lutita molida, este proceso hace que se obtenga arcillas que sirve después para crear ladrillos, maquillaje, y otros productos.
- ✓ Roca triturada para usarse como lastre de carreteras de baja calidad.
- ✓ En la industria de la construcción se usa a las lutitas para generar cemento que después se utiliza en obras de ingeniería civil.

## 2.6. QUE ES LA CALIZA

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

Si se calcina (se lleva a alta temperatura), la caliza da lugar a cal (óxido de calcio impuro,  $\text{CaO}$ ).

La roca caliza es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, como componente en materiales cerámicos, en pasta grasa para creación de estucos o lechadas para "enjalbegar" (pintar) superficies, así como otros muchos usos por ejemplo en industria farmacéutica o peletera. Finalmente, se puede considerar como un recurso natural, no renovable, perteneciente al grupo de recursos minerales no metálicos.

### **2.6.1. PARA QUE SE UTILIZA LA CALIZA**

Desde la antigüedad el uso de la cal y la caliza ha representado un papel muy importante en la existencia de la actividad humana. Desde los griegos y romanos que la utilizaron como un agente químico para 2 blanquear tejidos como el lino y así como para usos agrícolas. Una parte muy importante de explotación de calizas se utiliza como áridos con finalidad en diversas actividades como: agricultura, industria química, procesos metalúrgicos, como carga de tratamientos medioambientales y otros usos.

Las calizas son rocas de gran importancia por el nivel de consumo en diversos sectores como construcción, químico, siderometalúrgico, agroalimentario y medioambiental, siendo los principales campos de aplicación: aglomerantes (cementos), cerámica, vidrio, papel, cargas, fundentes, aditivos, correctores, absorbentes, abrasivos, y descontaminantes, entre otros usos. Por su importancia comercial, los principales derivados de las calizas son la cal, el carbonato de calcio y el cemento. (Sergi Meseguer, 2006)

En la fabricación de cal el consumo de caliza representa uno de los destinos de mayor importancia después de la fabricación de cemento Pórtland. Debido a su alta reactividad y a su poder de neutralización de los ácidos presenta diversas aplicaciones en la industria y en procesos químicos (tratamiento de aguas, procesado de alimentos, control de emisiones de SO<sub>2</sub> y neutralización de aguas ácidas de minas). La caliza para la fabricación de cal debe ser de gran pureza, con contenidos superiores al 95% de carbonato total. Por otra parte, se tiene que controlar las impurezas (sílice, alúmina, hierro, fosfatos, y sulfuros) así como su distribución de tamaño de partícula.

La caliza, cortada, tallada o desbastada, se utiliza como material de construcción u ornamental, en forma de sillares o placas de recubrimiento. Ejemplos de este uso son numerosos edificios históricos, desde las pirámides de Egipto hasta la Catedral de Burgos. Machacada se usa como árido de construcción.

Es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, pasta grasa para creación de estucos o lechadas para «enjalbegar» (pintar) superficies, así como otros muchos usos por ejemplo en industria farmacéutica o peletera.

Es una roca importante como reservorio de petróleo, dada su gran porosidad. Tiene una gran resistencia a la meteorización; esto ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en caliza hayan llegado hasta la actualidad. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentra acidulada por el ácido carbónico) provoca su disolución, creando un tipo de meteorización característica denominada kárstica. No obstante, es utilizada en la construcción de enrocamientos para obras marítimas y portuarias como rompeolas, espigones, escolleras entre otras estructuras de estabilización y protección.

La caliza se encuentra dentro de la clasificación de recursos naturales entre los recursos no renovables (minerales) y dentro de esta clasificación, en los no metálicos, como el salitre, el aljez y el azufre.



En la siguiente imagen se puede observar el valle de Tuxtla Gutiérrez del entorno geológico estructural donde podemos observar zonas donde se encuentra calizas y lutitas.

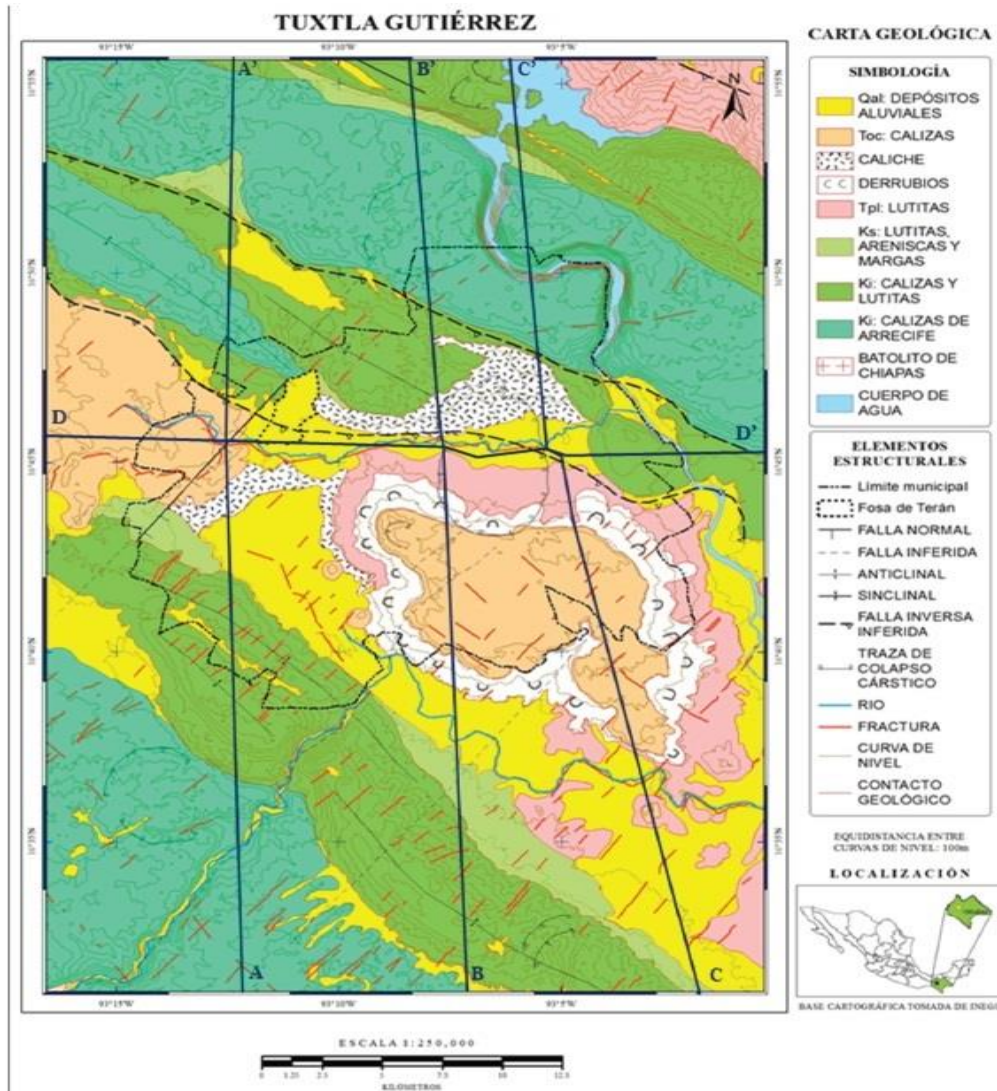


Figura 3. Mapa del entorno geológico estructural del valle de Tuxtla Gutiérrez (Zúñiga y Ordoñez, 2013)

## 2.7. NORMA MEXICANA

La norma N-CMT-4-03-001/02 del libro CMT. Características de los materiales, donde se citan materiales para Estabilizaciones y trata de la Cal para Estabilizaciones, donde esta norma contiene características de la calidad de la cal que se utiliza en la estabilización de materiales para terracerías, revestimientos, subbases y bases para pavimentos nuevos o recuperados.(Transportes, 2002)

También habla de cómo la roca caliza es calcinada para conseguir la cal viva la cual se usa en materiales arcillosos para la construcción, al igual la cal hidratada que se obtiene al tratar la cal viva con la suficiente agua para satisfacer su afinidad química, provocando su hidratación.

Además, esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES	DESIGNACION
Muestreo de Cal para Estabilizaciones.....	M-MMP-4-02-001
Características Granulométricas de la Cal.....	M-MMP-4-02-003
Contenido de Oxido de Calcio y Oxido de Magnesio en Cal viva.....	M-MMP-4-02-005
Contenido de Hidróxido de Calcio [Ca(OH) <sub>2</sub> ] en la Cal Hidratada.....	M-MMP-4-02-006
Contenido de Agua Libre de Cal Hidratada .....	M-MMP-4-02-008
Reactividad de la Cal Viva.....	M-MMP-4-02-010
Muestreo de Materiales Tratados con Cal.....	M-MMP-4-02-012

También es conocida como NMX-C-541-ONNCCE-2017 Industria de la Construcción-Cal-Especificaciones y Consideraciones para el Tratamiento de Suelos con Cal (Secado, Modificación y Estabilización).

### **2.7.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta Norma Mexicana define especificaciones y consideraciones para el tratamiento de suelos con la adición de cal en cualquiera de sus dos presentaciones; óxido de calcio (Cal viva) o hidróxido de calcio (Cal hidratada).

Esta Norma Mexicana aplica principalmente a suelos finos (arcillas y/o limos) y a suelos compuestos de arenas y gravas arcillosas y/o limosas; que son tratados con la adición de cal; destinados a edificación e infraestructura hidráulica, portuaria, ferroviaria, aeroportuaria, vial entre otras.

En obras de edificación habitacional, comercial, industrial, de servicios y equipamiento entre otras.

En obras de infraestructura hidráulica, se emplea en presas, bordos, canales y otras obras hidráulicas menores.

En obras portuarias, muelles, patios de maniobra, caminos de acceso, bodegas, entre otras.

En ferroviarias, como suelo de cimentación, patios de maniobra, terraplenes, bodegas, almacenes, entre otras.

En aeroportuaria, pistas, plataformas, calles de rodaje, patios de maniobra, zona de carga de combustible, hangares, edificios terminales, estacionamientos, entre otras.

En obras viales, carreteras, viaductos, calles, avenidas, entre otros.

## **2.8. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta Norma Mexicana no es equivalente (NEQ) con ninguna Norma Internacional, por no existir esta última al momento de su elaboración.

Para corregir estos problemas de la arcilla profunda se ha empleado la cal, utilizada en diferentes partes de México y en el mundo. La cal produce en contacto con un suelo arcilloso un efecto de secado, un proceso de intercambio iónico y una reacción puzolánica que se manifiestan en una reducción de la humedad; modificación de su granulometría, microestructura y porosidad; aumento de la permeabilidad; reducción de la plasticidad; eliminación del hinchamiento; modificación de las características de compactación;

aumento de la consistencia y resistencia a largo plazo con menor deformabilidad e incremento de la resistencia a la erosión.

Dichas mejoras están condicionadas por una serie de factores críticos: el contenido en arcilla y su mineralogía; la presencia de materia orgánica y sulfatos solubles; la plasticidad del suelo; el pH; tipo y forma de aplicación de la cal; la humedad de compactación; el período de maduración y curado, así como la temperatura; la presencia de agua y su flujo y la formación de hielo.

## **CAPITULO III METODOLOGIA**

Los suelos tienen capacidad variable para resistir las cargas que imponen los diferentes tipos de estructuras, se debe tratar de evitar suelos débiles, sueltos o expansivos, y aquellos que tienen un nivel freático superficial, se debe buscar áreas con buena capacidad portante y que presenten estabilidad de volumen. Por tanto, es necesario que evalúen cuáles son las características del material para determinar si es necesario realizar un tratamiento para mejorarlo. El mejoramiento de los suelos es una práctica antiquísima que permite construir en terrenos con condiciones marginales, por lo que se emplea con frecuencia en la ingeniería.

### **3.1. ESTABILIZACION DE SUELOS**

La estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos disponibles en el mercado (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad.

También es un tratamiento realizado para mejorar, uniformizar y prolongar durante la vida de servicio ciertas propiedades deseables de los materiales térreos o granulares. Teniendo en cuenta la resistencia, rigidez, compresibilidad, permeabilidad, trabajabilidad, el potencial de expansión, susceptibilidad al congelamiento y sensibilidad a cambios de humedad.

Para estabilizar un suelo se requiere de la aplicación de procesos que alteran sus propiedades iniciales, y se logra una mejora en el comportamiento del material desde el punto de vista resistente, incrementando o protegiendo sus características mecánicas, estabilidad de volumen, capacidad de drenaje, entre otras.

Debe tenerse en cuenta el propósito de la estabilización según el tipo de material, la disponibilidad del agente estabilizador, y del equipo necesario, los procesos para la estabilización y el aspecto económico.

Motivos para estabilizar un suelo:

- Baja resistencia de los materiales
- Materiales marginales
- Control de humedad o de polvo
- Uso de materiales reciclados
- Obtener un material impermeable
- Mejor comportamiento a largo plazo

El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran tres objetivos importantes:

- Adecuada estabilidad ante las cargas
- Durabilidad de la capa
- Una Variación Volumétrica mínima

Para el caso de diseño de pavimentos se basa en la premisa de que el paquete es tan competente como cada una de las capas que lo componen. Por lo tanto, cada capa debe soportar el cortante, las deflexiones excesivas que causan el agrietamiento por fatiga y prevenir la excesiva deformación permanente.

Entonces, la calidad de la capa subrasante puede ser mejorada de forma tal que con menores espesores se logre una mejor distribución de cargas.

Los dos usos principales de la estabilización son:

- ✓ Mejoramiento de la calidad

Una de las principales mejoras que se logran a través de la estabilización de la subrasante es en cuanto a la graduación del suelo. Igualmente se logra reducir el índice de plasticidad y el potencial de expansividad. Por otro lado, se incrementa su durabilidad y dureza. En climas húmedos la estabilización puede también ser usada para proveer una superficie más apta para llevar a cabo operaciones constructivas. Estos tipos de mejoras pueden ser llamadas: “modificación del suelo”.

- ✓ Reducción del espesor

La dureza y rigidez del suelo puede ser mejorada a través de la incorporación de aditivos que permitan la reducción en los espesores de diseño, respecto a los materiales sin tratar. Los espesores de diseño de la base pueden ser reducidos si el material estabilizado para subrasante presenta la graduación, la dureza, la estabilidad y la durabilidad requerida.

### **3.1.1 ESTABILICACION MECANICA**

Se lleva a cabo generalmente por compactación, lo que se busca por medio de este método es reducir el volumen de vacíos de los suelos, densificar el material, y reducir los asentamientos futuros.

- Compactación: es un proceso de mejoramiento artificial de las propiedades mecánicas del suelo, su objetivo es el de mejorar la resistencia cortante del suelo, e incrementar de esta manera la capacidad de carga de cimentaciones profundas, y adicionalmente densificar el material buscando un aumento en su peso específico y disminuyendo los vacíos, y evitar asentamientos en las estructuras. Por lo general las técnicas de compactación son aplicadas a rellenos artificiales como es el caso de presas, diques, terraplenes para vías, muelles, pavimentos, entre otros.

Para llevar a cabo la compactación primero es necesario evaluar parámetros del suelo, como el peso específico seco máximo del suelo y el contenido de agua que necesita para llegar a alcanzar la densidad. Lo cual se obtiene con los parámetros en el laboratorio la cual

mencionaremos la normativa M.MMP.1.09/06 COMPACTACION AASHTO(MMP. METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES, 2006) y hacemos referencia en lo siguiente:

### 3.2 VARIANTES DE LAS PRUEBAS(pruebas AASHTO).

Cada prueba, según su tipo, se realizará compactando el material con el pisón y en el número de capas que se indican en la tabla 1, con una de las cuatro variantes que se refieren a continuación y cuya característica se muestran en la tabla 2.

Tabla 1 **Pisones y número de capas para las pruebas AASHTO**

Tipo de prueba	Estándar	Modificada
Masa del pisón, kg	2,5 ± 0,01	4,54 ± 0,01
Número de capas del material	3	5

Tabla 2 **Características de las variantes de las pruebas de compactación**

Variantes	A	B	C	D
Tamaño máximo del material, mm	4,75 (N°4)		19,0 (¾")	
Tamaño de la muestra de prueba, kg	4,0	7,5	4,0	7,5
Diámetro int. del molde, mm	101,6 ± 0,4	152,4 ± 0,7	101,6 ± 0,4	152,4 ± 0,7
Número de golpes por capa	25	56	25	56

La variante por usarse se indicará en la especificación para el material que está siendo probado. Si ninguna variante está especificada se utilizará la variante A.

Variante A, que se aplica a materiales que pasan la malla N° 4 (4.75 mm) y se compactan en el molde de 101.6 mm de diámetro interior.

Variante B, que se aplica a materiales que pasan la malla N° 4 (4.75 mm) y se compactan en el molde de 152.4 mm de diámetro interior.

Variante C, que se aplica a materiales que pasan la malla ¾ (19mm) y se compactan en el molde de 101.6 mm de diámetro interior.

Variante D, que se aplica a materiales que pasan la malla ¾" (19mm) y se compactan en el molde de 152.4 mm de diámetro interior.



### **3.2.1.PREPARACION DE LA MUESTRA**

De acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.1.03, Secado, disgregado y cuarteo de muestras, se separa por cuarteos una porción representativa de aproximadamente 4 kg para las variantes A y C, y de aproximadamente 7.5 kg, para las variantes B y D.

En el caso de las variantes A Y B, el material se criba a través de la malla N° 4 (4.75mm), mientras que para las variantes C y D el material se criba a través de la malla ¾" (19 mm); en ambos casos se efectúa el cribado en forma manual, colocando la fracción que pasa en una charola y desechando el retenido.

Se homogeniza perfectamente el material que constituye la porción de prueba.

### **3.2.2.PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS**

A la porción preparada, se le agrega la cantidad de agua necesaria para que una vez homogenizada, tenga un contenido de agua inferior en 4 a 6 % respecto al óptimo estimado.

En el caso de que se hayan formado grumos durante la incorporación del agua, se revuelve el material hasta disgregarlo totalmente. Se mezcla cuidadosamente la porción para homogenizarla y se divide en tres fracciones aproximadamente iguales, en el caso de la prueba estándar y en cinco porciones para la prueba modificada.

Se coloca una de las fracciones de material en el molde de prueba seleccionado de acuerdo con la variante de que se trate, con su respectiva extensión, el cual se apoya el bloque de concreto para compactar el material con el pisón que corresponda, aplicando 25 golpes para el caso de la variante A y C o 56 golpes para las variantes B y D, repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa. Para el caso de la prueba estándar se utiliza el pisón de 2.5 kg, con una altura de caída libre de 30.5 cm y para el caso de la prueba modificada, la masa del pisón y la caída libre de 4.54 kg y 45.7 cm, respectivamente. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito para las capas subsecuentes.

Terminada la compactación de todas las capas, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1.5 cm como máximo; de lo contrario la prueba se repetirá utilizando de preferencia una nueva porción de prueba con masa ligeramente menor que la inicial. En el caso de que no exceda dicho



Figura 4. Elaboración del espécimen de prueba  
figura extraída de la Norma Mexicana

espesor, se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica.

A continuación, se determina la masa del cilindro con el material de prueba y se registra como  $w_i$  en g, anotándola en una hoja de registro.

Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de ser parte central se obtiene una porción representativa para determinar su contenido de agua  $w$ . de acuerdo con el procedimiento indicado en el manual M.MMP.1.04, contenido de agua; se registran los datos correspondientes a esta determinación en la misma hoja de registro.

Se incorpora las fracciones del espécimen al material que sobro al enrasarlo, en su caso, se disgregan los grumos, se agrega aproximadamente 2% de agua con respecto a la masa inicial de la porción de prueba y se repite los pasos descritos.

Se anexa una hoja de formato de registromanejado en normas SCT.

PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA

OBRA: <u>Autopista: Querétaro - Irapuato</u>	FECHA: <u>17 de Agosto de 2000.</u>
LOCALIZACIÓN: <u>Km 64+183</u>	PRUEBA: <u>22-125</u>
TRAMO: _____	OPERADOR: <u>Ernesto Hernández</u>
SUBTRAMO: _____	CALCULÓ: <u>Gabina Marcial</u>
ORIGEN: _____	
SONDEO No.: <u>PCA-7</u>	
MUESTRA No.: <u>5</u>	
DESCRIPCIÓN: <u>Arena arcillosa con 30% aproximadamente de grava (SC)</u>	

METODO: AASHTO Estándar MOLDE: R MASA EN g: 2 750  
 VARIANTE: D No. DE CAPAS: 3 No. DE GOLPES POR CAPA: 56

Espécimen número		1	2	3	4	5
Contenido de agua	Cápsula número	2	6	3	9	1
	Masa cápsula + Suelo húmedo, (g)	193,8	204,2	198,1	172,4	187,9
	Masa cápsula + Suelo seco, (g)	169,0	177,0	171,0	143,8	156,8
	Masa del agua, (g)	24,8	27,2	27,1	28,6	31,1
	Masa cápsula, (g)	38,0	47,2	52,3	28,9	41,5
	Masa suelo seco $W_s$ , (g)	131,0	129,8	118,7	114,9	115,3
Contenido de agua $w$ , (%)		18,9	21,0	22,9	24,9	27,0
Masa volumétrica	Masa del molde + Suelo húmedo $W_t$ , (g)	6 449	6 619	6 711	6 741	6 743
	Masa del molde $W_r$ , (g)	2 750	2 750	2 750	2 750	2 750
	Masa suelo húmedo $W_m$ , (g)	3 699	3 869	3 961	3 991	3 993
	Volumen del molde $V$ , (cm <sup>3</sup> )	2 133	2 133	2 133	2 133	2 133
	Masa volumétrica húmeda $\gamma_m$ , (kg/m <sup>3</sup> )	1 734	1 814	1 857	1 871	1 872
	Masa volumétrica seca $\gamma_d$ , (kg/m <sup>3</sup> )	1 458	1 499	1 511	1 498	1 474

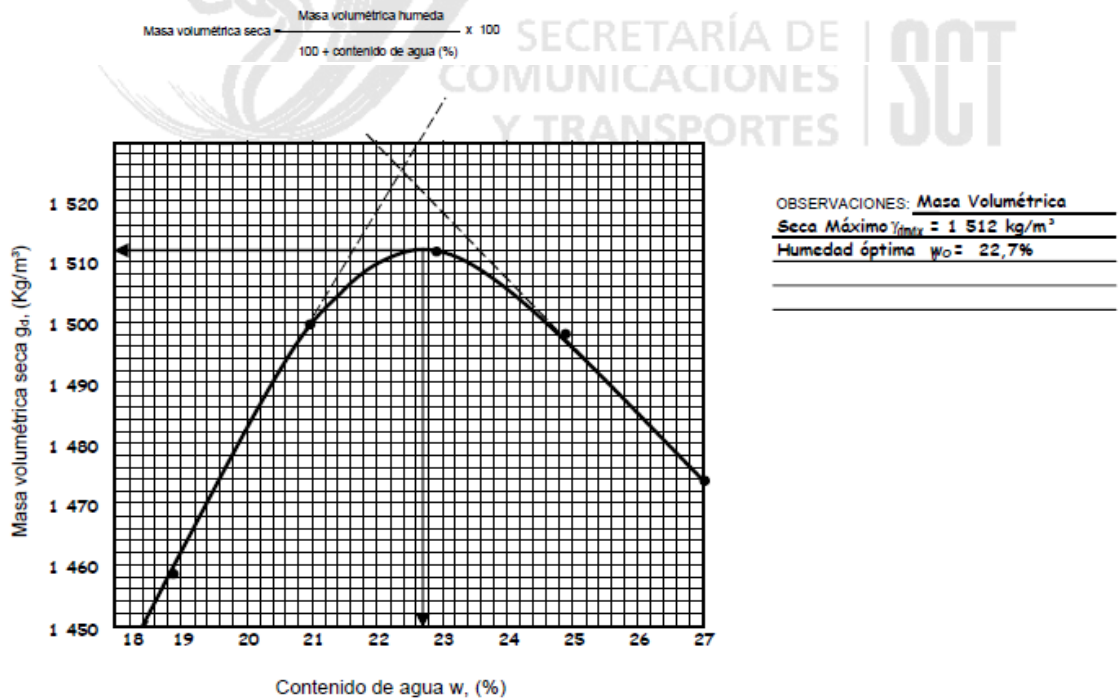


Figura 5. Formato de registro, extraída de la norma de SCT

### 3.3. ENSAYE DE COMPACTACION PORTER

La compactación es un método para aumentar mecánicamente la densidad del suelo, y es especialmente valiosa en aplicaciones de construcción. Si este proceso no se realiza correctamente, el asentamiento del suelo puede producirse, lo que resulta en costos de mantenimiento innecesarios o fallas del pavimento o la estructura.

Objetivo: Determinar el peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x.}$ ) y la humedad óptima del suelo en estudio. ( $W_{\acute{o}pt.}$ ) Esta prueba es recomendada a suelos friccionantes (gravas y arenas) que pasan la malla de 1"; suelos que comúnmente se utilizan en la construcción de terracerías.

Procedimiento: 1. Se pesan 4.5 Kg. de suelo seco al sol, que haya pasado la malla de 1" se vacían a una charola rectangular y se le aplica la cantidad de agua que se considere que es óptima, se uniformiza en la muestra. Es recomendable que el agua que se va a aplicar al suelo sea medida en una probeta, para tener una referencia de incremento de agua.

2. Se pesan 500 grs. de suelo húmedo ( $W_h$ ) y se someten a secado en la estufa; esto con el fin de determinar el contenido de agua.

3. Se pesan 4 Kg. del suelo húmedo, los cuales se introducen al molde de compactación en 3 capas, dándole 25 golpes a cada capa con la varilla punta de bala.

4. Se centra el molde con la muestra en la prensa, se le aplica al suelo una presión de  $140.6 \text{ kg/cm}^2$ ; para esto, se debe multiplicar esta presión por el área del molde, dando como resultado una carga ( $P$ ) = 27,000 Kg. aproximadamente.

5. Esta carga se aplica de la siguiente manera: De 0 a 27 ton. Deben transcurrir 5 minutos. Sostener en 27 ton. Por un minuto y se descarga en otro minuto.

6. Al aplicar esta carga, se observa si la placa que sirve de base del molde se humedeció ligeramente, si así ocurrió, esto indica que el suelo tiene la humedad óptima y la prueba se da por terminada, por lo que se procede a hacer mediciones de volumen compactado y

efectuar los cálculos. De quedar una placa inferior seca, se pesan otros 4.5 Kg. de suelo y se repite el proceso, pero ahora con un 2% más de agua con respecto a la referencia, haciendo todo el proceso antes descrito, hasta que se humedezca la placa inferior. También puede suceder que, al compactar el material, expulse agua por los lados, si esto sucede, tómesese otra muestra de 4.5 Kg. y aplíquese un 2% menos de agua con respecto a la cantidad inicial de referencia.

7. Cuando la prueba se ejecutó bien, se retira el collarín del molde y se mide la diferencia de altura del molde (L1) y el espécimen, haciendo 4 lecturas, debido a que no resulta una superficie a nivel, con éstas se obtiene un promedio y se les llama (L3).

8. Se obtiene el peso volumétrico.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_c}; \text{ donde: } W_m = \text{Peso del suelo húmedo, en Kg.}$$

$$V_c = \text{Volumen compactado, en m}^3$$

$$V_c = (\text{Área del molde})(\text{Altura del espécimen})$$

$$\text{Altura del espécimen (L}_2\text{)} = L_1 - L_3$$

9. Se obtiene el contenido de humedad óptimo en porcentaje, se retira la muestra de la estufa, se deja enfriar a la temperatura ambiente y se pesa, obteniendo el peso seco del suelo (Ws):

$$\omega = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

10. Se obtiene el peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x.}$ ):

$$\gamma_{dm\acute{a}x.} = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{\omega}{100}}$$

### **3.4. ANALISIS GRANULOMETRICO**

Los análisis granulométricos son universalmente usados en la ingeniería para la clasificación de los suelos. Parte de los criterios de suelos convenientes para caminos, campos aéreos, presas, filtros y otras construcciones se basan en el análisis granulométrico, además de obtener una buena predicción sobre el movimiento del agua en el suelo (flujo de agua); pero el realizar pruebas de permeabilidad es más aconsejable.

Es prueba permite determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas que integran los materiales empleados para terracerías, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así obtener la masa que se retiene en cada malla, calcular su porcentaje respecto al total y determinar el porcentaje de la masa que pasa.

#### **3.4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

Juegos de mallas

TABLA 1.- Juego de mallas

Unidades en mm

Fracción	Malla		Variación permisible de la abertura promedio con respecto a la denominación de la malla	Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del alambre <sup>[1]</sup>
	Designación	Abertura nominal				
Grava	3"	75,0	± 2,2	78,1	78,7	5,80
	2"	50,0	± 1,5	52,1	52,6	5,05
	1½"	37,5	± 1,1	39,1	39,5	4,59
	1"	25,0	± 0,8	26,1	26,4	3,80
	¾"	19,0	± 0,6	19,9	20,1	3,30
	½"	12,5	± 0,39	13,10	13,31	2,67
	⅜"	9,5	± 0,30	9,97	10,16	2,27
	¼"	6,3	± 0,20	6,64	6,78	1,82
	N°4	4,75	± 0,15	5,02	5,14	1,54
Arena con finos	N°10	2,0	± 0,070	2,135	2,215	0,900
	N°20	0,850	± 0,035	0,925	0,970	0,510
	N°40	0,425	± 0,019	0,471	0,502	0,290
	N°60	0,250	± 0,012	0,283	0,306	0,180
	N°100	0,150	± 0,008	0,174	0,192	0,110
	N°200	0,075	± 0,005	0,091	0,103	0,053

[1] El diámetro promedio de los alambres que forman cualquier malla, considerados separadamente en cada una de sus dos direcciones, no variará de los valores nominales en más de lo siguiente:

- 5% para mallas con aberturas mayores de 0,8 mm
- 7,5% para mallas con aberturas de 0,8 mm a 0,125 mm
- 10% para mallas con aberturas menores de 0,125 mm

Tabla 3.

### 3.4.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA PRUEBA.

La preparación de la muestra se apartan aproximadamente 15 kg, de acuerdo con lo que indica en el manual M.MMP.1.03(MMP. METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES, 2003), secado, disgregado y cuarteo de muestras. Se obtiene la masa de este material y se registra como  $W_m$  en g, con aproximación a la unidad.

Obtención de las proporciones de prueba.

Para realizar la prueba, del material apartado se separa la grava de la arena con finos, conforme al siguiente procedimiento:

Se vacía poco a poco y cuidadosamente el material sobre la malla N°4 (4,75 mm), sin sobrepasar la capacidad de la malla y recolectando el material que pasa en una charola.

Utilizando la brocha, se retiran todas las partículas que se hubieran adherido a la malla para hacerlas pasar también por ella a fin de no perder ninguna porción del material. El material retenido en la malla N°4 se coloca en otra charola.

Se vierte en la balanza la porción retenida en la malla N°4; se determina su masa, que representa la grava, registrándola como  $W_{m1}$ , en g, con aproximación a la unidad y se regresa a la charola dicha porción. De la misma forma se obtiene la masa de la fracción que pasa dicha malla, que representa la arena con finos de la muestra, registrándola como  $W_{m2}$ .

De la fracción de material que pasó la malla N°4, se obtiene una porción de 100 g para determinar su contenido de agua ( $W_2$ ), de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M·MMP·1·04, Contenido de Agua.

De la fracción restante de material que pasó la malla N°4, que tiene el contenido de agua original, se obtiene una porción que corresponda aproximadamente 200 g de material seco, registrándola como  $W_{m3}$ , con aproximación de 0,1 g.

### **3.4.3. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.**

Se preparan dos juegos, el primero para la grava y el segundo para la arena, acomodándolas en el primer caso y ensamblándolas en el segundo, en orden descendente de aberturas de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3 de este Manual y terminando cada juego con las charolas de fondo.

Para el cribado, el material se vierte poco a poco y cuidadosamente por cada malla, a la que se le aplica un movimiento vertical y de rotación horizontal, con el fin de mantener al material en constante movimiento para permitir que las partículas de tamaños menores pasen a través de las aberturas y recolectarlas en una charola, como se muestra en la Figura 6 de este Manual.

El material retenido se coloca en otra charola. Este cribado se hará considerando además que:



- La cantidad de material que se vaya colocando sobre la malla será menor que la capacidad de la misma para evitar pérdidas y facilitar el cribado.
- El paso de las partículas a través de las aberturas de la malla se efectuará libremente y sin forzarlas.
- El cribado se suspenderá cuando se estime que la masa del material que pasa dicha malla durante 1 minuto de agitación, es menor de 1 g.



Figura 6. Cribado del material a través de una malla, extraída de la Norma Mexicana

La porción del material que pasó la malla 3" (75,0mm), se criba por la malla 2" (50,0mm) y así sucesivamente por todas las mallas para grava que se indican en la Tabla 3 de este Manual, obteniendo la masa del material retenido en cada una, como se ilustra en la Figura 6 de este Manual, registrándola como  $W_i$ , en g, con aproximación a la unidad, donde el subíndice  $i$  corresponde a la designación de la malla respectiva.

#### **3.4.4. CRIBADO DE LA FRACCIÓN DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°4**

La porción del material que pasó la malla N°4, se coloca en un vaso metálico donde se le agregan aproximadamente 500cm<sup>3</sup> de agua y se deja reposar durante 12h como mínimo.

Posteriormente se lava a través de la malla N°200, para lo cual:

a) Con ayuda de una varilla, se agita en forma de ochos el contenido del vaso durante 15 s, para formar una suspensión.

b) Se deja reposar dicha suspensión durante 30 s e inmediatamente después se decanta sobre la malla N°200.

c) Para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla, se aplica sobre ésta un chorro de agua a baja presión.



d) Se repite la operación de lavado, hasta que el agua decantada salga limpia.

El material retenido en la malla N°200 se regresa al vaso metálico, utilizando un poco de agua, misma que se decanta al final de la operación, pero evitando el arrastre de partículas.

Una vez ensambladas las mallas para la arena, se vierte el material seco sobre la malla superior y se coloca la tapa.

Figura 7. Lavado del material, extraída de la Norma Mexicana

Se efectúa la operación de cribado imprimiendo al juego de mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal durante 5 min; en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico.



Figura 8. Cribado de material en mallas, extraída de la Norma Mexicana

Concluido el cribado, se quita la tapa y se separa la primera malla (N°10), la cual se agita sobre una charola hasta que se estime que la masa del material que pasa dicha malla durante 1 min no sea mayor de 1 g. El material depositado en la charola, se vierte sobre la



Figura 9. Separar el material, extraída de la Norma Mexicana

siguiente malla (N°20). Este procedimiento de cribado se repite en forma subsecuente con cada una de las mallas restantes, verificando que las partículas que queden atoradas sean regresadas a la porción retenida correspondiente mediante un cepillado de las mallas por su reverso.

Finalmente se obtienen las masas de los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan las masas respectivas como  $W_i$ , con aproximación de 0,1 g, donde el subíndice  $i$  corresponde a la designación de la malla respectiva.

Se anexa el siguiente formato de registro granulométrico.

<p>MATERIALES PARA: <u>Terraplenes de acceso</u></p> <p>MUESTRA TOMADA DE: <u>Banco</u></p>	<p>OBRA: <u>ALCANTARILLA DE TUBO Km 37-800</u></p> <p>LOCALIZACIÓN: <u>CARRERA: POZA RICA- GUTIÉRREZ ZAMORA</u></p> <p>TRAMO: <u>Km 0+000 a km 150+000</u></p> <p>SUBTRAMO: <u>Km 0+000 a km 50+000</u></p> <p>ORIGEN: <u>POZA RICA</u></p> <p>PRUEBA N°: <u>74 - 163</u></p> <p>MUESTRA N°: <u>1</u></p>
---	---

MASAS: DE LA MUESTRA ( $W_m$ )	15 290 g
DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N°4 ( $W_{r1}$ )	5 850 g
DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N°4 ( $W_{p1}$ )	9 440 g

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FECHA: 22 - julio - 2000

OPERADOR: ISAÍAS ANTONIO

CALCULISTA: ERNESTO HERNÁNDEZ

REVISÓ: ANTONIO BECERRA

CONTENIDO DE AGUA DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N°4

M A S A D E:	
RECIPIENTE N°	12
RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( $W_1$ )	95,03 g
RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( $W_2$ )	90,43 g
RECIPIENTE ( $W_3$ )	19,70 g
MASA DEL AGUA ( $W_w = W_1 - W_2$ )	4,60 g
MASA MUESTRA SECA ( $W_s = W_2 - W_3$ )	70,73 g
CONTENIDO DE AGUA ( $w = 100 \times W_w / W_s$ )	6,5 %

CORRECCIÓN DEL PESO TOTAL DE LA MUESTRA POR HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N°4

$$W_{p2} = \frac{W_{p1}}{1 + w_2} = \frac{9\ 440}{1 + 0,065} = 8\ 864$$

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4				MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°4			
MALLA	MASA RETENIDA	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL QUE PASA	MALLA	MASA RETENIDA	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL QUE PASA
	$W_1$ (g)	(%)	(%)		$W_1$ (g)	(%)	(%)
3"				N°10	54,0	16,2	44,0
2"				N°20	39,0	11,7	32,3
1½"	157	1,1	98,9	N°40	40,4	12,2	20,1
1"	395	2,7	96,2	N°60	17,8	5,4	14,7
¾"	563	3,8	92,4	N°100	19,5	5,9	8,8
½"	1 179	8,0	84,4	N°200	13,7	4,1	4,7
¼"	646	4,4	80,0	Pasa	15,6	4,7	
N°4	2 910	19,8	60,2	S U M A	200,0	60,2	
Pasa	8 864	60,2					
S U M A	14 714	100					

Por ciento que pasa, en masa

$D_{10} = 0,17$	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{4,75}{0,17} = 28,0$	Retenido en malla de 3" = 0,0 %
$D_{30} = 0,80$		G = 39,8 %
$D_{60} = 4,75$	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0,64}{0,81} = 0,79$	S = 55,5 %
		F = 4,7 %
		Pasa N°40 = 20,1 %

CLASIFICACIÓN SCT Y DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: ARENA MAL GRADUADA (SP)

Observaciones: \_\_\_\_\_

Figura 10. Formato de registro granulométrico, extraída de la SCT.

Se determinan, mediante las siguientes expresiones, los coeficientes de uniformidad  $C_u$  y de curvatura  $C_c$ , que se emplean para juzgar la graduación del material como se indica:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde: 
$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

$C_u$ = Coeficiente de uniformidad del material, (adimensional)

$C_c$ = Coeficiente de curvatura del material, (adimensional)

$D_{10}$ = Tamaño de las partículas para el cual el 10% del material es menor que este tamaño, determinado gráficamente de la curva granulométrica, (mm)

$D_{30}$ = Tamaño de las partículas para el cual el 30% del material es menor que este tamaño, determinado gráficamente de la curva granulométrica, (mm)

$D_{60}$ = Tamaño de las partículas para el cual el 60% del material es menor que este tamaño, determinado gráficamente de la curva granulométrica, (mm)

### **3.5. PROCEDIMIENTOS**

#### **3.5.1. LIMITE LÍQUIDO**

Es el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando los suelos alcanzan porcentajes de humedad mayores al límite líquido, su comportamiento será el de un fluido viscoso.

Además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos, puede ser útil para determinar problemas de potencial de volumen, para estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el Límite plástico para predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

En donde la determinación de correlaciones de los suelos como la compresibilidad, permeabilidad y la compactibilidad, es usado el límite líquido en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad.

Teniendo en cuenta la Norma INV E-106-13 Y 107-13 para la determinación de Límite Líquido se requiere material que pase el tamiz N°40 (425  $\mu\text{m}$ ) en una cantidad de por lo menos 150 g.

En la preparación de la muestra se realiza por el método de preparación de vía húmeda, con los siguientes pasos:

- Por medio de métodos visuales y manuales se debe garantizar que el material no contenga granos que sean retenidos por el tamiz N°40 (425  $\mu\text{m}$ ). Una vez se esté seguro de la situación anterior, con ayuda de agua destilada y una espátula se prepara el material variando su humedad de manera que se requieran golpes en el rango de 15-35 para cerrar su ranura. (En caso que el material contenga un porcentaje importante de partículas mayores a 425  $\mu\text{m}$  se debe secar el material al aire y realizar el tamizado correspondiente).
- Una vez realizada la mezcla del material, verificar de nuevo la no existencia de material con diámetro mayor a 425  $\mu\text{m}$ . De encontrar la existencia de este,

remover las partículas manualmente cuando esto sea posible. De no ser posible realizar este procedimiento manualmente, se procede de la siguiente manera:

- Se cubre el material con agua dentro de un recipiente con el fin de eliminar terrones y evitar que partículas finas se adhieran a partículas gruesas.
- Verter el material sobre un tamiz N°40 que descansa sobre un recipiente limpio, y con suficiente agua y creando remolinos manualmente, se deben lavar las partículas de grava y arena retenidas en el tamiz N° 40 para luego retirarlas.
- El material que pasa por el tamiz N° 40 debe llevarse a un proceso de reducción de humedad, hasta llegar al valor necesario para obtener el cerramiento de la abertura en un intervalo de 15-35 golpes.

Se determina el Limite Líquido como el Contenido de Humedad en Porcentaje correspondiente al corte de la línea de tendencia en los 25 golpes.

### **3.5.2. LIMITE PLÁSTICO**

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios en primer lugar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente.

Se define el límite plástico como la humedad más baja con la que pueden formarse con un suelo cilindros de 3 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros presenten grietas.

Teniendo en cuenta la Norma INV E-106-13 Y 107-13 para la determinación de Limite Líquido se requiere material que pase el tamiz N°40 (425  $\mu\text{m}$ ) en una cantidad de por lo menos 15 g.



Del suelo preparado para la realización del ensayo del límite líquido se toma una porción de mínimo 15 g. Se lleva su estado de humedad hasta que el material permita formar rollos y el mismo no se pegue al ser manipulado con las manos. La reducción de humedad, se puede realizar por moldeo con espátula o exponiendo la muestra a corrientes de aire.

- Se selecciona una porción de aproximadamente 1,5 – 2,0 g, de la muestra previamente preparada.
- Se hace rodar la porción de muestra entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio esmerilado, aplicando una presión constante y no superior a la necesaria para formar rollos.
- Se debe formar un rollo de diámetro uniforme en la totalidad de la longitud, hasta que este alcance un diámetro de aproximadamente 3,2 mm. (La velocidad de la operación debe oscilar entre 60 y 90 ciclos por minuto. Un ciclo se refiere al recorrido de la mano hacia adelante y hacia atrás. Esta operación se debe realizar en un tiempo no mayor a dos minutos.)
- Si al alcanzar este diámetro el rollo no presenta agrietamiento y desmoronamiento, se tiene un material con humedad superior a su límite plástico. En tal caso se junta de nuevo todo el material formando una esfera, manipulándola con las manos, produciendo así su pérdida de humedad.
- Se repiten los pasos anteriores hasta lograr que una vez el material alcance el diámetro de 3,2 mm, se produzca un agrietamiento y desmoronamiento del mismo.
- Se colocan en un recipiente de masa conocida y se registra el peso de muestra más recipiente. (Se deben poner dentro del recipiente por lo menos 6 g de muestra).

El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de Límite Líquido y Límite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto,

indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.(Luna, 2012)

### **3.6. EQUIPO**

El equipo para la ejecución de las pruebas debe de estar en condiciones de operación, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad.

#### **3.6.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

- Moldes: deben de ser metálicos de forma cilíndrica, de  $101,6 \pm 0,4$  y  $152,4 \pm 0,7$  mm de diámetro interior, dependiendo de la variante de la prueba que se realice, de volúmenes V y masas  $W_t$  conocidos, provistos de una placa de base metálica a la cual se asegura el cilindro y una extensión o collarín removible con diámetro interior igual al del cilindro, con la forma y dimensiones.
- Pisones: deben de ser metálicos, con cara inferior de apisonado circular, de 50,8 mm de diámetro y acoplados a una guía metálica tubular.
- Regla: es metálica, de arista cortante, de aproximadamente 25 cm de largo.
- Balanzas: con capacidad mínima de 15 kg y aproximación de 5 g; otra con capacidad mínima de 2 kg y aproximación de 0,1 g.
- Horno: eléctrico o de gas, con capacidad suficiente para contener el material de prueba, con termostato capaz de mantener una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  y aproximación de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Base cúbica: de concreto o de otro material de rigidez similar con dimensiones mínimas de 40 cm por lado.
- Probetas: con capacidad de  $500 \text{ cm}^3$  y graduaciones a cada  $10 \text{ cm}^3$ ; otra con capacidad de  $1\,000 \text{ cm}^3$  y graduaciones a cada  $10 \text{ cm}^3$ .
- Mallas  $\frac{3}{4}$ " y n°4: fabricadas con alambres de bronce o de acero inoxidable, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura nominal de 19 y 4,75 mm respectivamente, que cumplan con las tolerancias indicadas en la tabla 3 del manual m-mmp-1-06,

granulometría de materiales compactables para terracerías. el tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de  $206 \pm 2$  mm de diámetro interior y  $68 \pm 2$  mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

- Cápsulas: metálicas, con tapa.
- Charolas: de lámina galvanizada, de forma rectangular de  $40 \times 70 \times 10$  cm.
- Cucharón: de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un paralelepípedo rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.
- Aceite: para lubricar las paredes de los moldes.
- Aparato de Casa Grande: la cuchara o cazuela de Casa Grande es el aparato usado en ingeniería civil y geotecnia, para determinar el límite líquido de los suelos. Compuesto por una cazuela normalmente de bronce, la cual esta fija a un dispositivo de rotación por manivela, que permite la elevación y la caída (10mm) de la cazuela produciendo un golpe de rebote contra la base del aparato.
- Ranurador: es un elemento clave en la realización del ensayo. Normalmente hecho de acero inoxidable y de forma plana o curva, con el cual se realiza la ranura en el material de ensayo. Puede hacer parte de este un bloque de acero de dimensiones exactas y con el cual se realiza la verificación de la altura de caída de la cazuela.
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,1 g o 0,1 % del peso de la muestra.
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Tamiz N° 40 ( $425 \mu\text{m}$ ).
- Recipientes: todos los necesarios para determinar el contenido de humedad y cuyas características cumplan lo estipulado por la INV. E-125.
- Espátula: Debe ser de hoja flexible con una longitud que oscile entre 75-100 mm y un ancho de 20 mm.
- Placa de vidrio esmerilado: Debe ser lo suficientemente grande para trabajar con comodidad el material y maniobrar sin problema la espátula.

- Capsula para Evaporación: preferiblemente de porcelana.
- Capsulas para determinar el contenido de humedad
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,01 g
- Calibrador: debe trabajar con aproximación de 0,1 cm

### **3.7. LIMITACIONES**

Algunas de las limitaciones de trabajar con suelos arcillosos y que se deben de tener en cuenta en las pruebas o en los estudios son:

- Alteraciones en el fraguado y endurecimiento.
- Disminución de resistencias y de durabilidad
- Las pérdidas de resistencia mecánicas en las sustancias disueltas
- Fenómenos expansivos a largo plazo
- En los contenidos de sulfato las alteraciones en el fraguado y endurecimiento
- Perdidas de resistencia
- En los hidratos de Carbono el impide el fraguado o produce alteraciones en el mismo y en el endurecimiento.
- Graves alteraciones del fraguado y endurecimiento en sustancias orgánicas solubles en eter
- Fuertes caídas de resistencia
- Riesgos de erosión
- Condiciones de drenaje
- Peligros de inundación

## **CAPITULO IV.- RESULTADOS Y EXPERIENCIAS**

Los resultados obtenidos de los ensayos y las pruebas correspondientes se llevaron a cabo en el laboratorio de mecánica de suelo “Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente”, en base a los materiales obtenidos encortes del nuevo libramiento sur con las coordenadas 16°38′23.9” N y 93°06′00.4” W.A(en el municipio de Suchiapa, Chiapas.). Continuación se presenta los resultados de análisis granulométricos y pruebas índices de los materiales propuestos tanto en estado natural como de las mezclas efectuadas.

### **4.1.ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS MATERIALES**

Tabla 4 Análisis granulométrico de arcilla lutita – café tono claro

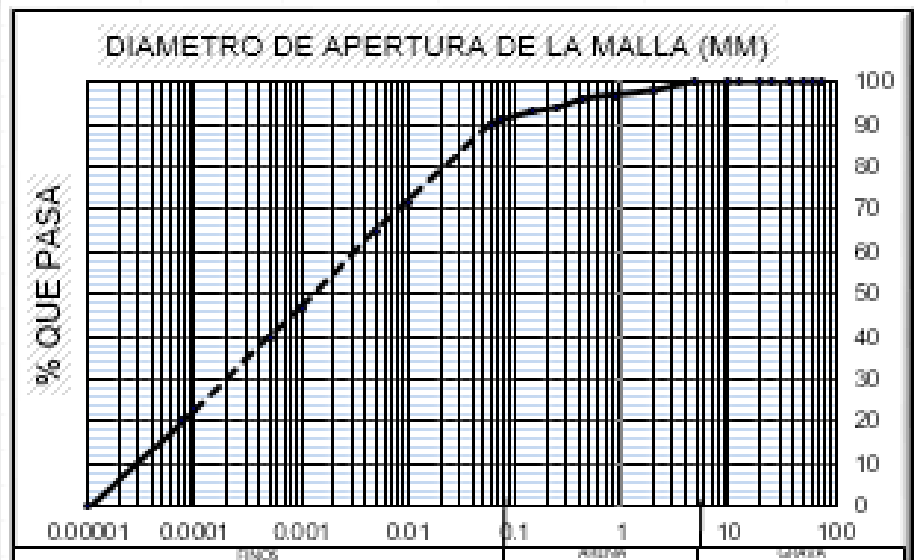
#### **4.1.1.ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA ARCILA LUTITA – CAFÉ TONO CLARO**

DESCRIPCION DEL MATERIAL:				ARCILLA LUTITA DE COLOR CAFÉ A TONO CLARO	
<b>LA MALLA N° 4.</b>				<b>PRUEBAS DE LIMITES</b>	
MALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	× RETENIDO ACUMULATIVO	× QUE PASA LA MALLA	RECIPIENTE N°	3
75 (3")				PW + RECIPIENTE (1)	59.6
63 (2 1/2")				PS + RECIPIENTE (2)	45.5
50 (2")				PESO DE AGUA (1) - (2) = (3)	14.1
37.5 (1 1/2")				PS + RECIPIENTE (2)	45.5
25 (1")				PESO DE RECIPIENTE (4)	18.1
19 (3/4")				P. SECO NETO = (2) - (4) = (5)	27.4
12.5 (1/2")				<b>LIMITE LIQUIDO (3) / (5) * 100</b>	<b>51.46</b>
9.5 (3/8")				RECIPIENTE N°	13
6.30 (1/4")				PW + RECIPIENTE (7)	21.2
4.75 (N° 4")	0	0	100	PS + RECIPIENTE (8)	20.1
PASA (N° 4")	4320	100	0	PESO DE AGUA (7) - (8) = (9)	1.1
SUMAS	4320	100		PS + RECIPIENTE (8)	20.1
<b>DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA N° 4 ( POR LAVADO).</b>				PESO DE RECIPIENTE (10)	14.5
MALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	× RETENIDO ACUMULATIVO	× QUE PASA LA MALLA	P. SECO NETO = (8) - (10) =	5.6
2.00 (10)	4	2	98	<b>LIMITE PLASTICO (9) / (11) * 100</b>	<b>19.64</b>
0.85 (20)	3	1.5	97	<b>INDICE PLASTICO = (L.L.) - (L.P).</b>	<b>31.82</b>
0.425 (40)	2	1	96	MOLDE NUMERO	1
0.250 (60)	3	1.5	94	LONG. DE MOLDE mm.	10
0.150 (100)	2	1	93	LONG. DE BARRA mat. Seco	8.85
0.075 (200)	4	2	91	<b>% DE CONTRACCION</b>	<b>11.5</b>
PASA N° (200)	182	91	0		
SUMAS	200	100			
<b>PRUEBA DE ABSORCION</b>		<b>PRUEBA DE DENSIDAD</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	
P. HUMEDO (PW)		PESO MATERIAL gms.		PESO MATERIAL HUMEDO:	166.3
P. SECO (PS)		P. MATRAZ + AGUA gms.		PESO MATERIAL SECO:	154.7
AGUA ABSORVIDA		P. MATRAZ + AGUA + MATERIAL gms.		CONTENIDO DE AGUA:	11.6
ABSORCION		DENSIDAD REL.		% DE HUMEDAD:	7.50
G: 0 % S: 9 % F: 91 %				CLASIFICACION SUCS	CH

DESCRIPCIÓN MATERIAL:		ARCILLA LUTITA DE COLOR CAFÉ A TONO CLARO		FECHA DE TERMINO	
SONDEO:		PROFUNDIDAD:		LABORATORISTA:	
				LOCALIDAD TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS	

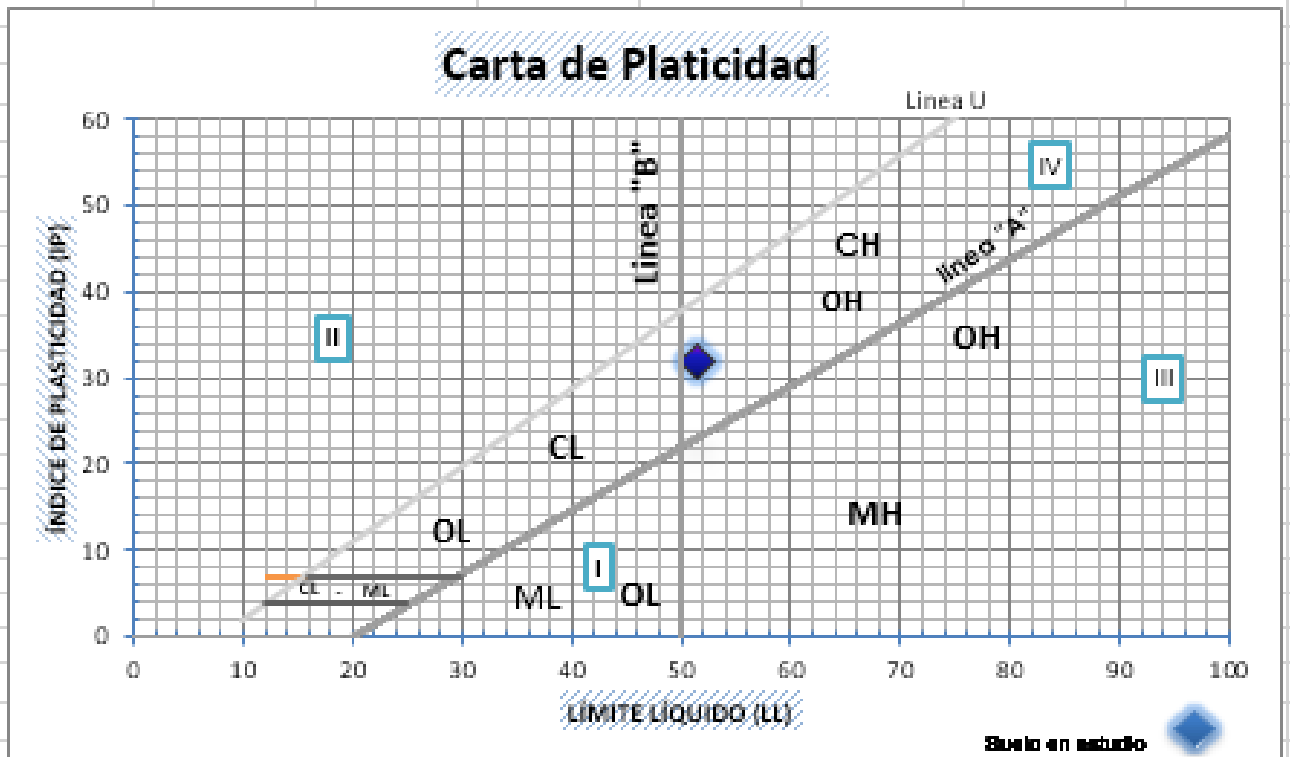
HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA NÚMERO 4.75		PESO TOTAL DE LA MUESTRA	3618	GRAMOS
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)		PESO ESPECÍFICO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )		
PESO EN GRAMOS DE		PESO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
RECIPIENTE NÚM.	H-0001	PESO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
TARA + MUESTRA HÚMEDA (Wt + Wm)	166.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA: (Gr) - <b>2.74</b>		
TARA + MUESTRA SECA (Wt + WJ)	154.7	CLASIFICACIÓN PARCIAL: <b>CH</b>		
PESO AGUA (Wm - WJ) - Wu	11.6			
TARA (Wt)	0			
PESO MUESTRA SECA (WJ)	154.7			
CONTENIDO DE AGUA, [u (%)]	7.50			
PESO VOLUMETRICO SUELTO GR/CM <sup>3</sup>		TAMAÑO MÁXIMO DEL MATERIAL	4.75	mm

No. MALLA	% QUE PASA
75.00	100
63.00	100
50.00	100
37.50	100
25.00	100
19.00	100
12.50	100
9.50	100
4.75	100
2.00	98
0.85	97
0.425	96
0.250	94
0.150	93
0.075	91



<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>		D10-	0.00003		
k-	CD10 <sup>-2</sup>	D30-	0.0002		
C (VARIA DE 41 A 146)		D60-	0.0022	% GRAVAS, G-	0.0
C-	116	Cu-	84.6	% ARENAS, S-	9.0
<b>K - 7.3416E-03</b>	<b>cm/seg</b>	Cc-	0.699	% FINOS, F-	91
CLASIFICACIÓN SUCS -	<b>CH</b>				

DESCRIPCIÓN:	ARCILLA LUTITA DE COLOR CAFÉ A TONO CLARO			LABORATORISTA:	
			Sondeos:		PROF(m):
Según el análisis granulométrico se tiene:					
Porcentaje en peso de suelo grueso ret. =	9.0	%	Entonces el suelo es:		<b>FINO</b>
Porcentaje en peso de suelo fino =	91.0	%	Si más del 50% retiene #4 clasificar según: Granulometría		
Límite líquido (wL) =	51.46	%	Para más del 50% para #200 se clasifica: según: Carta de plasticidad		
Límite Plástico (wP) =	19.6	%			
Contracción lineal (CL) =	11.50	%	Índice de plasticidad (IP) =	31.82	%



Según clasificación S.U.C.S., el suelo analizado es =	<b>CH</b>
Descripción del suelo:	ARCILLA LUTITA DE COLOR CAFÉ A TONO CLARO



## 4.1.2. ANÁLISIS

SIS

GRANULO

Tabla 5 Análisis granulométrico de caliza alterada – café a tono blanquizco

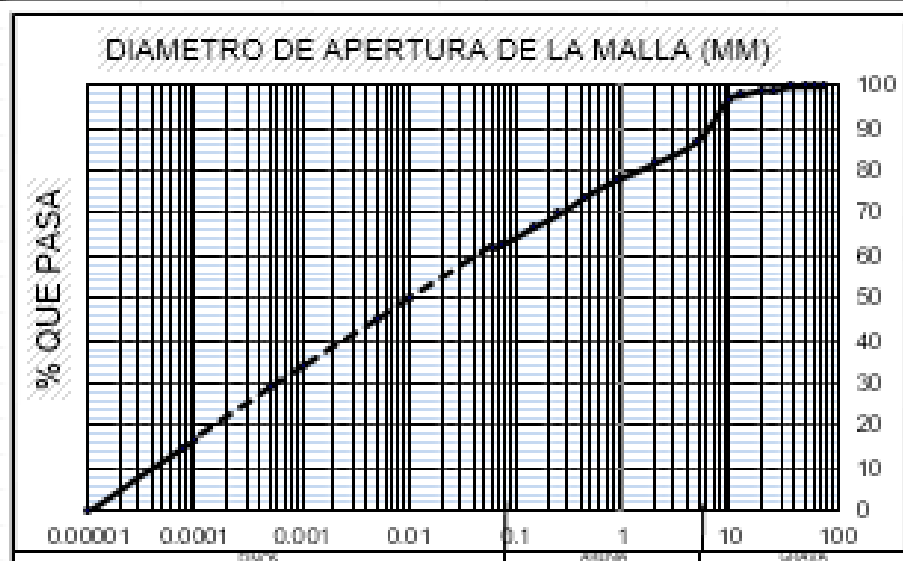
## MÉTRICOS DE LA CALIZA ALTERADA – CAFÉ A TONO BLANQUIZCO

DESCRIPCION DEL MATERIAL:				CALIZA ALTERADA COLOR CAFÉ A TONO BLANQUIZCO	
<b>LA MALLA N° 4.</b>				<b>PRUEBAS DE LIMITES</b>	
MALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA	RECIPIENTE N°	7
75 (3")				PW + RECIPIENTE (1)	51
63 (2 1/2")				PS + RECIPIENTE (2)	42.6
50 (2")				PESO DE AGUA (1) - (2) = (3)	8.4
37.5 (1 1/2")	0	0	100	PS + RECIPIENTE (2)	42.6
25 (1")	62	1	99	PESO DE RECIPIENTE (4)	13.4
19 (3/4")	20	0	99	P. SECO NETO = (2) - (4) = (5)	29.2
12.5 (1/2")	60	1	98	<b>LIMITE LIQUIDO (3) / (5) * 100</b>	<b>28.77</b>
9.5 (3/8")	48	1	97	RECIPIENTE N°	9
6.30 (1/4")				PW + RECIPIENTE (7)	21.4
4.75 (N° 4")	490	10	87	PS + RECIPIENTE (8)	20.6
PASA (N° 4")	4500	87	0	PESO DE AGUA (7) - (8) = (9)	0.8
SUMAS	5180	100		PS + RECIPIENTE (8)	20.6
<b>DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA N° 4 (POR LAVADO).</b>				PESO DE RECIPIENTE (10)	16.4
MALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA	P. SECO NETO = (8) - (10) =	4.2
2.00 (10)	12	5	82	<b>LIMITE PLASTICO (9) / (11) * 100</b>	<b>19.05</b>
0.85 (20)	9	4	78	<b>INDICE PLASTICO = (L.L) - (L.P).</b>	<b>9.72</b>
0.425 (40)	8	3	74	MOLDE NUMERO	9
0.250 (60)	9	4	70	LONG. DE MOLDE mm.	10.12
0.150 (100)	8	3	67	LONG. DE BARRA mat. Seco	<b>9.83</b>
0.075 (200)	10	4	63	<b>% DE CONTRACCION</b>	<b>2.87</b>
PASA N° (200)	144	63	0		
SUMAS	200	87			
<b>PRUEBA DE ABSORCION</b>		<b>PRUEBA DE DENSIDAD</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	
P. HUMEDO (PW)		PESO MATERIAL gms.		PESO MATERIAL HUMEDO:	224.1
P. SECO (PS)		P. MATRAZ + AGUA gms.		PESO MATERIAL SECO:	218.7
AGUA ABSORVIDA		P. MATRAZ - AGUA - MATERIAL gms.		CONTENIDO DE AGUA:	5.4
ABSORCION		DENSIDAD REL.		% DE HUMEDAD:	2.47
G: 3 % S: 23 % F: 74 %				CLASIFICACION SUCS	OL-CL

DESCRIPCIÓN MATERIAL:		CALIZA ALTERADA DE COLOR CAFÉ A TONO BLANQUISCO		FECHA DE TERMINO	
SONDEO:	PROFUNDIDAD:		LOCALIDAD	TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS	
				LABORATORISTA:	

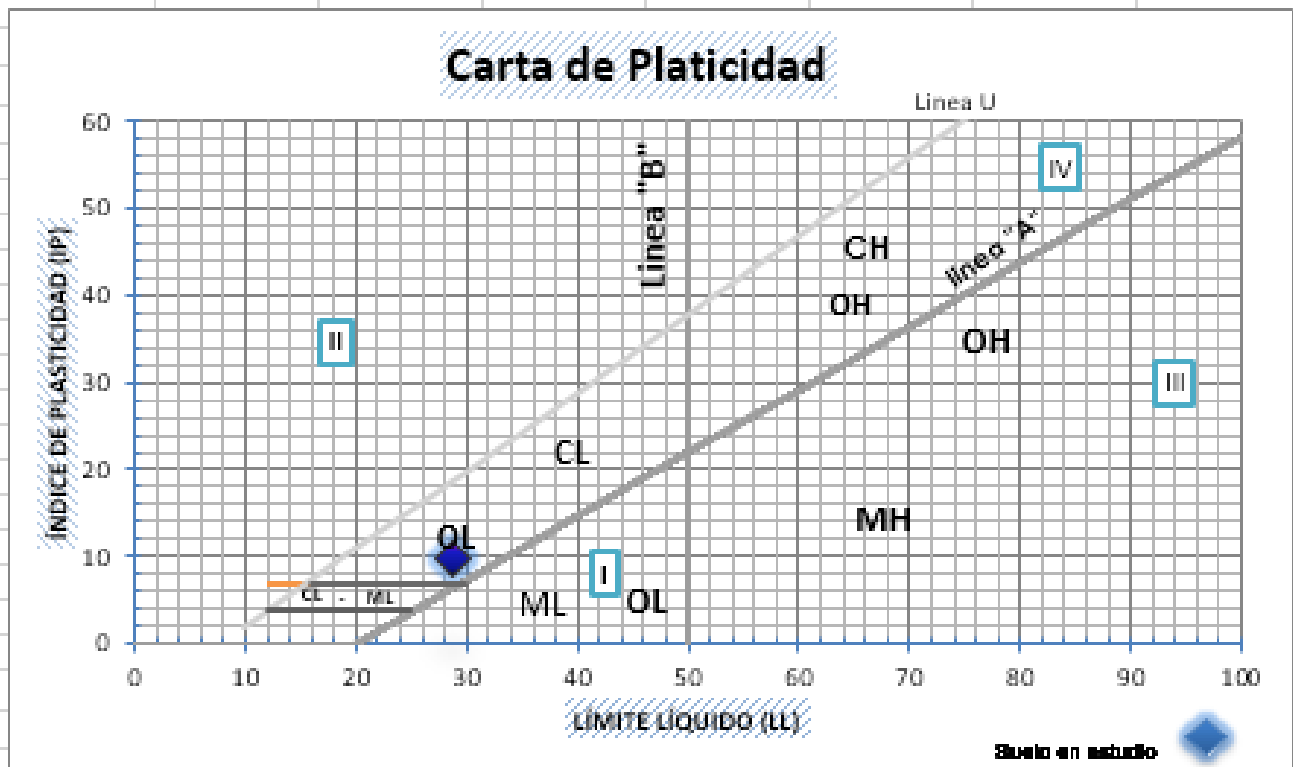
HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA NÚMERO 4.75		PESO TOTAL DE LA MUESTRA	354g	GRAMOS
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)		PESO ESPECÍFICO SUELTO ( $K_s/m^3$ )		
PESO EN GRAMOS DE		PESO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
RECIENTE NÚM.	H-0001	PESO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
TARA + MUESTRA HÚMEDA ( $W_t + W_m$ )	224.1	GRAVEDAD ESPECÍFICA: ( $G_r$ ) -		
TARA + MUESTRA SECA ( $W_t + W_d$ )	218.7	CLASIFICACIÓN PARCIAL:		
PESO AGUA ( $W_m - W_d$ ) - $W_u$	5.4	2.64		
TARA ( $W_t$ )	0	OL-CL		
PESO MUESTRA SECA ( $W_d$ )	218.7			
CONTENIDO DE AGUA, [ $u$ ] (%)	2.47			
PESO VOLUMETRICO SUELTO GR/CM <sup>3</sup>		TAMAÑO MÁXIMO DEL MATERIAL	37.50	mm

No. MALLA	% QUE PASA
75.00	100
63.00	100
50.00	100
37.50	100
25.00	99
19.00	99
12.50	98
9.50	97
4.75	87
2.00	82
0.85	78
0.425	74
0.250	70
0.150	67
0.075	63



<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>		D10-	0.00004		
k-	$C D_{10}^{-2}$	D30-	0.0006		
C (VARIAR DE 41 A 146)		D60-	0.0450	% GRAVAS, G-	13.0
C-	116	Cu-	1125.0	% ARENAS, S-	24.0
<b>K -</b>	<b>1.354E-07</b>	Cc-	0.200	% FINOS, F-	63
CLASIFICACIÓN SUCS-	<b>OL-CL</b>				

DESCRIPCIÓN:	CALIZA ALTERADA COLOR CAFÉ A TONO BLANQUISCO			LABORATORISTA:	
			Sondeos :		PROF(m):
Según el análisis granulométrico se tiene:					
Porcentaje en peso de suelo grueso ret. =	26.0	%	Entonces el suelo es:		<b>FINO</b>
Si más del 50% retiene #4 clasificar según:					
Porcentaje en peso de suelo fino =	74.0	%	Granulometría		
Límite líquido (wL) =	28.77	%	Por arriba del 50% para #200 no clasifica según:		Carta de plasticidad
Límite Plástico (wP) =	19.1	%			
Contracción lineal (CL) =	2.87	%	Índice de plasticidad (IP) =	9.72	%



Según clasificación S.U.C.S., el suelo analizado es =	<b>OL-CL</b>
Descripción del suelo:	CALIZA ALTERADA COLOR CAFÉ A TONO BLANQUISCO



#### 4.1.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA ARCILLA NEGRA (NO SE USO PARA EL ANÁLISIS)

Tabla 6 Análisis granulométrico de arcilla negra, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

DESCRIPCION DEL MATERIAL:				ARCILLA NEGRA	
<b>LA MALLA N° 4.</b>				<b>PRUEBAS DE LIMITES</b>	
MALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA	RECIPIENTE N°	5
75 (3")				PW + RECIPIENTE (1)	67.9
63 (2 1/2")				PS + RECIPIENTE (2)	54.3
50 (2")				PESO DE AGUA (1) - (2) = (3)	13.6
37.5 (1 1/2")	0	0	100	PS + RECIPIENTE (2)	54.3
25 (1")	0	0	100	PESO DE RECIPIENTE (4)	17.3
19 (3/4")	16	1	99	P. SECO NETO = (2) - (4) = (5)	37
12.5 (1/2")	8	0	99	<b>LIMITE LIQUIDO (3) / (5) * 100</b>	<b>36.76</b>
9.5 (3/8")	2	0	99	RECIPIENTE N°	10
6.30 (1/4")				PW + RECIPIENTE (7)	20.9
4.75 (N° 4")	10	0	99	PS + RECIPIENTE (8)	20
PASA (N° 4")	3984	99	0	PESO DE AGUA (7) - (8) = (9)	0.9
SUMAS	4020	100		PS + RECIPIENTE (8)	20
<b>DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA N° 4 ( POR LAVADO).</b>				PESO DE RECIPIENTE (10)	15.1
MALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA	P. SECO NETO = (8) - (10) =	4.9
2.00 (10)	8	4	95	<b>LIMITE PLASTICO (9) / (11) * 100</b>	<b>18.37</b>
0.85 (20)	6	3	92	<b>INDICE PLASTICO = (L.L) - (L.P).</b>	<b>18.39</b>
0.425 (40)	3	1	91	MOLDE NUMERO	3
0.250 (60)	4	2	89	LONG. DE MOLDE mm.	10.06
0.150 (100)	6	3	86	LONG. DE BARRA mat. Seco	<b>9.27</b>
0.075 (200)	7	3	82	<b>% DE CONTRACCION</b>	<b>7.85</b>
PASA N° (200)	166	82	0		
SUMAS	200	99			
<b>PRUEBA DE ABSORCION</b>		<b>PRUEBA DE DENSIDAD</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	
P. HUMEDO (PW)		PESO MATERIAL gms.		PESO MATERIAL HUMEDO:	155.8
P. SECO (PS)		P. MATRAZ + AGUA gms.		PESO MATERIAL SECO:	142.8
AGUA ABSORVIDA		P. MATRAZ - AGUA - MATERIAL gms.		CONTENIDO DE AGUA:	13
ABSORCION		DENSIDAD REL.		% DE HUMEDAD:	9.10
G: 1 % S: 17 % F: 82 %				CLASIFICACION SUCS	CL



**4.1.4. ANALISIS DE MUESTRA DE ARCILLA NEGRA, QUE SE PLASMA PARA DIFERENCIAR EL PORCENTAJE DE PLASTICIDAD DEL MATERIAL, PERO NO SE EMPLEA PARA EL**

Tabla 7 Análisis de muestra de arcilla negra, en donde se muestran los porcentajes de plasticidad.

DESCRIPCIÓN MATERIAL:		ARCILLA NEGRA		FECHA DE TERMINO	
SONDEO:		LOCALIDAD		LABORATORISTA:	
PROFUNDIDAD:		TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS			
HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA NÚMERO 4.75				PESO TOTAL DE LA MUESTRA	366g GRAMOS
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)				PESO ESPECÍFICO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )	
PESO EN GRAMOS DE		PESO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).			
RECIPIENTE NÚM.	H-0001	PESO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).			
TARA + MUESTRA HÚMEDA (W <sub>t</sub> + W <sub>m</sub> )	155.8	GRAVEDAD ESPECÍFICA: (G <sub>r</sub> ) -			
TARA + MUESTRA SECA (W <sub>t</sub> + W <sub>d</sub> )	142.8	2.49			
PESO AGUA (W <sub>m</sub> - W <sub>d</sub> ) - W <sub>u</sub>	13	CLASIFICACIÓN PARCIAL:			
TARA (W <sub>t</sub> )	0	CL			
PESO MUESTRA SECA (W <sub>d</sub> )	142.8	TAMAÑO MÁXIMO DEL MATERIAL			
CONTENIDO DE AGUA, [w] (%)	9.10	25.00 mm			
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO GR/CM <sup>3</sup>					

No. MALLA	% QUE PASA
75.00	100
63.00	100
50.00	100
37.50	100
25.00	100
19.00	99
12.50	99
9.50	99
4.75	99
2.00	95
0.85	92
0.425	91
0.250	89
0.150	86
0.075	82

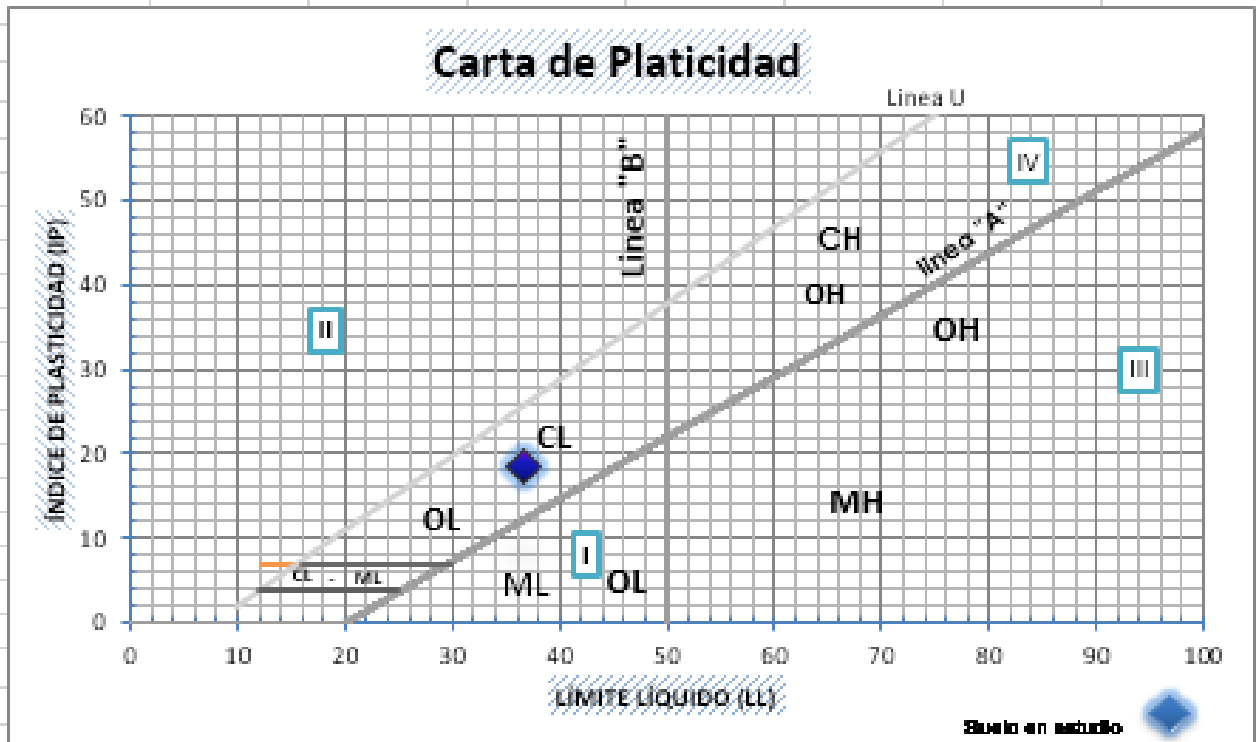
**DIAMETRO DE APERTURA DE LA MALLA (MM)**

<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>		D10-	0.00002		
k-	GD10 <sup>2</sup>	D30-	0.0002		
C (VARIANTE 41A 146)		D60-	0.0075	% GRAVAS, G-	1.0
C-	116	Cu-	375.0	% ARENAS, S-	17.0
K-	4.64E-08	Cc-	0.353	% FINOS, F-	82
CLASIFICACIÓN SUCS -		CL			

**PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACION.**

LOCALIZACIÓN:	TUTTLA GUTIERREZ, CHIAPAS		
DESCRIPCIÓN:	<b>ARCILLA NEGRA</b>		LABORATORISTA:
		Sondeos:	PROF(m):
Según el análisis granulométrico se tiene:			
Porcentaje en peso de suelo grueso ret. =	18.0	%	Entonces el suelo es: <b>FINO</b>
			Sim&#224; del 50% retiene #4 clasificar se gún:
Porcentaje en peso de suelo fino =	82.0	%	Granulometr&#224;
L&#237;mite l&#237;quido (wL) =	36.76	%	Para sim&#224; del 50% para #200 no clasifica:
			según: Carta de plasticidad
L&#237;mite Pl&#225;stico (wP) =	18.4	%	
Contracci&#224;n lineal (CL) =	7.85	%	Índice de plasticidad (IP) = 18.39 %



Según clasificación S.U.C.S., el suelo analizado es =	<b>CL</b>
Descripción del suelo:	ARCILLA NEGRA



## **4.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS Y PRUEBAS INDICE DE LAS MEZCLAS REALIZADAS**

Tabla 8 Análisis granulométrico y pruebas de la mezcla 60-40 donde se muestran los todos los resultados.

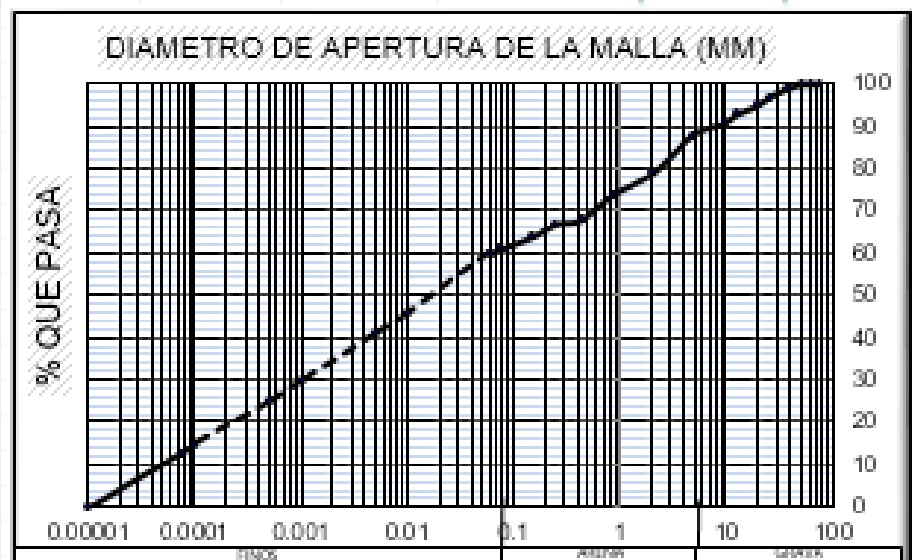
P. MATERIA + TARA:	7300	VOLUMEN DE TARA:	3078	PROFUNDIDAD:	
PESO DE TARA:	3290	P. VOL. S. S.	1306	L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	P. MUESTRA TOTAL
PESO NETO:	4020	DESPERDICIO:		%	TAMAÑO MÁXIMO:
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: MEZCLA 60 % CALICHE Y 40 % ARCILLA LUTITA.</b>					
<b>HASTA LA MALLA N° 4.</b>				<b>PRUEBAS DE LÍMITES</b>	
HALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRs	X RETENIDO ACUMULATIVO	X QUE PASA LA MALLA	RECIPIENTE N°	
75 (3")				PW + RECIPIENTE (1)	42.1
60 (2 1/2")				PS + RECIPIENTE (2)	34.9
50 (2")	0	0	100	PESO DE AGUA (1) - (2) - (3)	7.2
37.5 (1 1/2")	80	1	99	PS + RECIPIENTE (2)	34.9
25 (1")	140	2	97	PESO DE RECIPIENTE (4)	15.1
19 (3/4")	100	2	95	P. SECO NETO - (2) - (4) - (5)	19.8
12.5 (1/2")	100	2	93	<b>LÍMITE LÍQUIDO (3) / (5) * 100</b>	<b>36.36</b>
7.5 (3/8")	80	2	91	RECIPIENTE N°	3
6.30 (1/4")				PW + RECIPIENTE (7)	23.2
4.75 (N° 4")	200	3	88	PS + RECIPIENTE (8)	22.4
PASA (N° 4")	5312	88	0	PESO DE AGUA (7) - (8) - (9)	0.8
SUMAS	6012	100		PS + RECIPIENTE (8)	22.4
<b>GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA N° 4 [POR LOTADO].</b>				PESO DE RECIPIENTE	18.1
HALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRs	X RETENIDO ACUMULATIVO	X QUE PASA LA MALLA	P. SECO NETO - (8) - (10) - (11)	4.3
2.00 (80)	21.5	9	79	<b>LÍMITE PLÁSTICO (9) / (11) * 100</b>	<b>18.60</b>
0.85 (20)	12.3	5	74	<b>ÍNDICE PLÁSTICO - (L.L.) - (L.P.).</b>	<b>17.76</b>
0.425 (40)	12.3	6	68	MOLDE NUMERO	3
0.250 (60)	3	1	67	LONG. DE MOLDE mm.	10.01
0.150 (100)	7.2	3	64	LONG. DE BARRA mat. Saco	9.48
0.075 (200)	6.2	3	61	<b>% DE CONTRACCIÓN</b>	<b>5.29</b>
PASADO (200)	137.5	61	0		
SUMAS	200	88			
<b>PRUEBA DE ABSORCIÓN</b>		<b>PRUEBA DE DENSIDAD</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	
P. HUMEDO (PW)		PESO MATERIAL (g)		PESO MATERIAL HUMEDO:	
P. SECO (PS)		P. MATERIA - AGUA (g)		PESO MATERIAL SECO:	
AGUA ABSORBIDA		P. MATERIA - SECO + MATERIA (g)		CONTENIDO DE AGUA:	
ABSORCIÓN		DENSIDAD REL.		% DE HUMEDAD:	
	G: 12	S: 27	F: 61	%	CLASIFICACIÓN SUCS
					CL - CL

4.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS Y PRUEBAS ÍNDICE DE LA MEZCLA 60 - 40

DESCRIPCIÓN MATERIAL:		MEZCLA 60% CALICHE Y 40% ARCILLA LUTITA		FECHA DE TERMINO	
SONDEO:	PROFUNDIDAD:		LOCALIDAD	TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS	
				LABORATORISTA:	

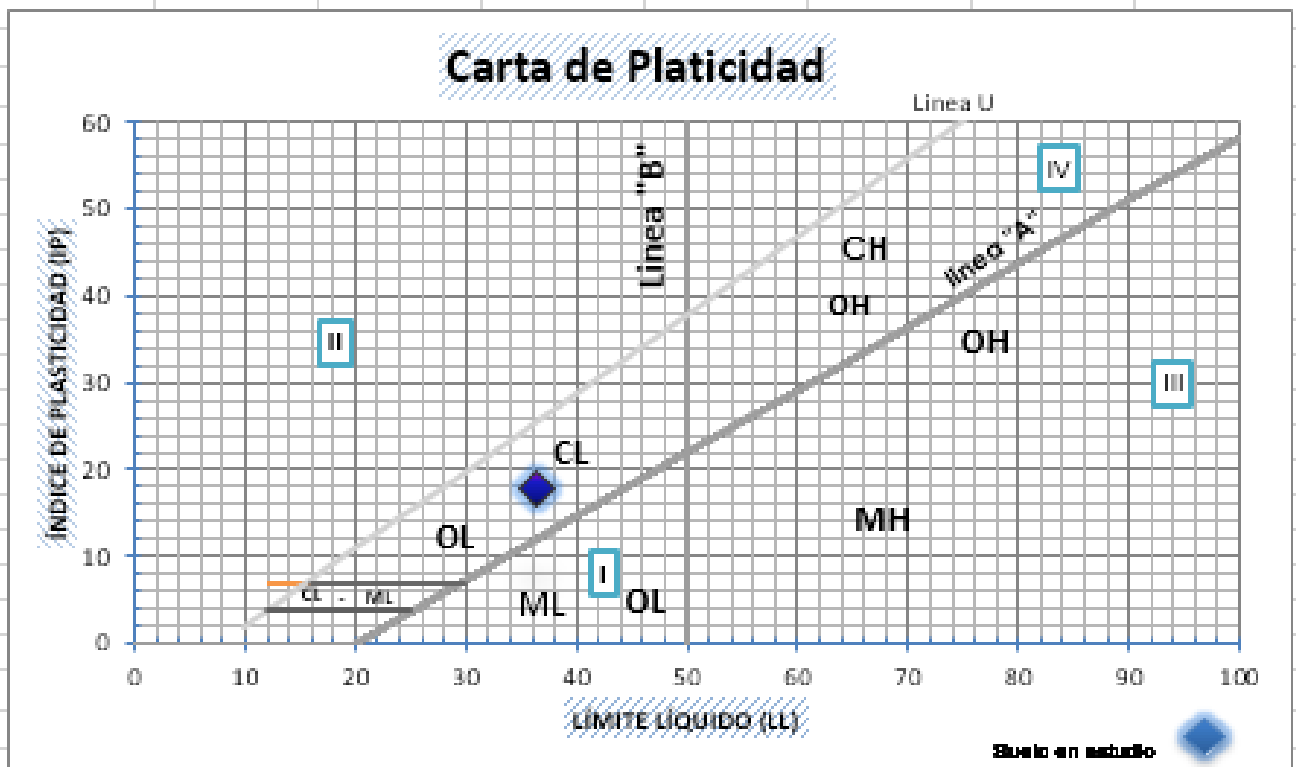
HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA NÚMERO 4.75			PESO TOTAL DE LA MUESTRA	6012	GRAMOS
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)			PESO ESPECÍFICO SUELTO ( $K_g/m^3$ )		
PEÑO EN GRAMOS DE			PESO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
RECIPIENTE NÚM.	H-0001		PESO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
TARA + MUESTRA HÚMEDA ( $W_t + W_m$ )	166.3		GRAVEDAD ESPECÍFICA: ( $G_r$ ) -	2.67	
TARA + MUESTRA SECA ( $W_t + W_d$ )	153.8		CLASIFICACIÓN PARCIAL: <b>CL - OL</b>		
PESO AGUA ( $W_m - W_d$ ) - $W_u$	12.5				
TARA ( $W_t$ )	0				
PESO MUESTRA SECA ( $W_d$ )	153.8				
CONTENIDO DE AGUA, [ $w$ ](%)	8.13				
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO GR/CM <sup>3</sup>			TAMAÑO MÁXIMO DEL MATERIAL	50.00	mm

No. MALLA	% QUE PASA
75.00	100
63.00	100
50.00	100
37.50	99
25.00	97
19.00	95
12.50	93
9.50	91
4.75	88
2.00	79
0.85	74
0.425	68
0.250	67
0.150	64
0.075	61



<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>		D10-	0.00005		
k-	$C D 10^{-2}$	D30-	0.0010		
C (VARIA DE 41 A 146)		D60-	0.0650	% GRAVAS, G-	12.0
C-	116	Cu-	1300.0	% ARENAS, S-	27.0
K-	<b>0.00000029</b>	Cc-	0.308	% FINOS, F-	61
CLASIFICACIÓN SUCS -	<b>CL - OL</b>				

DESCRIPCIÓN:	<b>MEZCLA 60 % CALICHE Y 40 % ARCILLA LUTITA.</b>			LABORATORISTA:	
			Sondeos :		PROF(m):
Según el análisis granulométrico se tiene:					
Porcentaje en peso de suelo grueso ret. =	39.0	%	Entonces el suelo es: <b>FINO</b>		
	Si más del 50% retiene #4 clasificar según:				
Porcentaje en peso de suelo fino =	61.0	%	Granulometría		
Límite líquido (wL) =	36.36	%	Para más del 50% para #200 se clasifica según:		
Límite Plástico (wP) =	18.6	%	Carta de plasticidad		
Contracción lineal (CL) =	5.29	%	Índice de plasticidad (IP) =	17.76	%



Según clasificación S.U.C.S., el suelo analizado es =	<b>CL - OL</b>
Descripción del suelo:	MEZCLA 60 % CALICHE Y 40 % ARCILLA LUTITA.

Tabla 9 Análisis granulométrico de las pruebas de la mezcla 70-30.

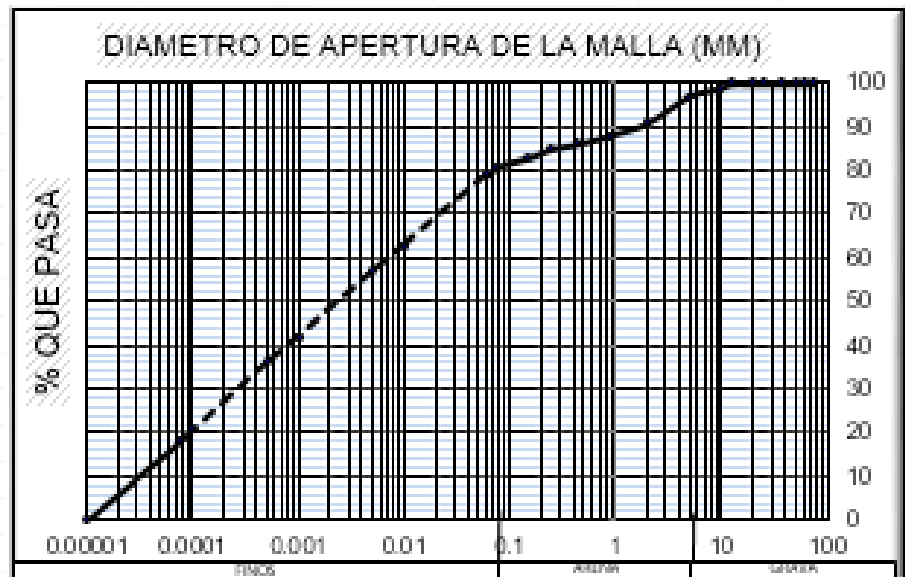
P. MATERIA + TARA:	7060	VOLUMEN DE TARA:	3078	PROFUNDIDAD:		
PESO DE TARA:	3280	P. VOL. S. S.	1228	kg/m <sup>3</sup>	P. MUESTRA TOTAL	6180
PESO NETO:	3780	DESPERDICIO:		%	TAMAÑO MÁXIMO:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: MEZCLA 70 % CALICHE Y 30 % ARCILLA LUTITA.						
<b>HASTA LA MALLA N° 4.</b>				<b>PRUEBAS DE LÍMITES</b>		
HALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	X RETENIDO ACUMULATIVO	X QUE PASA LA MALLA	RECIPIENTE N°	4	
75 (3")				PW + RECIPIENTE (1)	41.8	
63 (2 1/2")				PS + RECIPIENTE (2)	34.89	
50 (2")				PESO DE AGUA (1) - (2) - (3)	6.91	
37.5 (1 1/2")				PS + RECIPIENTE (2)	34.89	
25 (1")				PESO DE RECIPIENTE (4)	15.1	
19 (3/4")	0	0	100	P. SECO NETO - (2) - (4) - (5)	19.79	
12.5 (1/2")	27.3	0	100	<b>LÍMITE LÍQUIDO (3) / (5) * 100</b>	<b>34.92</b>	
7.5 (3/8")	55.3	1	99	RECIPIENTE N°	8	
6.30 (1/4")				PW + RECIPIENTE (7)	23.4	
4.75 (N° 4")	121.8	2	97	PS + RECIPIENTE (8)	22.6	
PASA (N° 4")	5975.6	97	0	PESO DE AGUA (7) - (8) - (9)	0.8	
SUMAS	6180	100		PS + RECIPIENTE (8)	22.4	
<b>GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL TAHIZADO POR LA MALLA N° 4 (POR LATADO).</b>				PESO DE RECIPIENTE	18.1	
HALLA N°	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	X RETENIDO ACUMULATIVO	X QUE PASA LA MALLA	P. SECO NETO - (8) - (10) - (11)	4.5	
2.00 (80)	11.2	6	94	<b>LÍMITE PLÁSTICO (9) / (11) * 100</b>	<b>17.78</b>	
0.85 (20)	6.5	3	98	<b>ÍNDICE PLÁSTICO - (L.L.) - (L.P.)</b>	<b>17.14</b>	
0.425 (40)	4	2	98	MOLDE NUMERO	4	
0.250 (60)	1.7	1	99	LONG. DE MOLDE mm.	10	
0.150 (100)	4.1	2	98	LONG. DE BARRA mat. Sec	<b>9.49</b>	
0.075 (200)	3.6	2	98	<b>% DE CONTRACCIÓN</b>	<b>5.10</b>	
PASA N° (200)	168.9	81	0			
SUMAS	200	97				
<b>PRUEBA DE ABSORCIÓN</b>		<b>PRUEBA DE DENSIDAD</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
P. HUMEDO (PW)		PESO MATERIAL <sub>grs.</sub>		PESO MATERIAL HUMEDO:		
P. SECO (PS)		P. MATERIA - AGUA <sub>grs.</sub>		PESO MATERIAL SECO:		
AGUA ABSORVIDA		P. MATERIA - AGUA + MATERIA <sub>grs.</sub>		CONTENIDO DE AGUA:		
ABSORCIÓN		DENSIDAD REL.		% DE HUMEDAD:		
	G: 3 %	S: 16	F: 81 %	CLASIFICACIÓN SUCS	CL - DL	

#### 4.2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA MEZCLA 70 - 30

DESCRIPCIÓN MATERIAL:		MEZCLA 70% CALICHE Y 30% ARCILLA LUTITA		FECHA DE TERMINO	
SONDEO:	PROFUNDIDAD:		LOCALIDAD	TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS	
				LABORATORISTA:	

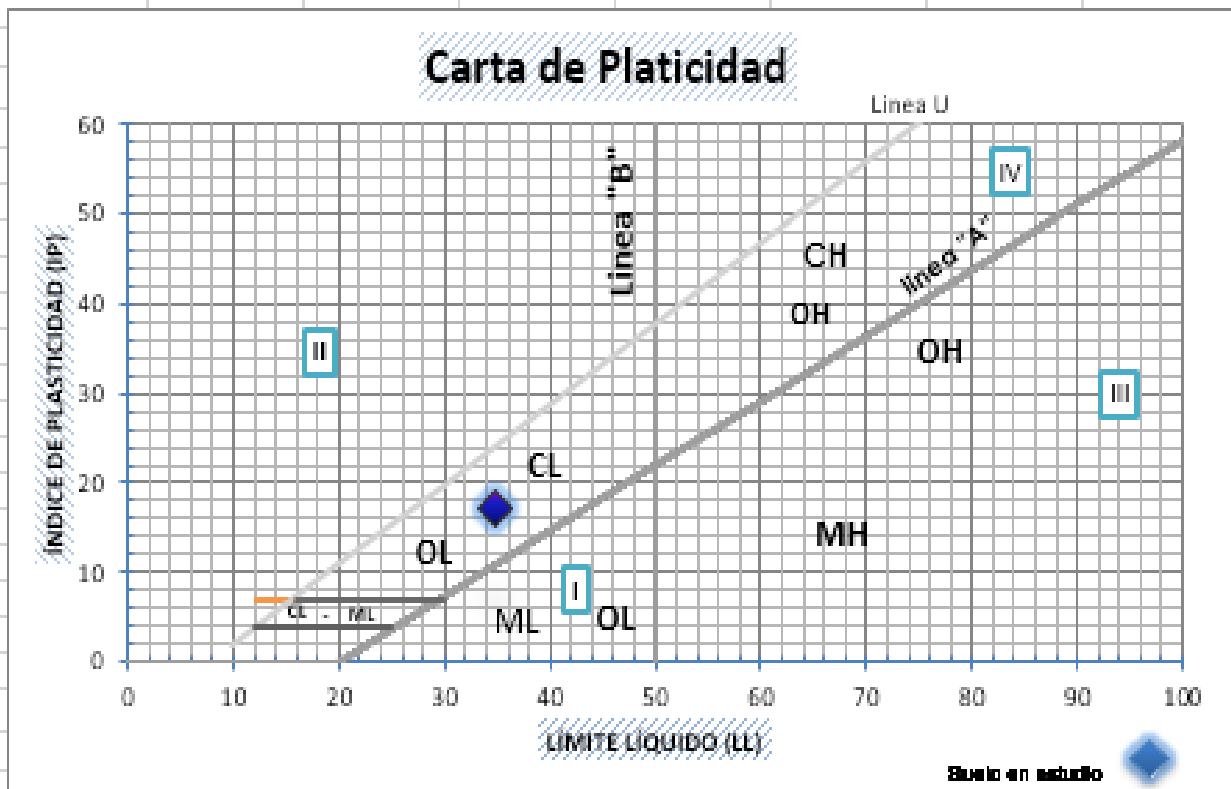
HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA NÚMERO 4.75		PESO TOTAL DE LA MUESTRA	6180	GRAMOS
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)		PESO ESPECÍFICO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )		
PE 80 EN GRAMOS DE		PESO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
RECIPIENTE NÚM.	H-0001	PESO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
TARA + MUESTRA HÚMEDA (Wt + Wm)	165.9	GRAVEDAD ESPECÍFICA: (Gr) -		
TARA + MUESTRA SECA (Wt + Wd)	153.8	2.48		
PESO AGUA (Wm - Wd) - Wu	12.1	CLASIFICACIÓN PARCIAL:		
TARA (Wt)	0	CL - OL		
PESO MUESTRA SECA (Wd)	153.8			
CONTENIDO DE AGUA, [u (%)]	7.87			
PESO VOLUMETRICO SUELTO GR/CM <sup>3</sup>		TAMAÑO MÁXIMO DEL MATERIAL	12.50	mm

No. MALLA	% QUE PASA
75.00	100
63.00	100
50.00	100
37.50	100
25.00	100
19.00	100
12.50	100
9.50	99
4.75	97
2.00	91
0.85	88
0.425	86
0.250	85
0.150	83
0.075	81



<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>		D10-	0.00003		
k-	CD10 <sup>-2</sup>	D30-	0.0003		
C (VARIAR DE 41 A 146)		D60-	0.0070	% GRAVAS, G-	3.0
C-	116	Cu-	233.3	% ARENAS, S-	16.0
<b>K -</b>	<b>1.044E-07</b>	Cc-	0.298	% FINOS, F-	81
CLASIFICACIÓN SUCS -	<b>CL - OL</b>				

DESCRIPCIÓN:	<b>MEZCLA 70% CALICHE Y 30% ARCILLA LUTITA.</b>			LABORATORISTA:	
			Sondeos:		PROF(m):
Según el análisis granulométrico se tiene:					
Porcentaje en peso de suelo grueso ret. =	19.0	%	Entonces el suelo es:	<b>FINO</b>	
				Si más del 50% retiene #4 clasificar según:	
Porcentaje en peso de suelo fino =	81.0	%		Granulometría	
Límite líquido (wL) =	34.92	%	Para más del 50% para #200 re-clasifica según:	Carta de plasticidad	
Límite Plástico (wP) =	17.78	%			
Contracción lineal (CL) =	5.10	%	Índice de plasticidad (IP) =	17.14	%



Según clasificación S.U.C.S., el suelo analizado es =	<b>CL - OL</b>
Descripción del suelo:	MEZCLA 70% CALICHE Y 30% ARCILLA LUTITA.

Tabla 10 Análisis granulométricos obtenidos de la mezcla 80-20.

P. MATERIA + TARA:		7130	VOLUMEN DE TARA:		3078	PROFUNDIDAD:		
PESO DE TARA:		3280	P. VOL. S. S.		1251	P. MUESTRA TOTA		5480
PESONETO:		3850	DESPERDICIO:		%	TAMAÑO MAXIMO:		
DESCRIPCION DEL MATERIAL: MEZCLA 80 % CALICHE Y 20 % ARCILLA LUTITA.								
<b>HASTA LA MALLA N° 4.</b>					<b>PRUEBAS DE LIMITES</b>			
HALLA#	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	X RETENIDO ACUMULATIVO	X QUE PASA LA MALLA		RECIPIENTE#			
75 (3")					PW + RECIPIENTE (1)	41.68		
60 (2 1/2")					PS + RECIPIENTE (2)	34.96		
50 (2")					PESO DE AGUA (1) - (2) - (3)	6.72		
37.5 (1 1/2")					PS + RECIPIENTE (2)	34.96		
25 (1")	0	0	100		PESO DE RECIPIENTE (4)	15.10		
19 (3/4")	29.3	1	99		P. SECONETO - (2) - (4) - (5)	19.86		
12.5 (1/2")	98.6	2	97		<b>LIMITE LIQUIDO (3) / (5) * 100</b>	<b>33.81</b>		
7.5 (3/8")	24.6	0	97		RECIPIENTE#	10		
6.30 (1/4")					PW + RECIPIENTE (7)	23.05		
4.75 (N° 4")	69.3	1	96		PS + RECIPIENTE (8)	22.31		
PASA (N° 4")	5258.2	96	0		PESO DE AGUA (7) - (8) - (9)	0.74		
SUMAS	5480	100			PS + RECIPIENTE (8)	22.31		
<b>GRANULOMETRICA DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA N° 4 POR LATAS#.</b>					PESO DE RECIPIENTE	17.98		
HALLA#	P. RETENIDO PARCIAL EN GRS	X RETENIDO ACUMULATIVO	X QUE PASA LA MALLA		P. SECONETO - (8) - (10) - (11)	4.33		
2.00 (10)	7.4	3	93		<b>LIMITE PLASTICO (9) / (11) * 100</b>	<b>17.10</b>		
1.15 (20)	4.6	2	91		<b>INDICE PLASTICO - (L.L) - (L.P).</b>	<b>16.71</b>		
0.425 (40)	4.8	3	88		MOLDE NUMERO	12		
0.250 (60)	1.3	1	87		LONG. DE MOLDE mm.	10.05		
0.150 (100)	3.3	2	85		LONG. DE BARRA mat. Sec	9.55		
0.075 (200)	3.1	1	84		<b>% DE CONTRACCION</b>	<b>4.93</b>		
PASAM (200)	175.5	84	0					
SUMAS	200	96						
<b>PRUEBA DE ABSORCION</b>			<b>PRUEBA DE DENSIDAD</b>			<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
P. HUMEDO (PW)		PESO MATERIAL (g.)			PESO MATERIAL HUMEDO:			
P. SECO (PS)		P. MATERIAL AGUA (g.)			PESO MATERIAL SECO:			
AGUA ABSORVIDA		P. MATERIAL SECO + MATERIAL (g.)			CONTENIDO DE AGUA:			
ABSORCION		DENSIDAD REL.			% DE HUMEDAD:			
G: 4 %		S: 12 %		F: 84 %		CLASIFICACION SUCS		CL - OL

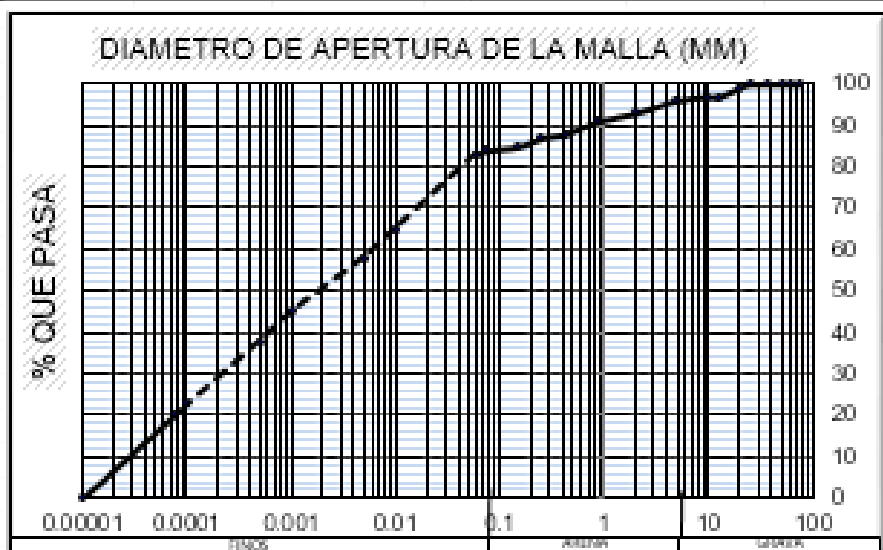
4.2.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LA MEZCLA 80 - 20



DESCRIPCIÓN MATERIAL:		MEZCLA 90% CALICHE Y 10% ARCILLA LUTITA		FECHA DE TERMINO:	
SONDEO:	PROFUNDIDAD:		LOCALIDAD	TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS	
				LABORATORISTA:	

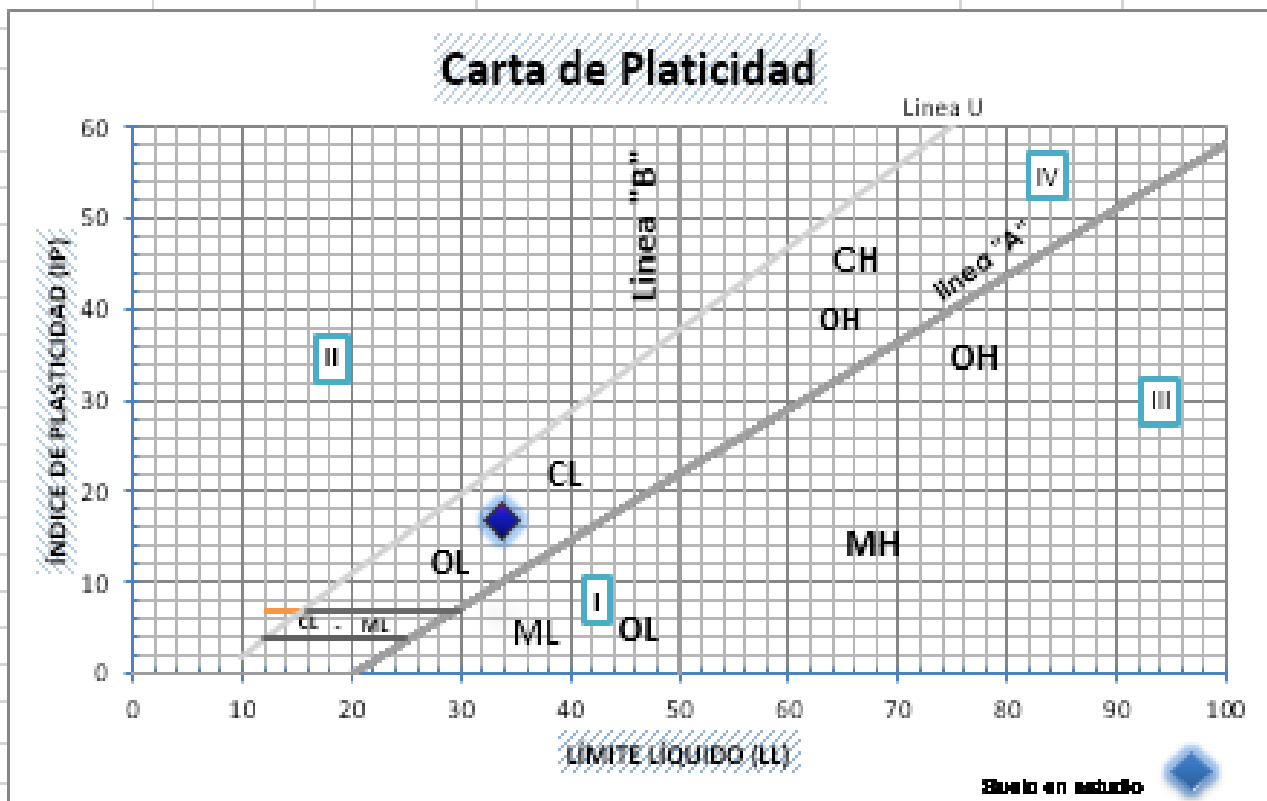
HUMEDAD DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA NÚMERO 4.75		PESO TOTAL DE LA MUESTRA	6180	GRAMOS
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (m)		PESO ESPECÍFICO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )		
PESO EN GRAMOS DE		PESO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
RECIPIENTE NÚM.	H-0001	PESO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EN LA MALLA NÚMERO 4.75 mm (No. 4).		
TARA + MUESTRA HÚMEDA (Wt + Wm)	165.4	GRAVEDAD ESPECÍFICA: (Gr) -		
TARA + MUESTRA SECA (Wt + Wd)	153.8	CLASIFICACIÓN PARCIAL:		
PESO AGUA (Wm - Wd) - Wu	11.6	2.68		
TARA (Wt)	0	CL - OL		
PESO MUESTRA SECA (Wd)	153.8			
CONTENIDO DE AGUA, [u (%)]	7.54			
PESO VOLUMETRICO SUELTO GR/CM <sup>3</sup>		TAMAÑO MÁXIMO DEL MATERIAL	25.00	mm

No. MALLA	% QUE PASA
75.00	100
63.00	100
50.00	100
37.50	100
25.00	100
19.00	99
12.50	97
9.50	97
4.75	96
2.00	93
0.85	91
0.425	88
0.250	87
0.150	85
0.075	84



<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>		D <sub>10</sub> -	0.00003		
k-	CD10 <sup>-2</sup>	D <sub>30</sub> -	0.0002	% GRAVAS, G-	4.0
C (VARIA DE 41 A 146)		D <sub>60</sub> -	0.0065	% ARENAS, S-	12.0
C-	116	C <sub>u</sub> -	232.1	% FINOS, F-	84
<b>K - 9.0944E-08</b>	<b>cm/seg</b>	C <sub>c</sub> -	0.220		
CLASIFICACIÓN SUCS -	<b>CL - OL</b>				

DESCRIPCIÓN:	<b>MEZCLA 80 % CALICHE Y 20 % ARCILLA LUTITA.</b>			LABORATORISTA:	
			Sondeos:		PROF(m):
Según el análisis granulométrico se tiene:					
Porcentaje en peso de suelo grueso ret. =	16.0	%	Entonces el suelo es:	<b>FINO</b>	
	Simétr del 50% retiene #4 clarificar según:				
Porcentaje en peso de suelo fino =	84.0	%		Granulometría	
Límite líquido (wL) =	33.8	%	Por simétr del 50% para #200 se clarifica:	según: Carta de plasticidad	
Límite Plástico (wP) =	17.1	%			
Contracción lineal (CL) =	4.98	%	Índice de plasticidad (IP) =	16.71	%



Según clasificación S.U.C.S., el suelo analizado es =	<b>CL - OL</b>
Descripción del suelo:	MEZCLA 80 % CALICHE Y 20 % ARCILLA LUTITA.

### 4.3.TABLAS DE LÍMITES

Tabla 11 Resultados de los límites del material en su estado natural sin ninguna modificación.

<b>Limite liquido</b>	<b>Arcilla lutita</b>	<b>Arcilla negra</b>	<b>Caliche</b>
N.º golpe	25	25	25
Recipiente N.º	Nº3	5	7
Peso húmedo + Recipiente	59.6	67.9	51
Peso seco + Recipiente	45.5	54.3	42.6
Peso del agua	14.1	13.6	8.4
Peso del recipiente	18.1	17.3	13.4
Peso seco neto	27.4	37	29.2
Limite liquido	51.46	36.76	28.77

<b>Limite plástico</b>	<b>Arcilla lutita</b>	<b>Arcilla negra</b>	<b>Caliche</b>
N.º recipiente	13	10	9
Peso húmedo + Recipiente	21.1	20.9	21.4
Peso seco + Recipiente	20.1	20.0	20.6
Peso del agua	1.1	0.9	0.8
Peso del recipiente	14.5	15.1	16.4
Peso seco neto	5.6	4.9	4.2
Limite plástico	19.64	18.37	19.05

<b>Contracción lineal</b>	<b>Arcilla lutita</b>	<b>Arcilla negra</b>	<b>Caliche</b>
N.º molde	01	3	9
Long. molde	10	10.06	10.12
Long. Barra	8.85	9.27	9.83
% contracción lineal	11.5	7.85	2.87

<b>Índice de plástico</b>	<b>Arcilla lutita</b>	<b>Arcilla negra</b>	<b>Caliche</b>
Limite liquido – Limite plástico	31.82	18.39	9.72

#### 4.3.1.TABLAS DE LIMITES DE MATERIALES DE LOS SUELOS EN ESTADO NATURAL

Estos datos obtenidos son de material completamente natural sin ninguna alteración a continuación se presentan las mezclas y los porcentajes que se utilizaron.

Tabla 12 Resultados de los límites del material modificado con caliza alterada a la arcilla tipo lutita.

<b>Límite líquido</b>	<b>Mezcla 60-40</b>	<b>Mezcla 70-30</b>	<b>Mezcla 80-20</b>
Nº golpes	25	25	25
Recipiente Nº	01	4	6
Peso húmedo + Recipiente	42.1	41.8	41.68
Peso seco + Recipiente	34.9	34.89	34.96
Peso del agua	7.2	6.91	6.72
Peso del recipiente	15.1	15.1	15.1
Peso seco neto	19.8	19.79	19.86
Límite líquido	36.36	34.9	33.81

<b>Límite plástico</b>	<b>Mezcla 60-40</b>	<b>Mezcla 70-30</b>	<b>Mezcla 80-20</b>
Nº recipiente	3	10	10
Peso húmedo + Recipiente	23.2	23.4	23.05
Peso seco + Recipiente	22.4	22.6	22.31
Peso del agua	0.8	0.8	0.74
Peso del recipiente	18.1	18.1	17.98
Peso seco neto	4.3	4.5	4.22
Límite plástico	18.60	17.78	17.10

<b>Contracción lineal</b>	<b>Mezcla 60-40</b>	<b>Mezcla 70-30</b>	<b>Mezcla 80-20</b>
Nº molde	03	4	12
Long. Molde	10.01	10	10.05
Long. Barra	9.48	9.49	9.55
% contracción lineal	5.29	5.10	4.98

<b>Índice de plástico</b>	<b>Mezcla 60-40</b>	<b>Mezcla 70-30</b>	<b>Mezcla 80-20</b>
L. líquido – L. plástico	17.76	17.14	16.71

#### 4.3.2. TABLAS DE LÍMITES DE LAS MEZCLAS

Se observa una mejoría en cuanto a porcentajes de las propiedades índices al adicionarle la caliza alterada a la arcilla de tipo lutita analizada.

Tabla 13 Resultados de las pruebas Porter estándar con el material de lutita color gris.

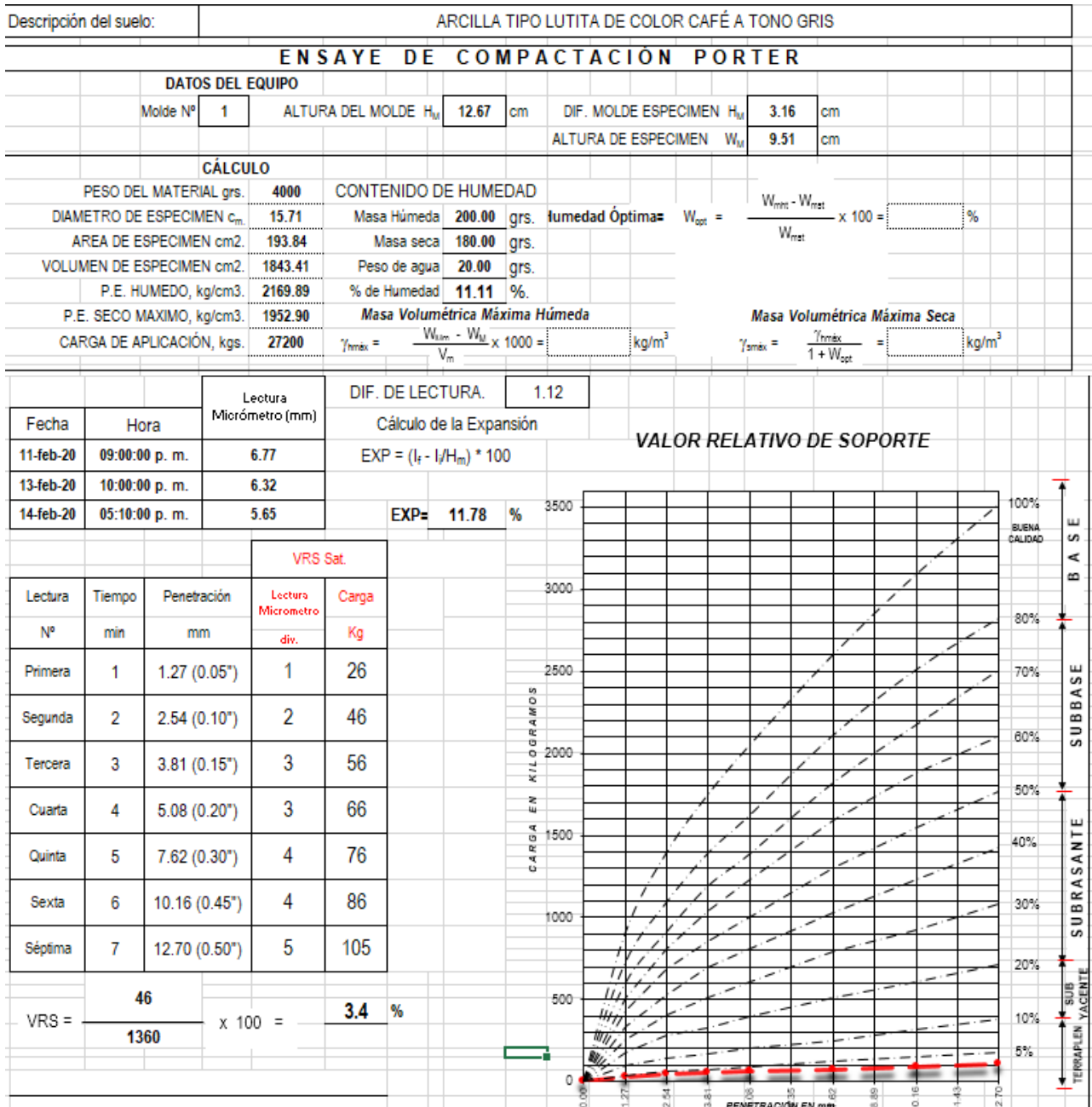
<b>PRUEBA PORTER ESTÁNDAR (yd max.)</b>				
Tipo de material: <u>Lutita color gris</u>				
Fecha de informe: <u>02/11/2020</u> Lutita 40-60				
<b>PRUEBA PORTER ESTÁNDAR</b>	ENSAYE NUMERO	01		
	FECHA DE INICIO	11/02/2020	14/02/2020	
	FECHA DE TERMINO	<b>lutita</b>	<b>Mezcla 60-40</b>	
	MOLDE NUMERO	1	1	
	ALTURA DE MOLDE, CM.	12.7	12.67	
	DIF. MOLDE ESPECIMEN, CM.	3.16	2.29	
	ALTURA DE ESPECIMEN, CM.	9.51	10.38	
	PESO MATERIAL, GRS	4000	4000	
	DIÁMETRO DE ESPECIMEN, CM	15.71	15.71	
	ÁREA DE ESPECIMEN CM2	193.59	193.59	
	VOLUMEN DE ESPECIMEN CM3	1841.04	2009.46	
	P.E HÚMEDO, KG/CM3	21.72	1990.5	
	P.E SECO MÁXIMO, KG/CM3	1955	1756	
	CARGA DE APLICACIÓN, KGS.	27000	27000	
<b>PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN</b>	1.27 mm.	26	56	
	2.54 mm.	46	91	
	3.81 mm.	56	105	
	5.08 mm.	66	135	
	7.62 mm.	76	165	
	10.16 mm.	86	195	
	12.70 mm.	105	225	
	% DEL VALOR REL. SOPORTE	3.34	6.70	
	% V. R. S. CORREGIDO			
<b>PRUEBA DE PORCENTAJE DE EXPANSIÓN</b>	LECTURA INICIAL	6.77	5.79	
	LECTURA FINAL	5.71	5.05	
	DIF. LECTURA	1.06	0.74	
	% DE EXPANSION	11.15	7.13	
<b>PBA. DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD</b>	RECIPIENTE NÚMERO	1	1	
	PESO INICIAL, GRS	200	300	
	PESO FINAL, GRS	180	264.6	
	DIFERENCIA (AGUA)	20.0	35.40	
	% DE HUMEDAD OPTIMA	11.1	13.38	
NOTA: Norma aplicable: NMX-C-416-ONNCCE-2003 "muestreos de estructuras terreas y métodos de prueba".				

**4.4. PRUEBAS PORTER**

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE NATURAL CON ENSAYE DE COMPACTACIÓN PORTER

Tabla 14 Resultados de compactación ensayo porter con la arcilla tipo lutita de color café a tono gris.

### ASTM-D-1883 AASHTO-T193 NMX-C-ONNCCE-2003

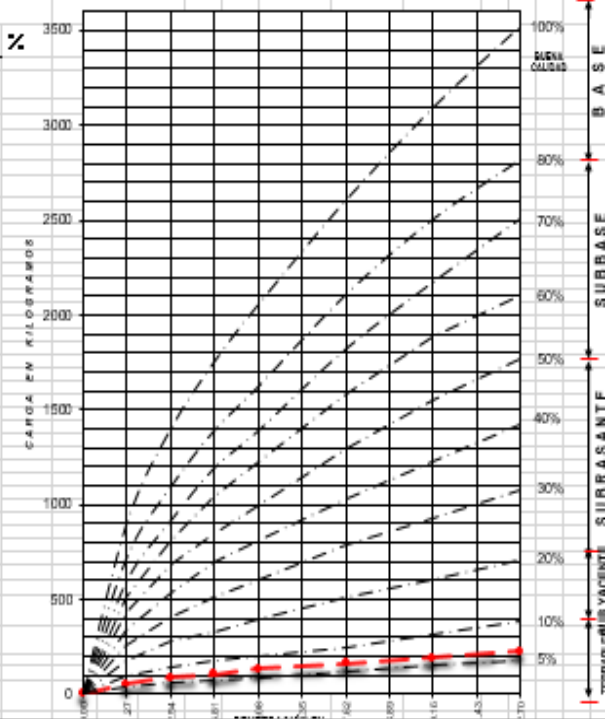


**VALOR RELATIVO DE SOPORTE NATURAL  
CON ENSAYE DE COMPACTACIÓN PORTER**

Tabla 15 Resultados del ensaye de compactación porter con la arcilla.

**ASTM-D-1883 AASHTO-T193 NMX-C-ONNCCE-2003**

<b>ENSAYE DE COMPACTACION PORTER</b>										
<b>DATOS DEL EQUIPO</b>										
Molde N°	1		ALTURA DEL MOLDE H <sub>H</sub>	12.67		cm	n.º MOLDE ESPECIMEN	2.29		cm
							ALTURA DE ESPECIMEN	10.38		cm
<b>CÁLCULO</b>										
PESO DEL MATERIAL grs.	4000		CONTENIDO DE HUMEDAD							
DIAMETRO DE ESPECIMEN c.	15.71		Masa Húmeda	300.00		grs.	W <sub>opt</sub> =	$\frac{W_{max} - W_{wet}}{W_{wet}} \times 100$		%
AREA DE ESPECIMEN cm <sup>2</sup> .	193.84		Masa seca	264.60		grs.				
VOLUMEN DE ESPECIMEN cm <sup>3</sup> .	2012.05		Peso de agua	35.40		grs.				
P.E. HUMEDO, kg/cm <sup>3</sup> .	1988.02		% de Humedad	13.38		%				
P.E. SECO MAXIMO, kg/cm <sup>3</sup> .	1753.43		<b>Masa Volumétrica Máxima Húmeda</b>				<b>Masa Volumétrica Máxima Seca</b>			
CARGA DE APLICACIÓN, kgs.	27200		$\gamma_{max} = \frac{W_{max} - W_w}{V_w} \times 1000$			kg/m <sup>3</sup>	$\gamma_{max} = \frac{\gamma_{max}}{1 + W_{opt}}$			kg/m <sup>3</sup>
			LECTURA MICRÓMETRO (mm)	0.74		DIF. DE LECTURA.				
Fecha	Hora		Cálculo de la Expansión							
14-feb-20	09:00:00 p. m.		EXP = (I <sub>f</sub> - I <sub>f</sub> /H <sub>m</sub> ) * 100							
16-feb-20	10:00:00 p. m.		VALOR RELATIVO DE SOPORTE							
17-feb-20	05:10:00 p. m.		EXP		7.13		%			
			<b>VRS Sat.</b>							
Lectura N°	Tiempo min	Penetración mm	Leitura Micrómetro	Carga Kg						
Primera	1	1.27 (0.05")	2.5	56						
Segunda	2	2.54 (0.10")	4.3	91						
Tercera	3	3.81 (0.15")	5.0	105						
Cuarta	4	5.08 (0.20")	6.5	135						
Quinta	5	7.62 (0.30")	8.0	165						
Sexta	6	10.16 (0.45")	9.5	195						
Séptima	7	12.70 (0.50")	11.0	225						
			<b>91</b>							
VRS =			<b>1360</b>		x 100 =		<b>6.7</b>			%







## CONCLUSION

En la naturaleza, por las condiciones ambientales las arcillas expansivas sufren cambios importantes de contenido de agua: en época de lluvias el estrato superior se satura y en época de estiaje se produce el fenómeno de desecación y esta capa superficial se comporta como un suelo parcialmente saturado. El sistema hidrológico de la cuenca y sub-cuencas de la ciudad, influye en el comportamiento del subsuelo porque en época de lluvias se presentan corrientes o flujos de agua.

Ante las pruebas que se realizaron a las arcillas de alta compresibilidad, obtenida en el Municipiode Suchiapa, en el estado de Chiapas, se localiza en la región central de la entidad, con las coordenadas siguientes: 16°45'56" latitud norte y 93°06'56" longitud oeste, a una altura de 550 msnm. Los ensayos iniciales se realizaron para el caso de las arcillas en estado natural para obtener sus parámetros índice y de valor relativo de soporte, después de obtenidos los parámetros de estos materiales se inició el proceso de incorporación de caliza alterada (CALICHE), es de aclarar que para efecto de análisis se realizó pruebas a dos muestra de arcillas que consiste en una arcilla tipo lutita de color café claro y la siguiente correspondiente a una arcilla de color negro, y en base a estos resultados como la muestra de arcilla tipo lutita presento porcentajes más altos de valores índice se decidió realizar las pruebas de adición de caliza alterada a esta muestra de arcilla lutita y para una primer mezcla se efectuó con 20% de caliza y 80% de arcilla lutita, luego una segunda mezcla de 30% de caliza y 70% de arcilla lutita y finalmente se efectuó una mezcla de 40% de caliza alterada y 60% de arcilla lutita.

A cada una de las mezclas se le realizaron sus pruebas índice ( limite líquido, limite plástico, índice plástico y contracción lineal),al hacer el comparativo de los resultados obtenidos, podemos concluir que la mezcla de 40% - 60%, sería la adecuada para poder emplearla como material de mejoramientos ( capas de terraplén), ya que se logró descender los valores índice e incrementar el valor relativo de

soporte, comprobando que se logró estabilizar la arcilla tipo lutita mejorando sus propiedades .

La mezcla del material analizado cambio favorablemente tanto en pruebas índice como en las pruebas de valor relativo desoporte. De acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), La arcilla tipo lutita de forma natural presentaba una clasificación "CH" que como característica tiene a ser una arcilla inorgánica de alta plasticidad y después de adicionarle la caliza alterada (CALICHE) paso a clasificarse como una arcilla de media baja compresibilidad (CL-OL) y se convierte en un material más estable en todas sus propiedades, Este avance dado a la investigación da un mayor sustento para que se pueda implementar este sistema de estabilización para lograr estabilizar a las arcillas expansivas y lograr su utilización en capas de mejoramiento ( terraplenes), y con esto dar más seguridad a las edificaciones o construcciones que serán desplantados sobre estos suelos estabilizados.

Los suelos expansivos con alta compresibilidad, se está comprobando que el adicionarle la caliza alterada (CALICHE), representa es una buena elección para estabilizar y mejorar los suelos expansivos y sobre todo representa un proceso económico. Esto basado en los datos obtenidos y las pruebas realizadas se muestran resultados positivos de manera practica y de fácil procedimiento a ejecutar en obra es así que el uso de CALICHE como agente estabilizador para suelos con un índice de plasticidad alto y con porcentajes altos que pasen la malla N° 200 , siendo ahora una solución a considerar Por las ventajas técnicas, económicas y ambientales que representa , hago resaltar que se obtuvieron resultados positivos y con esto se obtiene el resultado propuesto que al inicio de este trabajo de investigación se mencionó.

## BIBLIOGRAFIA

- Boggio, M. S. (2009).
- Fernáandez Loaiza, C. (1982). *Mejoramamiento y Estabilizacion de Suelos*. Limusa, México.
- Foth, H. D. (1985). *Fundamentos de la ciencia del suelo*. CECSA.
- Joan, F. (13 de Mayo de 2013). *Geosuport*. Obtenido de Obtenido de estudios geotécnicos en los ámbitos de la edificacion y la ingenieria civil.: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/suelos-expansivos-colapsables/>
- Luna, C. (2012). *DEterminación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico*. Ecuador: Bachelor's Thesis.
- MMP. METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (2003). En *03. Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*.
- MMP. METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (2006). En *09. Compactación AASHTO*.
- Ordóñez Ruiz, J. (2014). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 2-3.
- Sergi Meseguer, T. S. (2006). Rocas calcáreas de uso industrial en la provincia de Castellón. En Castellón, *Unidad de Mineralogía Aplicada y Ambiental, Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural*. Spain.
- Transportes, S. d. (2002). CMT. CARCATERISTICAS DE LOS MATERIALES. En *03. Materiales para Estabilizaciones*.

## ANEXOS

Tipo	Sub-Tipos	Identificación	Símbolo de Grupo
------	-----------	----------------	------------------

Clasificación de suelos en base a S.U.C.S

Suelos (partículas menores de 7,5 cm)		<b>SUELOS GRUESOS</b> Más de la mitad del material retenido en la malla N°200 (0,075 mm)		<b>GRAVA</b> Más de la mitad de la fracción gruesa retenida en la malla N°4		GRAVA LIMPIA	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[1]</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW	
						(Poco onada de partículas finas)	Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco onada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP	
						GRAVA CONFINOS	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como MLoMH (véanse abajo los grupos MLYMH)	GM	
						(Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupos CLyCH)	GC	
				<b>ARENA</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4		ARENA LIMPIA	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[1]</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW	
						(Poco onada de partículas finas)	Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco onada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP	
						ARENA CONFINOS	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como MLoMH (véanse abajo los grupos MLYMH)	SM	
						(Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupos CLyCH)	SC	
				<b>SUELOS FINOS</b> Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)		<b>LIMO Y ARCILLA</b> Limo y arcilla líquido		Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la cartá de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML
									Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la cartá de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL
Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la cartá de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL									
Mayor de 50%		Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la cartá de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH							
		Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la cartá de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH							
		Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Cartá de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH							
<b>ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.		P <sub>t</sub>						

Tabla 16. Tabla de método de muestreo y pruebas de materiales, (“secretaría de Comunicaciones y Transportes”).



Figura 11. Localización de extracción de material para el proceso de ejecución de las pruebas. (Tuxtla Gutiérrez Chiapas - Suchiapa 16°38'23.9" N 93°06'00.4").



Figura 12. Localización del sitio y extracción de material, con una profundidad de 1.5 m x 1 m, con el uso manual de herramientas como son: barreta, pala, guantes, flexómetro, barreta. (Tuxtla Gutiérrez Chiapas - Suchiapa 16°38'23.9" N 93°06'00.4").



*Figura 13.* Cubo de material; arcilla de alta plasticidad extraída para prueba de laboratorio en base a la estabilización de suelos expansivos. (Tuxtla Gutiérrez Chiapas - Suchiapa  $16^{\circ}38'23.9''$  N  $93^{\circ}06'00.4''$ ).



*Figura14.* Extracción de material arcilloso tipo lutita/color café/ uso de ella para el mejoramiento del suelo inestables con el uso de caliche mediante porcentajes de mezclas de ambas. (Tuxtla Gutiérrez Chiapas - Suchiapa 16°38'23.9" N 93°06'00.4").



*Figura15.* Para mezclas de laboratorio: arcilla tipo lutita/color café/ uso para el mejoramiento de ella, aplicando el uso de caliche. (Tuxtla Gutiérrez Chiapas - Suchiapa 16°38'23.9" N 93°06'00.4").



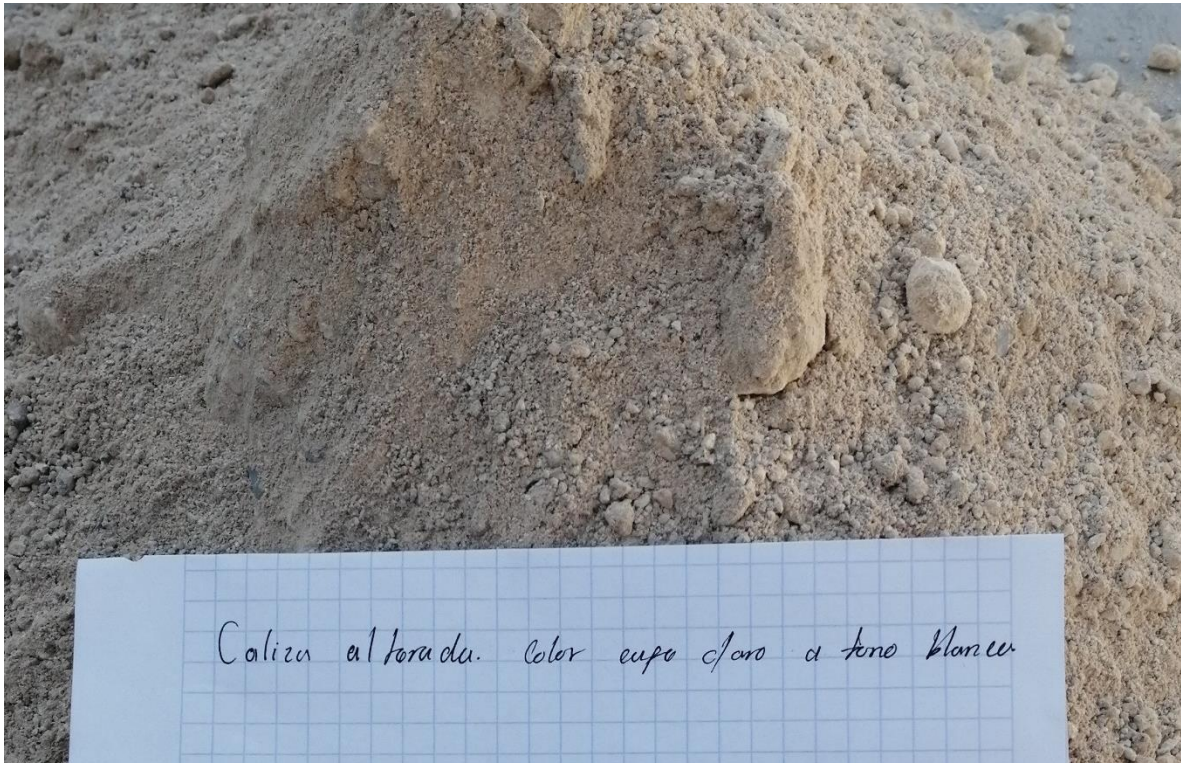


Figura16. Caliza alterada color café claro a tono blanco. para el mejoramiento de suelos arcillosos en mezclas dadas en laboratorio. (Tuxtla Gutiérrez Chiapas - Suchiapa 16°38'23.9" N 93°06'00.4")



Figura17. Caliza alterada color café claro a tono blanco. medición del cono a 15 cm para la ejecución del método de cuarteo. (Tuxtla Gutiérrez Chiapas - Suchiapa 16°38'23.9" N 93°06'00.4")



*Figura18.* Caliza alterada color café claro a tono blanco. Proceso de cuarteo y colocación homogénea del material para el uso en laboratorio para mezclas con arcilla. (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).



*Figura19.* Procedimiento de cuarto ahora con material arcilloso para su mejoramiento en las pruebas mecánicas. proceso de cuarto y homogenización. (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).



Figura20. Mezclas utilizadas para la obtención de pruebas mecánicas de laboratorio/ suelo estabilizado. Mezcla: arcilla lutita 80%- caliche 20% / arcilla lutita 70% - caliche 30% / arcilla



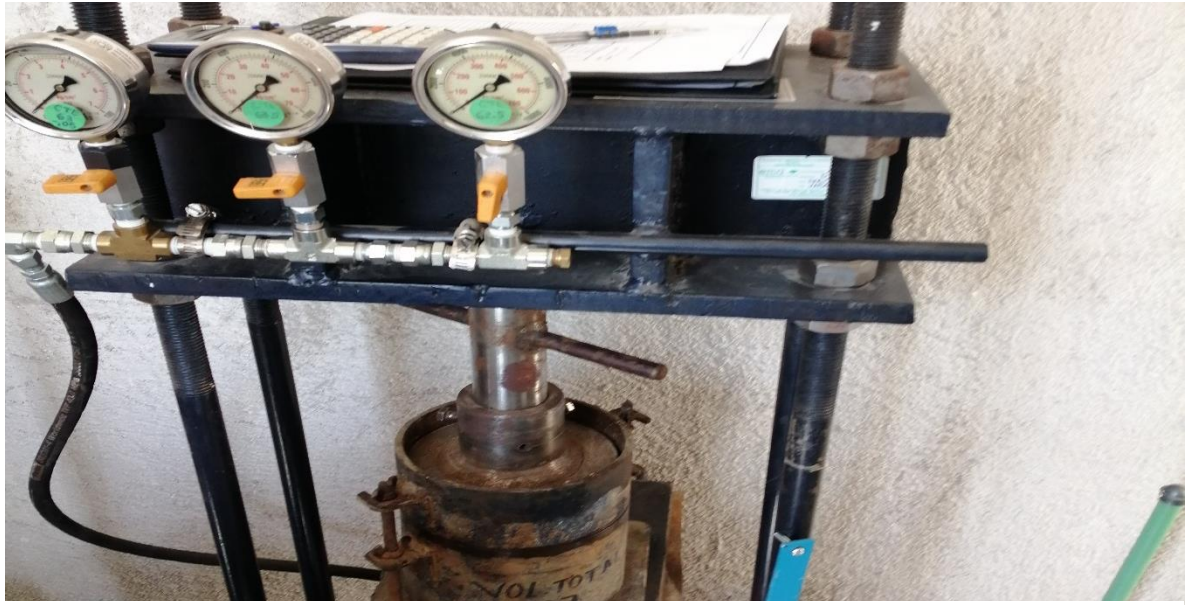
Figura21. Mezclas homogenizadas correctamente para estudios de mecánica de suelos. **Mezcla: arcilla lutita 80%- caliche 20% / arcilla lutita 70% - caliche 30% / arcilla lutita 60% - caliche 40%.** (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).



*Figura22.* Realización de cuartero y llenado de recipiente para la prueba Porter estándar de las mezclas realizadas arcilla- caliche. (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).



*Figura23.* Llenado de recipiente Proctor aplicando 25 golpes en cada capa con varilla punta de bala. Con esto se recrea la compactación en el lugar. (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).



*Figura24.* Colocación del molde en la prensa para aplicar la carga de 27 ton- durante 1 minuto, prosiguiendo a la descarga de 1 minuto nuevamente. (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).



*Figura25.* Molde y material sumergido para la obtención del grado de hinchamiento. (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).



*Figura26* Material compactado de las pruebas realizadas mezcla arcilla- caliche. (Laboratorio del Ingeniero José Inocente Espinoza Vicente, ubicado en Suchiapa, Chiapas).

## **GLOSARIO DE TERMINOS.**

**Suelo:** Es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades fisicoquímicas, especialmente las propiedades mecánicas. sólidos, que constituyen el esqueleto de la composición del suelo.

**Tensión:** Mecánica a la magnitud física que representa la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie real o imaginaria de un medio continuo.

**Hinchamiento:** Acción o efecto de hinchar o hincharse.

**Estructura:** Cualquier tipo de construcción formada por uno o varios elementos enlazados entre sí que están destinados a soportar la acción de una serie de fuerzas aplicadas sobre ellos.

**Asentamiento:** Compresión de masa o bien la deformación vertical del terreno.

**Humedad:** Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.

**Expansividad:** Capacidad de un suelo de experimentar cambios volumétricos o de generar

**Compactación:** Es el proceso por el cual un esfuerzo aplicado a un suelo causa densificación a medida que el aire se desplaza de los poros entre los granos del suelo.

**Fisicoquímicos:** Es una derivación de la química que se encarga del estudio de los principios que gobiernan las propiedades y el comportamiento de la materia, tanto de los que son observables y los que no, empleando la física y la química.

**Caliche:** Es un depósito edáfico endurecido de carbonato de calcio. Este precipita cementando otros materiales, como arena, arcilla, grava o limo.



Alteraciones: Es la acción de alterar. Este verbo indica un cambio en la forma de algo, una perturbación, un trastorno o un enojo.

Caliza: Es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), generalmente calcita.

Estabilidad volumétrica: Cifra que expresa la resistencia de un material a los cambios elásticos, relación entre la presión que actúa sobre el material y el cambio fraccional que se produce en su volumen dentro de los límites de elasticidad del material.

Resistencia: Es la capacidad que tienen los elementos estructurales de aguantar los esfuerzos a los que están sometidos sin romper.

Permeabilidad: Se define como la capacidad que tiene una roca de permitir el flujo de fluidos a través de sus poros interconectados. Si los poros de la roca no se encuentran interconectados no puede existir permeabilidad.

Compresibilidad: Es la propiedad que tiene la materia de disminuir de volumen cuando se la somete a una presión ejercida por todos lados.

Estiaje: Es el nivel de caudal mínimo que alcanzan los ríos, lagunas o el acuífero en la época de mayor calor, debido principalmente a la sequía.

Durabilidad: Resistencia de un material de permanecer inalterable al paso del tiempo.

Deformabilidad: Facilidad con la que se puede modificar la forma y el tamaño de un cuerpo.

Estabilizar: Es el proceso al que se ven sometidos los suelos naturales arcillosos para mejorar sus cualidades: aumentar su resistencia, reducir su plasticidad, facilitar los trabajos de construcción o aumentar su estabilidad reduciendo problemas en estructuras y pavimentos.

Suelos expansivos: Es un término generalmente empleado a cualquier suelo o material rocoso que tiene la capacidad de encogerse e hincharse bajo cambios en las condiciones de humedad.

Impacto ambiental: Es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Fisuración: Todas aquellas aberturas incontroladas que afectan solamente a la superficie del elemento o a su acabado superficial.

Rotura: Acción o efecto de romperse un material al sufrir una fatiga superior a su resistencia a la misma.

Estabilización mecánica: Consiste en compactar el suelo de forma estática o dinámica para aumentar su densidad, su resistencia mecánica, disminuir su porosidad y su permeabilidad.

Contracciones: Variación del volumen respecto al contenido de humedad.

Mampostería: Se conoce como el sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen; que pueden ser ladrillos, bloques de cemento prefabricados, piedras talladas en formas regulares o no, entre otros.