UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INGENIERÍA CULIACÁN

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

“ANÁLISIS DEL RESIDUO DE CONCRETO FRESCO DE PLANTA DOSIFICADORA DE CONCRETO DE CULIACÁN, SINALOA; COMO ESTABILIZANTE DE ARCILLA PARA USO EN TERRAPLÉN”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTA:
ELISEO URIARTE VARGAS

DIRECTOR DE TESIS:
DR. MANUEL DE JESÚS PELLEGRINI CERVANTES

CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. RAMÓN CORRAL HIGUERA

Culiacán de Rosales, Sinaloa, a diciembre del 2018

UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a Dios por permitirme un logro más que es resultado de tu ayuda, y que da vez que caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores y de todo lo que pones frente de mí es para que mejore y crezca como ser humano.

Le doy gracias a mi madre por el apoyo al proyecto emprendido, su amor incondicional, por sus oraciones y palabras de aliento.

Gracias a la Facultad de Ingeniería Culiacán, en su programa de Maestría en Ingeniería de la Construcción, por permitirme formarme en ella y permitirme en un profesional en lo que tanto me apasiona. Así como a cada maestro que con su experiencia formo parte de este proceso de aprendizaje.

A todos mis compañeros de generación que en el transcurso de este tiempo se convirtieron en más que simples compañeros de la maestría, por su apoyo, sinergia y su amistad.

Gracias a la coordinadora de la maestría, por su apoyo y paciencia durante este periodo.

Gracias a mi director y co-director del proyecto de intervención, por su experiencia y aportaciones para llevar a buen puerto el proyecto emprendido.

Gracias al comité evaluador por sus observaciones y comentarios durante el desarrollo del proyecto de intervención.

En el transcurso de la maestría que culmina con el desarrollo del proyecto de intervención no lo puedo catalogar como una etapa fácil, pero lo que sí puedo hacer, es afirmar que durante todo este tiempo pude disfrutar de cada momento que viví en este proceso.

DEDICATORIAS

A Dios

Por ser mi guía, bendecirme, darme las fuerzas para continuar con mis metas sin desfallecer y permitirme haber culminado una etapa tan importante de mi formación profesional.

A mi madre

Por su dedicación, amor, su confianza en mí, apoyo incondicional, que durante esta nueva etapa en mi vida siempre estuvo para mí.

A mi novia

Por darme la alegría, motivarme y ayudarme en este proyecto.

RESUMEN

En el movimiento de tierra para la construcción de viviendas en serie, por lo general se encuentran en sus predios con un material cohesivo, el cual por su dificultad para trabajar y su inestabilidad volumétrica ante cambios de humedad, convirtiéndose en un problema, teniendo en la región dos opciones para resolver esta situación: la primera es estabilizar el material con cal y/o cemento y la otra es cortar, retirar y suministrar material de banco. Lo que nos lleva a realizarnos las siguientes preguntas.

¿Qué impacto tiene el realizar estos procesos constructivos?

1. El uso de cal y/o cemento como estabilizante.
    - Suministrar el cemento y/o cal.
    - Almacenaje del material.
    - Vigilancia.
2. Cortar, retirar y suministrar material de banco.
    - Suministrar material de banco.
    - Al retirar y suministrar material se generan gases efecto invernadero emitidos por los camiones de volteo.
    - El abrir bancos para la extracción y vertido de material.
    - Los gases efecto invernadero de la maquinaria empleada en dichos bancos.

¿Qué se plantea en este documento?

- Analizar una mezcla de material cohesivo con un agente estabilizador alternativo.

¿Qué agente estabilizador utilizar?

- Uno que su costo no sea excesivo, que pueda declinar su selección.
- Que sea “amigable” con el medio ambiente, es decir, que contamine lo menos posible en su producción.

En este documento se utilizaron los manuales de métodos de muestreo y pruebas de materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para realizar los ensayos de laboratorio para estabilizar la arcilla con un material de residuo de una planta dosificadora de concreto, y comparar los resultados de las mezclas con las características del material para terraplén de la norma N-CMT-1-01/16 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, arrojando un buen comportamiento al disminuir la plasticidad, la expansión y aumentar el CBR del suelo.

ABSTRACT

In the earth's movement to build housing in series, in general it's find a cohesive material, which for it's difficulty to work and its volumetric instability in the face of changing of humidity, becoming a problem, having in the región two options to solve this situation: the first is to stabilize the material with lime and/or cement, and the other is to cut, to remove and to supply material. Which leads us to ask ourselves the following questions.

What impact does it have to carry out these constructive processes?

1. The use of lime and/or cement as a stabilizer.
    - Supply cement and/or lime.
    - Have a storehouse.
    - Vigilance.
2. Cut, to remove and supply material.
    - Supply material.
    - When removing and supplying material, greenhouse gasses are emitted by dump trucks.
    - The opening of Banks for the extraction and dumping of material.
    - The greenhouse gasses of the machinery used in these banks.

What is lay out in this document?

- Analyze a mixture of cohesive material with an alternative stabilizing agent.

What stabilizing agent to use?

- One whose cost is not excessive, that can decline its selection.
- Environmentally friendly, that is, that contaminate as little as possible in its production.

In this document, the manuals of sampling methods and material testing of the Secretaría de Comunicaciones y Transportes were used to perform laboratory test to stabilize clay with waste material from a concrete dosing plant, and compare the results of the mixtures with the characteristics of the material for embankment of the norm N-CMT-1-01/16 of the Secretaría de Comunicaciones y Transportes, throwing good behavior by decreasing plasticity, expansión and increasing the CBR of the soil.

PALABRAS CLAVE: Arcilla, residuo de concreto fresco, estabilización, material para terraplén.

KEYWORDS: Clay, fresh concrete residue, stabilization, embankment material.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 12
1.1. PRESENTACIÓN 12
1.2. ANÁLISIS SITUACIONAL 13
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 13
2. FUNDAMENTO TEÓRICO 16
2.1. MARCO HISTÓRICO 16
2.2. MARCO TEÓRICO 17
2.3. MARCO LEGAL 20
3. PROYECTO DE INTERVENCIÓN 21
3.1. OBJETIVO GENERAL 21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21
3.3. JUSTIFICACIÓN 22
3.4. METODOLOGÍA 23
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 50
4. ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN 58
4.1. PLAN DE ACCIÓN 58
4.2. ESTRATEGIAS USADAS PARA PRESENTAR Y PERSUADIR A LOS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO 58
5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO 60
5.1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 60
5.2. RECURSOS 60
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 61
6.1. CONCLUSIONES 61
6.2. RECOMENDACIONES 62
REFERENCIAS 63
ANEXOS 65
1. CUADRO ESQUEMÁTICO DE DISGREGADO DE LA MUESTRA 66
2. CALIBRACIÓN DE MATRACES 67
ENSAYOS AL RESIDUO DE CONCRETO FRESCO 68
3. CONTENIDO DE AGUA DEL RESIDUO 69
4. GRANULOMETRÍA DEL RESIDUO 70

5. DENSIDAD DE SOLIDOS DEL RESIDUO 71
ENSAYOS A LA ARCILLA 72
6. CONTENIDO DE AGUA DE LA ARCILLA 73
7. GRANULOMETRÍA DE LA ARCILLA 74
8. LÍMITES DE CONSISTENCIA ARCILLA 75
9. CARTA PLASTICIDAD 76
10. CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON BASE EN EL SUCS 77
11. DENSIDAD DE SOLIDOS ARCILLA 78
12. PESO VOLUMÉTRICO SECO 79
13. COMPACTACIÓN AASHTO ARCILLA 80
14. CBR Y EXPANSIÓN ARCILLA 81
ENSAYOS MEZCLAS ARCILLA-RESIDUO 82
MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 10% 83
MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 15% 88
MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 30% 93
MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 50% 98
28. COSTO HORARIO DE PULVERIZACIÓN DE MATERIAL 100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Obtención y almacenaje del residuo. 24
Figura 2. Disgregado del residuo. 25
Figura 3. Secado y disgregado de la arcilla. 25
Figura 4. Pesaje del residuo. 26
Figura 5. Pesaje del material cohesivo. 26
Figura 6. Agitador mecánico para granulometría del residuo. 27
Figura 7. Procedimiento para la granulometría de las mezclas de arcilla con residuo. 28
Figura 8. Procedimiento para la granulometría de la arcilla. 28
Figura 9. Procedimiento para determinar el límite líquido de la arcilla. 30
Figura 10. Procedimiento para determinar el límite líquido del residuo. 30
Figura 11. Preparación de mezcla de arcilla con residuo. 30
Figura 12. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 10%. 31
Figura 13. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 15%. 31
Figura 14. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 30%. 31
Figura 15. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 50%. 31
Figura 16. Procedimiento para determinar el límite plástico del residuo. 32
Figura 17. Procedimiento para calibrar matraces de aforo. 34
Figura 18. Procedimiento para determinar la densidad de sólidos del residuo. 35
Figura 19. Procedimiento para determinar la densidad de sólidos de la arcilla. 35
Figura 20. Procedimiento para determinar el peso volumétrico de la arcilla. 36
Figura 21. pH del residuo. 38
Figura 22. pH de la arcilla. 38
Figura 23. pH mezcla arcilla con residuo 10%. 38
Figura 24. pH mezcla arcilla con residuo 15%. 39
Figura 25. pH mezcla arcilla con residuo 30%. 39
Figura 26. pH mezcla arcilla con residuo 50%. 39
Figura 27. Compactación de la arcilla. 41
Figura 28. Compactación mezcla arcilla con residuo 10%. 41
Figura 29. Compactación mezcla arcilla con residuo 15%. 42
Figura 30. Compactación mezcla arcilla residuo 30%. 42
Figura 31. Compactación de la arcilla. 44
Figura 32. Compactación mezcla arcilla residuo 10%. 44
Figura 33. Compactación mezcla arcilla residuo 15%. 44
Figura 34. Compactación mezcla arcilla residuo 30%. 44
Figura 35. Expansión de la arcilla. 45
Figura 36. Expansión mezcla arcilla residuo 10%. 45
Figura 37. Expansión mezcla arcilla residuo 15%. 45
Figura 38. Expansión mezcla arcilla residuo 30%. 46
Figura 39. Penetración de la arcilla. 47

Figura 40. Penetración mezcla arcilla residuo 10%. 47
Figura 41. Penetración mezcla arcilla residuo 15%. 47
Figura 42. Penetración mezcla arcilla residuo 30%. 47
Figura 43. Prueba límite líquido para el residuo. 50
Figura 44. Prueba límite plástico para el residuo. 51
Figura 45. Granulometría de la arcilla y las mezclas. 54
Figura 46. Límite líquido para la arcilla y las mezclas. 55
Figura 47. Compactación AASHTO para la arcilla y las mezclas. 56
Figura 48. CBR y Expansión para la arcilla y las mezclas. 57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Contenido de agua. 26
Ecuación 2. Porcentaje retenido. 28
Ecuación 3. Primer porcentaje que pasa. 28
Ecuación 4. Porcentaje que pasa. 28
Ecuación 5. Coeficiente de uniformidad. 29
Ecuación 6. Coeficiente de curvatura. 29
Ecuación 7. Límite plástico. 32
Ecuación 8. Índice plástico. 32
Ecuación 9. Densidad de sólidos. 35
Ecuación 10. Peso volumétrico húmedo. 36
Ecuación 11. Peso volumétrico seco. 36
Ecuación 12. Volumen de muestra con parafina. 37
Ecuación 13. Volumen de la muestra. 37
Ecuación 14. Volumen de la parafina. 37
Ecuación 15. Masa volumétrica húmeda. 40
Ecuación 16. Masa volumétrica seca. 41
Ecuación 17. Volumen de agua. 43
Ecuación 18. Masa volumétrica seca del espécimen compactado en el molde. 48
Ecuación 19. Contenido de agua del espécimen compactado en el molde 48
Ecuación 20. Expansión del espécimen. 48
Ecuación 21. CBR para una penetración de 2.54 mm. 49
Ecuación 22. CBR para una penetración de 5.08 mm. 49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación tiempo - penetración. 46
Tabla 2. Porcentajes de residuo para las mezclas. 50
Tabla 3. pH de la arcilla y las mezclas. 53
Tabla 4. Granulometría de la arcilla y las mezclas. 54
Tabla 5. Límite líquido de la arcilla y las mezclas. 55
Tabla 6. Compactación AASHTO para la arcilla y las mezclas. 56
Tabla 7. CBR y Expansión para la arcilla y las mezclas. 57
Tabla 8. Requisitos de calidad de materiales para terraplén. 57
Tabla 9. Costo de emplear el 3% de cemento por metro cúbico. 59
Tabla 10. Costo de emplear el 3% de cal por metro cúbico. 59
Tabla 11. Costo por el acarreo del residuo por metro cúbico. 59
Tabla 12. Costo del suministro y retiro de material por metro cúbico. 59
Tabla 13. Cronograma de actividades. 60
Tabla 14. Recursos 60

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN

Este análisis busca la estabilización de arcillas con un material alternativo al que comúnmente se llega a utilizar, como lo son la cal y el cemento, estos al menos en nuestra región. Para realizar el presente estudio se aplicaran las normas y manuales de procedimientos para sondeos, muestreos y ensayos de laboratorio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT.

En la actualidad los proyectos de desarrollo inmobiliario y/o urbanizaciones, por citar un ejemplo, es tan frecuente la presencia de un material cohesivo en los predios a trabajar que, puede ocasionar lo siguiente:

1.-Al no poder colocar el material cortado en las zonas de terraplén, por no cumplir con las características de calidad para terraplén [1], se tiene que suministrar material de banco, teniendo que abrir nuevos bancos de extracción y de vertido de material. Los gases de dióxido de carbono emitidas al ambiente por la maquinaria pesada empleada en dichos bancos, de los camiones de volteo que se usan en el transporte de retiro y de suministro de material [2, 3].

2.- El empleo de cal y/o cemento para estabilizar el material.

En este documento se propone, como agente estabilizador el residuo de concreto fresco, el cual es producto de sobrantes de concreto que quedan en los camiones con olla revolvedora, la cual es lavada a su regreso a la planta dosificadora de concreto, este material es depositado en una cuenca y mediante un proceso de sedimentación y separación de los materiales, cabe mencionar que en este proceso se reutiliza: el agua, gravas y arenas, que se pueden separar. Posterior a esto, se obtiene un residuo del concreto fresco que en la actualidad no cuenta con algún uso, siendo depositado en bancos de vertido autorizado.

La arcilla se mezcló con el residuo de concreto fresco, buscando una mezcla óptima, siendo esta la mezcla con el menor porcentaje de residuo y agua, para comprarla con las características de material para terraplén según la norma N-CMT-1-01/16 [1] de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT, donde el material debe tener un límite liquido máximo del 50%, un valor soporte de california mínimo del 5%, una expansión máxima del 5% y un grado de compactación del 90 ± 2%; y así poderla emplear en el movimiento de tierras, donde sea necesario un material con las características para terraplén.

1.2. ANÁLISIS SITUACIONAL

En el sector de la construcción, particularmente en el movimiento de tierras, por ejemplo, los desarrollos inmobiliarios frecuentemente se presenta que en los predios adquiridos para construir, se encuentre con un material cohesivo el cual al tener un cambio de humedad presenta variaciones volumétricas, siendo inestable y difícil de trabajar.

En la actualidad en la región se realizan estabilizaciones con cal, cemento, o una combinación de ambos. Limitando su uso ya que el precio de estos insumos van a la alza, en especial el cemento en un 12%, siendo el segundo aumento para el 2017 llegando al 27% [4, 5], y de un aumento del 13% del presente año [6], implicando su uso en un costo por su adquisición, su almacenaje y vigilancia.

Aunado a la falta de estudios, divulgación de y sobre materiales alternos que puedan estabilizar suelos en nuestra región; hace que se tome la decisión de retirar el material cortado y suministrar material de banco hasta alcanzar los niveles de proyecto.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para tocar este punto se dividirá el tema en dos ejes principales: por un lado el residuo de concreto fresco, abarcando desde la producción del cemento hasta el producto final, en este caso el desecho de la planta de premezclado de concreto; y por otro lado, es la no utilización de un material cohesivo en el movimiento de tierras. A continuación se detalla cada uno de los temas en el orden mencionados.

a) RESIDUO DE CONCRETO FRESCO

El sector de la construcción, fue responsable del 18% de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero GEI en el año 2010 [7]. Otro dato, es que la industria del cemento es una de las fuentes más importantes de Gases de Efecto Invernadero GEI, en particular con las emisiones de dióxido de carbono CO_2, con aproximadamente el 7% del total de emisiones antropogénicas de CO_2 en todo el mundo [8-11]. Para la producción del cemento es necesario una gran cantidad de energía, la cual conduce a una contaminación excesiva en emisiones de dióxido de azufre SO_2 y dióxido de carbono CO_2 [9]. Sin embargo, pese a los datos de contaminación en su producción, según las proyecciones de la industria cementera, la demanda mundial de este producto aumentara del 43 al 72% para el año 2050 [8, 10].

El cemento tiene una gran aceptación y demanda en la industria de la construcción al emplearlo para la elaboración de concreto, siendo el material de construcción más utilizado a nivel mundial, dada su facilidad de uso, versatilidad y disponibilidad [11], en donde nuestro país y ciudad no son la excepción [10]; a pesar de estar contribuyendo al cambio climático [12]. Aunque el concreto endurecido no es peligroso, el concreto fresco puede causar

quemaduras graves a la piel humana, dañar el suelo y el agua, dada su alta alcalinidad [13, 14], esto antes de su fraguado, ya que si es depositado en estado sólido, se clasifica en otro tipo de contaminante, como lo son los escombros.

En la producción del concreto en plantas de premezclado se tienen desperdicios del mismo ya sea por sobre pedidos, sobrantes o desperdicios que en el mejor de los casos son reutilizados y en el peor son depositados sin ningún proceso para su vertido al ambiente ni de reciclaje o aprovechamiento del recurso.

Kazaz y Ulubeyli (2016) exponen varios métodos, para la utilización de los residuos de concreto fresco devuelto a las plantas dosificadoras de concreto. En dicho documento dan a conocer una opción para la utilización del material de desperdicio, denominado como método de descarga en la cuenca de sedimentación y mencionan que este método se aplica a plantas dosificadoras de concreto de tamaño pequeño a mediano, en donde, descargando el concreto fresco en dicho contenedor por medio del lavado de las ollas revolvedoras de los camiones, en la cuenca de sedimentación, permitiendo el asentamiento progresivo de los agregados pudiendo de esta manera reciclar alguno de ellos y obteniendo el producto final que es el residuo de sólidos de cemento [13].

En la ciudad de Culiacán se encuentra una planta dosificadora de concreto, que es la única que tiene este método para reutilizar el concreto, teniendo una producción aproximada de 150 metros cúbicos mensuales de residuo de concreto fresco, y en la actualidad no se contempla ningún uso, siendo depositado en vertederos autorizados.

b) MATERIAL COHESIVO

Generalmente en el movimiento de tierras, se encuentra con un material que no es apto para su posterior colocación como material de terraplén, esto en su estado natural, viéndose forzado a tener que desechar el material cortado y suministrar un material de buena calidad. Por esto, así como se menciona en el documento *Admixture Soil Improvement* [15] la estabilización ha sido usada para la construcción de caminos económicos, conservación de materiales y la modernización de carreteras, en donde los suelos que no son aptos para su uso en su estado natural pueden hacerse adecuados para su posterior empleo por medio del tratamiento con lo son las mezclas o la estabilización.

La mejora del suelo mezclado se refiere a cualquier aplicación donde se añade algún material y se mezcla con el suelo existente para mejorar las propiedades mecánicas del suelo como lo son su resistencia, capacidad de carga, estabilidad volumétrica, permeabilidad y compresibilidad [15]. Para comprender mejor el comportamiento final del material es de vital importancia para optimizar el diseño de la mezcla y su método de mezclado, el llevar a cabo una investigación y la realización de pruebas en laboratorio [16].

Otro punto a destacar, son las emisiones de Gas de Efecto Invernadero producido por los camiones de volteo [2] empleados en el movimiento de tierras para acarrear el material no competente para su utilización en los terraplenes de la obra, en este sentido al no contar con material para compensar los cortes contra los terraplenes, se tiene que suplir este, con un material que cumpla con las características de los materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte para carreteras [1], según sea el tipo de material a emplear, año de publicación, dependiendo de las especificaciones y proyecto ejecutivo; teniendo así un consumo de combustible y emisiones de dióxido de carbono por estas actividades [17]. Así como el impacto ambiental que se tiene al abrir nuevos bancos de explotación de material, las operaciones de la maquinaria para su extracción; generando también la necesidad de tener vertederos para el material de desecho, que al igual que en los bancos de extracción de material repercute en el consumo de energía para las operaciones de la maquinaria y al mismo tiempo generación de Gases de Efecto Invernadero [2, 17].

Por lo anteriormente citado, se propone la utilización del residuo de concreto fresco, para la estabilización de arcilla en el movimiento de tierras. Las consecuencias de no implementar la propuesta, pueden ser:

1.- Desaprovechar el residuo del concreto fresco que actualmente no tiene ningún costo.

2.- Al no tener una alternativa para estabilizar la arcilla y el precio del cemento en aumento, se sigue realizando el mismo procedimiento de: cortar, retirar el material y suministrar material para el terraplén en el movimiento de tierras, repercutiendo en:

- Necesidad de bancos de extracción y de vertido de material.
- Generación de Gases Efecto Invernadero por la maquinaria usada en estos bancos [2].
- Emisiones de Gas Efecto Invernadero de los camiones de volteo en los acarreos de material, tanto para el retiro como para el suministro [2].

Por lo tanto, es de suma importancia promover la conciencia y las buenas prácticas en todos los involucrados en el movimiento de tierras, como lo son: ingenieros, contratistas, diseñadores, control de calidad; sobre los nuevos avances e investigaciones con las que se cuentan al respecto, en este caso, la utilización del residuo de concreto fresco como agente estabilizador de arcilla, ya que en la actualidad en el estado de Sinaloa no existe una propuesta para la utilización de este residuo; y al mismo tiempo contribuimos con el medio ambiente al disminuir las emisiones de Gases Efecto Invernadero emitidas por la maquinaria pesada tanto en el transporte de material como la empleada en los bancos de extracción y vertido de material, así como la preservación del ecosistema al atenuar la explotación de bancos para la extracción de material, vertederos para los desechos de construcción.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. MARCO HISTÓRICO

Las construcciones erigidas por los romanos, chinos, egipcios y mayas, tales como la muralla china, las pirámides de Egipto, las pirámides de Chichén-Itzá, notables y enormes obras, que hoy contemplamos con admiración, son mudos testigos de la atención y conocimientos que se tenían en la antigüedad de las obras de y sobre la tierra. Después de la caída del Imperio Romano y debido a la desorganización social se descuidaron los aspectos técnicos sobre los suelos, teniendo su punto más bajo en el periodo medieval alrededor del 400-1400 AC; siendo hasta los siglos XVII y XVIII, cuando revivió el interés y nuevo impulso a la solución de los problemas de cimentación [18]. Antes del desarrollo de la mecánica de suelos aplicada, los problemas de ingeniería civil eran resueltos en forma intuitiva o por tanteos; el suelo sólo en época reciente fue objeto de un estudio sistemático como material de construcción [19].

Entre los años 1900-1925 constituye la época en que se engendró la Mecánica de Suelos, siendo los pioneros: los ingenieros de la Comisión Sueca de Geotecnia de los ferrocarriles suecos, encabezada por el profesor Wolmar Fellenius. Mientras en los Estados Unidos de América, el "U.S. Bureau of Public Roads" hoy "Federal Highway Administration" así como la "American Society of Civil Engineering" junto con profesores de diversas universidades de dicho país, tenían arduas investigaciones relacionadas con la construcción de carreteras. Pero a partir de 1925 se inicia el desarrollo más significativo en esta rama de la ingeniería, con la presentación del profesor Karl Von Terzaghi de su libro *Erbaumechanik (Mecánica de Suelos)* en Viena, donde expone una nueva filosofía relativa al suelo presentándolo como material y muestra cómo tratar las propiedades mecánicas de los suelos y su comportamiento bajo diversas cargas y condiciones de humedad [18, 19].

La construcción de una cimentación deficiente ha sido causa de fallas en las estructuras desde tiempos inmemoriales; algunas de ellas son: el hundimiento del Palacio de Bellas Artes en la Ciudad de México, el cual fue cimentado sobre arcillas bentoníticas de la zona del lago de Texcoco, estás se han ido consolidando y el edificio se ha asentado paulatinamente. Otro ejemplo es, La Torre de Pisa donde su inclinación se debe a la gradual consolidación de la arcilla situada a ocho metros bajo el nivel de su desplante [18].

En el pasado se utilizaron métodos de tratamiento del suelo más como remedios desesperados para hacer frente a problemas relacionados con el terreno inestable, hoy su uso son como parte del proceso de construcción normalmente empleado [20].

La falta de resistencia del terreno de cimentación bajo un terraplén puede producir una falla por falta de capacidad de carga, asociada a un hundimiento brusco y destructivo del terraplén, por lo que este debe ser bueno en cuanto a resistencia y compresibilidad [21]. El suelo a

menudo es débil y no tiene la suficiente estabilidad en la carga pesada, en este sentido, es necesario reforzar y/o estabilizar el suelo. Los métodos tradicionales para la estabilización química de los suelos expansivos incluyen: la adición de cal, cenizas volantes clase C o F, subproductos industriales como el polvo de horno de cemento, acero o escoria de cobre, y el cemento portland [22]. Un caso se presenta en un estudio realizado con las arcillas marinas delticas nigerianas mejoradas mediante diversos métodos de estabilización, para bajar el costo del movimiento de tierras, donde el material de buena calidad no puede estar disponible o cercano al lugar de trabajo [23].

En la actualidad con el rápido crecimiento de la industrialización, se están produciendo grandes cantidades de material de desecho, siendo peligrosos para la salud y al medio ambiente, pudiendo ser utilizados estos desechos en la construcción de obras civiles [24], como lo es el residuo de concreto fresco.

La tendencia es aprovechar al máximo los materiales existentes y utilizarlos, claro está, tomando en cuenta sus propiedades geotécnicas, situación en que se van a encontrar una vez colocados y la influencia de la humedad in situ; ya que si los materiales son inadecuados se necesita ir a un banco de material, con mayores precios, considerándose fuera de la traza y distancias superiores a 2 km. Para disminuir el impacto ambiental de bancos de préstamo y vertederos es necesario optimizar el movimiento de tierras desde el trazado y aprovechar los materiales del lugar, incluso estabilizándolos para convertir los suelos inadecuados en tolerables; así eliminamos también el impacto acústico y las molestias ocasionadas por el tráfico de camiones [25].

2.2. MARCO TEÓRICO

a) SUELOS

Los suelos son conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes. Los suelos pueden ser residuales o transportados, según se les encuentre en el mismo lugar en que se han generado o en lugar diferente [19, 21]. Los nombres más comunes para suelos utilizados por el ingeniero civil son: gravas, arenas, limos, caliche, tepetate y arcillas dentro de estas tenemos las: caoliníticas, montmoriloníticas e itícas [18].

Hernández (1999) menciona que los suelos y las rocas son materiales de interés en la construcción y sus características afectan su uso como lo son: La Transitabilidad, definiéndola de la siguiente manera: como la habilidad del suelo para soportar el peso de vehículos bajo tránsito repetido, esta característica depende del tipo de suelo y de su humedad, si existen condiciones pobres de transitabilidad se requerirá estabilización y

drenaje adecuado; y La Cargabilidad, definida como: la medida de dificultad para excavar y cargar suelos [26].

b) MECÁNICA DE SUELOS

La mecánica de suelos el Dr. Karl Von Terzaghi, la definió como la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química y mecánica de las rocas [18, 19].

Como menciona Crespo Villalaz (2011), es fundamental conocer las principales características físicas de los suelos, como su: peso volumétrico, densidad, granulometría, absorción [18], pues mediante su interpretación se puede predecir su comportamiento futuro bajo cargas cuando el terreno presente diferentes contenidos de humedad.

Una característica muy importante es conocer la plasticidad del suelo, la cual ha sido posible establecer correlaciones entre sus valores y las propiedades fundamentales del suelo como lo son: compresibilidad, permeabilidad, resistencia del suelo, velocidad de variación de volumen; proporcionando una orientación previa, que se ve reflejado en un ahorro de tiempo y esfuerzo en las etapas subsecuentes del proyecto y con frecuencia evita cometer graves errores. Pero, ¿qué es la plasticidad? Se puede definirse como: la propiedad del material por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse; circunscribe la propiedad a los suelos arcillosos bajo determinadas circunstancias [19, 21].

Para una cimentación, es necesario proporcionar el medio para las cargas de la estructura, se transmitan al terreno produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos o que estos sean tolerables, ya sean uniformes o diferenciales. Para elegir un determinado tipo de cimentación es necesario obtener: a) estudio de cargas y de la compatibilidad entre el tipo de cargas y las características del subsuelo, b) capacidad de carga del suelo y los asentamientos probables, c) anteproyectos de diferentes tipos de cimentación, d) selección del tipo de cimentación atendiendo el tipo de subsuelo, rapidez en la construcción, adaptabilidad, economía, etc. [18].

Todo lo anterior mencionado, se debe tener un muestreo adecuado y la clasificación precisa, los cuales constituyen dos requisitos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño [19].

c) MOVIMIENTO DE TIERRAS

El movimiento de tierras es el conjunto de operaciones a realizar en los terrenos naturales, a fin de modificar su geomorfología y/o el de aportar materiales útiles en las obras ya sean

públicas o privadas; de manera que satisfagan los requerimientos de construcción en cuanto a elevación, densidad, humedad, normas, especificaciones, etc. [25, 26]. Las actividades involucradas en este proceso, de forma general son: desmonte, despalme, corte, carga, acarreos de retiro y/o suministro de material, descarga, terraplén y dentro de este, el extendido, humectación o desecación, homogenización y compactación, nivelación y terminado; estas para los trabajos a realizar en sitio.

d) MÉTODOS PARA MEJORAR SUELOS

El ingeniero debe comprender que casi todos los métodos de diseño y construcción que se dispondrá requiere un buen conocimiento de las características de compresibilidad y resistencia de los suelos sobre los que se construirá, así como de los que se utilizarán en la formación de la obra. Para esto, como primera etapa se realizara un muestreo preliminar, sencillo y económico como lo son muestras alteradas para clasificación de suelos y después se hace la investigación definitiva con métodos delicados y más costosos tales como las muestras inalteradas; con la información recabada se estudia la estabilidad del terraplén y los asentamientos del mismo [19, 21].

Cuando se piense en tratamientos para mejorar las condiciones del terreno natural es preciso pensar tanto en la resistencia como en el asentamiento. Mencionaremos algunos métodos para mejorar las condiciones del terreno natural siendo: el uso de materiales ligeros, sobreelevación de la rasante, construcción previa de terraplenes, drenes verticales de arena, remoción del material compresible, calcinación del suelo, colocación de bermas o uso de taludes muy tendidos, compactación, incrustación de material rocoso y un método más moderno el uso de geo-sintéticos [21].

Ahora bien, los métodos para mejorar los suelos que se utilizan en los terraplenes como se mencionan en el libro *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres* [21] son:

1) Físicos: el confinamiento para suelos friccionantes, la consolidación previa para suelos finos arcillosos, la mezclas de suelo con suelo y la vibroflotación.
2) Mecánico: la compactación.
3) Químico o conocido como estabilización: sal, cemento, asfalto, cal.

Las propiedades mecánicas de los suelos pueden ser mejoradas dramáticamente a través de la adición de materiales al suelo, como lo son su resistencia, capacidad de carga, estabilidad volumétrica, permeabilidad y compresibilidad, pudiendo ser de naturaleza física o química, y en la mayoría de los casos pueden ser permanentes. Esta mejora mediante el uso de aditivos, el cual es un material añadido al suelo, se denomina estabilización del suelo, puesto que el suelos se vuelve más “estable” al ser menos susceptibles a las fluctuaciones en sus propiedades mecánicas [15].

Las mejoras más comunes a través de la estabilización incluyen: mejor gradación del suelo, reducción del índice de plasticidad o potencial de expansión, el aumento en la durabilidad y la resistencia. En tiempos húmedos la estabilización se puede aplicar para proporcionar una plataforma de trabajo para las operaciones de construcción (Joint Departments of the Army and Air Force, 1994, citado por Ramaji) [22].

La estabilización de arcilla con cemento es una técnica bien conocida, en este caso, el residuo de concreto fresco de la planta dosificadora de concreto, es el agente estabilizador que se abordara en este documento.

2.3. MARCO LEGAL

En este estudio se enfoca su realización mediante la utilización de la arcilla y el aprovechamiento del residuo de concreto fresco, en donde la sustentabilidad es un tema de suma importancia y que, como sociedad debemos hacer uso consciente y responsable de los recursos con los que contamos; viéndose reflejadas en las Leyes, reglamentos y acuerdos que determinan el ámbito de competencia y funciones orgánicas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, en la cual menciona por ejemplo que, la regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de los recursos y el suelo, estarán determinada por le Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable [27].

Una parte de importancia que menciona en el titulo primero disposiciones generales, capítulo IV instrumentación de la política ambiental, sección III instrumentos económicos, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente LGEEPA [28], en lo que se refiere a incentivar en el cambio de conducta y otorgar incentivos a quien realice acciones para la protección, preservación o restauración del equilibrio ecológico; que los procesos, productos y servicios que conforme a la normatividad aplicable, hayan sido certificados ambientalmente.

En la sección V de la misma Ley, habla sobre la evaluación del impacto ambiental y establece las condiciones a sujetarse al realizar las obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente.

En la sección VII autorregulación y auditorías ambientales, expone que los productores, empresas u organizaciones empresariales podrán desarrollar procesos voluntarios de autorregulación ambiental, los cuales mejoren el desempeño ambiental, respetando la legislación y normatividad vigente en la materia y se comprometan a superar o cumplir mayores niveles, metas o beneficios en materia de protección ambiental.

El artículo 134 de la misma ley, menciona que, para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios, tomando los más importantes para el tema en estudio:

I.- Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo;

II.- Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos;

III.- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reusó y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos LGPGIR [29], se citan los puntos más importantes que para el tema de investigación lo son:

I.- Determinar los criterios a considerar en la generación y gestión integral de los residuos;

II.- Formular una clasificación básica y general de los residuos;

III.- Regular la generación y manejo de residuos;

IV.- Fomentar la valorización de residuos;

V.- Fortalecer la investigación, desarrollo científico, innovación tecnológica, para reducir la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, orientadas a procesos productivos limpios.

Para realizar el proyecto de intervención se tomaron los procedimientos de muestreo y ensayos de laboratorio a realizar para el estudio, así como el punto medular del análisis, las características de material para terraplén de la Secretaria de Comunicaciones y Transporte en su sección carretera [1].

3. PROYECTO DE INTERVENCIÓN

3.1.OBJETIVO GENERAL

Analizar la mezcla de arcilla con material producto de residuo de la planta dosificadora de concreto como agente estabilizante y compararla con las características de material para terraplén, según la norma N-CMT-1-01/16 [1] de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos para realizar el proyecto tenemos los siguientes:

a) Describir las características del material de residuo.
b) Describir las características del material cohesivo.
c) Proponer las dosificaciones para las mezclas de materiales.

d) Realizar distintas mezclas de arcilla con residuo.
e) Describir las características de las mezclas de arcilla con residuo.
f) Comparar los resultados de los ensayos de laboratorio de las mezclas con la norma N-CMT-1-01/16 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
g) Analizar e interpretar los resultados.
h) Elaborar las conclusiones y recomendaciones.

3.3. JUSTIFICACIÓN

Uno de los objetivos clave de la agenda ambiental global es, la reducción de las emisiones contaminantes, como los son los Gases de Efecto Invernadero para proteger el patrón climático mundial [8], además este estudio se relaciona con la problemática que actualmente se presenta en el país, debido al incremento en el precio del combustible [30], afectando a todos los sectores productivos, y el caso de la construcción no es la excepción; así como, mitigar la explotación de bancos de extracción y vertederos de material, las emisiones de Gases Efecto Invernadero producidas por las actividades llevadas a cabo en el movimiento de tierras por acarreos y maquinarias empleadas en los bancos de extracción y vertido de material, pero sobre todo el aprovechar un desperdicio como lo es el residuo de concreto fresco de las plantas dosificadoras de concretos.

Al implementarse la presente investigación se obtienen los siguientes beneficios:

1. Es amigable al medio ambiente:
   a) La utilización de un material de desperdicio.
   b) Se eliminara el transporte y depósito del residuo en un relleno autorizado.
   c) Disminuir la emisión de Gases Efecto Invernadero al medio ambiente, tanto por el transporte de material de desecho como de suministro de material en el movimiento de tierras, así como, el de la maquinaria usada en los bancos para extraer el material y el equipo para el extendido en los bancos de vertido.
   d) Mitigar la necesidad de abrir nuevos bancos de extracción y de vertido de material.

2. Minimizar las molestias sociales al:
   a) No dañar en exceso el pavimento existente, por el tráfico de maquinaria pesada.
   b) Disminución de la contaminación acústica y de polvos por los camiones.
   c) Mitigar las molestias ocasionados por el tráfico de camiones.

3. Impacto en los presupuestos de licitación de obras tanto públicas como privadas:
   a) El material de residuo de concreto fresco, no presenta ningún costo.
   b) Se elimina el gasto por el retiro del material inadecuado para su uso.
   c) Minimiza el costo que implica el suministro de material para el terraplén.

d) Reducir el riesgo por tener que subcontratar a las alianzas para el transporte de material, esto por la disponibilidad de los camiones de volteo, los tiempos de ejecución de la obra o querer avanzar conforme al programa de la misma.
e) Disminuir la inseguridad en la calidad de los bancos de extracción de material, al enfocarte en una cantidad menor de calidades a emplear y/o en uno solo.
f) Descartar los retrasos ocasionados por el clima, al estabilizar el suelo y continuar los trabajos impactando positivamente en la programación de obra para cumplir e inclusive adelantar los tempos de ejecución.

3.4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este análisis se dividió en: trabajo de campo, de laboratorio y de gabinete, brevemente se expone en lo que consistió cada uno de ellos; en el trabajo de campo se gestionó la autorización ante el encargado de la planta de premezclado de concreto para sacar muestras del material de residuo. El trabajo de laboratorio se realizó diversas pruebas de laboratorio, tanto al material cohesivo como al residuo para conocer sus características físicas y mecánicas, se dosifico distintas mezclas de arcilla con residuo y se obtuvo sus características físicas y mecánicas; por último el trabajo de gabinete se recopilo los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, y se comparó con los requerimientos de calidad de la norma N-CMT-1-01/16 [1], que son las características a cumplir para que sea aprobado como material para terraplén, se recopilo los datos obtenidos y fotografías, y se presentan las conclusiones del estudio y las recomendaciones para futuras investigaciones. A continuación se detallan las actividades que se realizaron.

1) OBTENER MUESTRAS DE MATERIAL COHESIVO

Se visitaron dos predios, pero el material encontrado no era el que se propuso para realizar el estudio, por esto y, dado el tiempo para realizar el proyecto de intervención, se optó por tomar material que se tenía en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Culiacán, donde se realizó la estancia profesional y se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio.

2) PERMISO PARA SACAR MUESTRAS DEL RESIDUO DE CEMENTO

Se habló con el Ing. Amado Quiñones encargado de calidad de la planta de premezclado de Conymat acerca del tema del proyecto de intervención y de la posibilidad de que nos facilitara la manera de sacar unas muestras representativas del residuo que genera la planta, el ingeniero muy amablemente nos atendió y se mostró muy abierto y con toda la disposición para facilitarnos las condiciones para obtener las muestras.

3) OBTENCIÓN DEL RESIDUO DE CONCRETO FRESCO

Se tomaron unas muestras de material de residuo, alrededor de 50 kg de material en costales de plástico, limpiando la superficie de materia orgánica, polvo o basura, como lo indica el manual M-MMP-1-01/03 [31]. Se transportó en costales de plástico acomodadas de tal modo que se evite su perforación o rotura y desplazamientos dentro del vehículo, evitando golpes o vibraciones durante la carga, descarga y manejo. Las muestras se almacenaron en laboratorio, el cual está techado, cerrado, limpio y seco; acomodándolas de manera ordenada.

Figura 1. Obtención y almacenaje del residuo.

4) CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES: RESIDUO, ARCILLA Y MEZCLAS

A continuación se presentan las distintas pruebas realizadas a las muestras de: material cohesivo, residuo y las mezclas de arcilla con residuo; para conocer las características de las mismas, utilizando el manual de la SCT, en seguida se describe cada prueba.

SECADO, DISGREGADO Y CUARTEO DE MUESTRA, M-MMP-1-03/03 [32]:

Secado: para facilitar el disgregado y manejo de muestras. El procedimiento de secado que se utilizó fue el de secado al aire a temperatura ambiente, extiendo la muestra en las charolas, lisa y limpia, para que sea fácil recogerla, evitando la pérdida de finos y su contaminación; se revolvió periódicamente el material con un cucharon para lograr un secado más rápido y uniforme, hasta reducir su contenido de agua a un grado tal que permita su fácil disgregación.

Disgregado: para separar las diferentes partículas aglomeradas que constituyen la muestra, hasta quedar reducidas a sus fracciones más pequeñas, sin romper las partículas duras. El procedimiento se ilustra en el anexo 1 y se describe a continuación:

- Ya secada la muestra, se determinó y registró su masa con aproximación de 10 g.
- El material se cribó por la malla Nº 4 apartando la fracción que pasa esta malla.
- El material retenido en la malla Nº 4 se cribó en la malla de 3” y la fracción retenida se coloca en charolas de lámina, donde se disgregó con un mazo aplicando golpes

verticalmente desde una altura aproximada de 20 cm hasta obtener partículas que ya no se disgregaron. El material disgregado se cribó nuevamente por la malla de 3".

- El material disgregado y cribado que pasó la malla de 3" se agregó al que inicialmente la pasó y se cribó por la malla de 2", repitiendo el mismo procedimiento de cribado, disgregado. Se repitió la misma operación con las mallas de 1", 3/8" y la Nº 4.
- Se reintegró la muestra con todas las porciones obtenidas en estas operaciones para posteriormente proceder al mezclado y cuarteo de la misma.

Cuarteo: para obtener de la muestra, proporciones representativas para efectuar las pruebas de laboratorio realizadas. El procedimiento es el siguiente:

- El material se colocó en una superficie plana y limpia.
- Con un cucharon pequeño se formó un cono con el material, tomándolo de la periferia y vertiéndolo sobre la cúspide; se aplano el cono a un espesor y diámetro uniforme, presionando la parte superior con el cucharon.
- El cono aplanado se separó en cuadrantes sensiblemente iguales con una regla y sobre una charola se juntó el material de dos cuadrantes opuestos.

En seguida se muestran imágenes del procedimiento para el residuo y para la arcilla.

Figura 2. Disgregado del residuo.

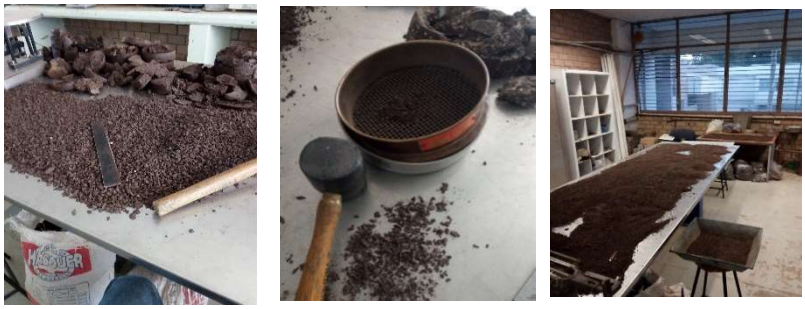


Figura 3. Secado y disgregado de la arcilla.

CONTENIDO DE AGUA, M-MMP-1-04/03 [33]:

La prueba consistió en secar una muestra del material en el horno y determinar el porcentaje de la masa del agua, con relación a la masa de los sólidos, el procedimiento utilizado fue:

- Se obtuvo la masa de la capsula limpia y seca, anotándola como W_{Cap} en g.
- Se colocó una porción de la muestra húmeda en la capsula y se determinó la masa del conjunto, registrando como W_{Cap+SH} en g.
- Se colocó la capsula con el material en el horno por 16 horas como mínimo.
- Ya seca la muestra, se retiró la capsula del horno, se dejó enfriar y se obtuvo la masa de la muestra con la capsula y se anotó como W_{Cap+SS} en g.

Para calcular el contenido de agua se utilizó la siguiente expresión y en seguida se muestran unas imágenes:

Ecuación 1. Contenido de agua.

$$\omega = \frac{W_{Cap+SH} - W_{Cap+S}}{W_{Cap+SS} - W_{Cap}} x\ 100 = \frac{W_w}{W_s} x\ 100\ ; donde:$$

ω: contenido de agua, %.
W_{Cap+SH}: masa de la muestra húmeda más la masa de la capsula en g.
W_{Cap+SS}: masa de la muestra seca más la masa de la capsula en g.
W_{Cap}; masa de la capsula en g.
W_W: masa del agua en g.
W_S: masa de los sólidos en g.

Figura 4. Pesaje del residuo.

Figura 5. Pesaje del material cohesivo.

GRANULOMETRÍA, M-MMP-1-06/03 [34]:

Se hizo de dos formas una para el residuo y otra para la arcilla y las mezclas, el procedimiento es el siguiente.

Residuo: se tomó una muestra de aproximadamente 200 g, de acuerdo con lo indicado en el manual M-MMP-1-03/03 [32], secado, disgregado y cuarteo de muestras; el cual se secó en el horno y se obtuvo la masa de este material y se registró como $W_{Suelo\ Seco}$ en g. Una vez seco el material se pasó el material por las mallas de 3" a la Nº 4 para separar las gravas, de la malla Nº 4 a la Nº 200 las arenas, y los finos que pasaron la malla Nº 200.

Figura 6. Agitador mecánico para granulometría del residuo.

Arcillas y mezclas: seleccionado del material una muestra de aproximadamente 200 g, de acuerdo con lo indicado en el manual M-MMP-1-03/03 [32], secado, disgregado y cuarteo de muestras; el material que paso la malla Nº 4 se secó en el horno y se obtuvo la masa de este material y se registró como $W_{Suelo\ Seco}$ en g, se colocó en un recipiente metálico donde se le agregaron aproximadamente 500 cm^3 de agua y se dejó reposar durante 12 horas como mínimo. Posteriormente este material se lavó a través de la malla Nº 200, representándose como arena lavada, con una espátula se agito en forma de ochos el contenido del recipiente durante 15 segundos para formar una suspensión, se dejó reposar durante 30 segundos y se decantó sobre la malla Nº 200; se aplicó un chorro de agua a baja presión, repitiendo la operación de lavado hasta que el agua decantada salió limpia. El material retenido en la malla Nº 200 se regresó al recipiente metálico. Se secó el material dentro del recipiente metálico en un horno durante 16 horas mínimo a temperatura de 105 ± 5º C, se retiró del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente, denominando este material como $W_{arena\ seca}$. Se ensamblaron las mallas Nº 10, Nº 20, Nº 40, Nº 60, Nº 100, Nº 200, se vertió el material seco sobre la malla superior y se coloca la tapa. Se imprimió al juego de mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal durante 5 minutos con un agitador mecánico. Ya concluido el cribado se quitó la tapa y se separó la malla Nº 10, y se agito sobre una charola hasta que se estimó que la masa del material que pasa dicha malla dure 1 minuto no sea mayor de 1 gramo; este material de la charola se vertió sobre la malla siguiente Nº 20; este procedimiento se repitió en cada una de las mallas y las partículas atoradas sean regresadas a la porción retenida

correspondiente con un cepillado de la malla por su reverso. Finalmente se obtuvo las masas de los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotaron las masas respectivas como W con aproximación de 0.1 gramos.

Figura 8. Procedimiento para la granulometría de la arcilla.

Figura 7. Procedimiento para la granulometría de las mezclas de arcilla con residuo.

Las ecuaciones utilizadas para el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa son:

Ecuación 2. Porcentaje retenido.

$$\%\ Retenido = \frac{Peso\ Retenido\ \#\ Malla}{W_{Suelo\ Seco}}$$

Ecuación 3. Primer porcentaje que pasa.

$$\%\ Pasa = 100 -\ \%\ Retenido, para\ la\ primera\ determinación$$

Ecuación 4. Porcentaje que pasa.

$$\%\ Pasa = \%\ Pasa\ anterior - \%\ Retenido_i, \qquad donde:$$

i: número de malla.

Se determinó el porcentaje de gravas del material seco, como la suma del porcentaje retenido de la malla de 3" hasta la malla Nº 4. El porcentaje de arenas se determinó como la suma de los porcentajes retenidos de la malla Nº 10 a la malla Nº 200. Por último se determinó el porcentaje de finos como el porcentaje de material que pasa la malla Nº 200.

Se determinan los coeficientes de uniformidad C_u y de curvatura C_c, mediante:

Ecuación 5. Coeficiente de uniformidad.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \; ; \; donde:$$

C_u: coeficiente de uniformidad del material, adimensional.
D_{10}: tamaño de las partículas para el cual el 10% del material es menor que este tamaño, determinado con la curva granulométrica, en mm.
D_{60}: tamaño de las partículas para el cual el 60% del material es menor que este tamaño, determinado con la curva granulométrica en mm.

Ecuación 6. Coeficiente de curvatura.

$$C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} x D_{60}}; \quad donde:$$

C_c: coeficiente de curvatura del material, adimensional.
D_{30}: tamaño de las partículas para el cual el 30% del material es menor que este tamaño, determinado con la curva granulométrica en mm.

LÍMITES DE CONSISTENCIA, M-MMP-1-07/07 [35]:

Para conocer las características de plasticidad del material que pasó la malla Nº 40. Se determinó el límite líquido, es decir, el contenido de agua para el cual un suelo plástico, adquiere una resistencia al corte de 2.45 kPa (25 g/cm^2). El límite plástico o el contenido de agua para el cual un rollito se rompe en tres partes al alcanzar un diámetro de 3 mm. El índice plástico se calcula como la diferencia entre los límites líquido y el límite plástico.

De la muestra de material se apartó de acuerdo al procedimiento indicado en el manual M-MMP-1-03/03[32], secado, disgregado y cuarteo de muestras, una porción de aproximadamente 300 gramos de material que pasó la malla Nº 40, posteriormente se separaron aproximadamente 250 gramos. Se colocó el material separado en un recipiente, se agregó agua hasta saturarlo y se dejó reposando por 24 horas, en un lugar fresco, cubriendo el recipiente con un paño húmedo para reducir al mínimo la pérdida de agua por evaporación.

Para determinar el límite líquido ω_L, se siguió el siguiente procedimiento:

- De la fracción del material preparada, se tomaron aproximadamente 150 gramos, se colocó en una cápsula de porcelana donde se homogenizó con una espátula.
- En la copa Casagrande, se colocó una cantidad suficiente de material extendiéndolo con una espátula, se alcanzó un espesor entre 8-10 mm en la parte central de la copa.

- Se hizo una abertura en la parte central del material con un ranurador, manteniéndolo normal a la superficie interior de la copa.
- Posteriormente se accionó la manivela del aparato para hacer caer la copa a razón de dos golpes por segundo, registrando el número de golpes para lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de 13 mm.
- Se tomó con una espátula material de la porción cerrada de la ranura y se determinó el contenido de agua de acuerdo con el manual M-MMP-1-04/03 [33].
- Ya tomada la porción para determinar el contenido de agua, el material restante se reintegró a la cápsula de mezclado, para lavar y secar la copa, y el ranurador.
- Con un cuentagotas se agregó agua al material en la cápsula y se homogenizo con una espátula, y se repitió el procedimiento hasta completar cuatro determinaciones.

A continuación se muestran unas imágenes del procedimiento de la prueba.

Figura 10. Procedimiento para determinar el límite líquido del residuo.

Figura 9. Procedimiento para determinar el límite líquido de la arcilla.

Figura 11. Preparación de mezcla de arcilla con residuo.

Figura 12. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 10%.

Figura 13. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 15%.

Figura 14. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 30%.

Figura 15. Procedimiento para determinar el LL de la mezcla de arcilla con residuo 50%.

Para determinar el límite plástico ω_p, se siguió el siguiente procedimiento:

- Del material preparado se tomó una porción para formar una esfera de aproximadamente 12 mm de diámetro, se moldeo con los dedos para que perdiera agua y se manipulara sobre la palma de la mano y formar un cilindro.

- El cilindro se giró con los dedos y sobre la palma de la mano para reducir su diámetro hasta aproximadamente 3 mm en toda su longitud, hasta que mostro grietas.
- Se determinó el contenido de agua de acuerdo con el manual M-MMP-1-04/03 [33]; la prueba se efectuó por duplicado, obteniendo para cada uno el contenido de agua.

Figura 16. Procedimiento para determinar el límite plástico del residuo.

Para calcular el límite plástico e índice plástico se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Ecuación 7. Límite plástico.

$$\omega_p = \frac{\Sigma\omega_i}{2}; donde:$$

ω_p: límite plástico de la muestra en %.
ω_i: contenido de agua para cada una de las tres determinaciones en %.

Ecuación 8. Índice plástico.

$$I_p = \omega_L - \omega_p; donde:$$

I_P: índice plástico del material en %.
ω_L: límite líquido del material en %.
ω_p: límite plástico del material en %.

DENSIDAD DE SÓLIDOS, M-MMP-1-05/03 [36]:

Es la fase sólida del material, S_s, es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica de la fase sólida del material a la temperatura del lugar, y la masa volumétrica del agua destilada a 4˚ C. Del material de residuo se tomaron aproximadamente 5 kg de material según el manual M-MMP-1-03/03 [32], secado, disgregado y cuarteos de muestras, para separar el material que pasa la malla N˚ 4.

Previo a la prueba se calibraron los matraces de aforo A e I realizando lo siguiente:

- Se lavó el matraz para eliminar la grasa adherida en su interior y exterior.
- Se enjuago el matraz con agua destilada y se escurrió, se bañó posteriormente su pared interior con alcohol para eliminar los residuos de agua.
- Se determinó la masa del matraz seco y limpio, y se registró como W_m en gramos.
- Se agregó agua destilada a temperatura ambiente, llenándolo hasta aproximadamente 0.5 cm debajo de la marca de aforo y se dejó reposar por unos minutos.
- Se verificó la temperatura del agua dentro del matraz fuera uniforme, para lo que se tomó lecturas con el termómetro a diferentes profundidades, si las diferencias entre lecturas fue menor a 0.2˚ C, solo se agitaba suavemente con el termómetro, pero si la diferencia fue mayor a 0.2˚ C, se tapó el matraz y se volteó lentamente evitando la formación de burbujas, para medir la temperatura en el centro del matraz y registrando la temperatura como t_0, en ˚ C.
- Se utilizó una pipeta para agregar agua destilada hasta que la parte inferior del menisco del líquido coincida con la marca del aforo.
- Por ultimo sin tocar dicho menisco se secó el interior del cuello del matraz con un lienzo absorbente enrollado y se determinó la masa del matraz lleno con agua, registrándola como P_0, en gramos.
- Se siguió las indicaciones descritas anteriormente para efectuar dos determinaciones de la masa P del matraz lleno de agua a las temperaturas de 5 y 10˚ C por debajo de la temperatura ambiente y ocho determinaciones hasta llegar a una temperatura de alrededor de 85˚ C; registrando las masas y temperaturas. Como paso final se graficó la curva de calibración para el matraz, marcando las temperaturas en las abscisas y las masas en las ordenadas, trazando una curva suave y continua, anexo 2.

En seguida se muestran las imágenes del procedimiento para calibrar los matraces de aforo.

Figura 17. Procedimiento para calibrar matraces de aforo.

Para determinar la densidad de sólidos del residuo, de la fracción que paso la malla N° 4, se separó por cuarteos una porción entre 150 gramos. Se secó el material en el horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se saturo el material con agua limpia por 24 horas posterior a esto se decantó el agua excedente, con un embudo se introdujo el material en el matraz calibrado y se llenó el mismo con agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.

Se empleó un dispositivo de succión, para aplicar al matraz un vacío durante 15 minutos, agitando cuidadosamente la suspensión sobre una estufa de gas. Pasado el tiempo se dejó enfriar el matraz a temperatura ambiente y se adiciono el volumen de agua destilada para alcanzar el cuello del matraz y se aplicó vacío durante mínimo 30 minutos de la misma forma anterior. Terminado el tiempo se adiciono el agua faltante para llegar a la marca de aforo.

Hecho lo anterior se tapó y se invirtió el matraz varias veces para uniformizar la temperatura de la suspensión y se tomó la lectura de temperatura en el centro del matraz y se registró. Posteriormente se secó cuidadosamente el cuello del matraz y la superficie exterior del mismo, usando papel absorbente y se obtuvo la masa del matraz con el material y el agua, registrándola como W_{mws}. Finalmente con la curva de calibración del matraz, como la mostrada en el anexo 2, se obtuvo la masa del matraz con agua, en gramos.

Se calculó la densidad relativa de sólidos con la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Densidad de sólidos.

$$S_s = \frac{W_s}{(W_{mw} + W_s - W_{mws})};\ donde:$$

S_s: densidad relativa de sólidos del material, adimensional.
W_s: masa del material seco en g.
W_{mw}: masa del matraz con agua.
W_{mws}: masa del matraz con agua y material.

En seguida se muestran imágenes del procedimiento para determinar la densidad de sólidos.

Figura 18. Procedimiento para determinar la densidad de sólidos del residuo.

Figura 19. Procedimiento para determinar la densidad de sólidos de la arcilla.

PESO VOLUMÉTRICO NATURAL γ_m Y EL PESO VOLUMÉTRICO SECO γ_d EN EL LABORATORIO [37]:

El peso volumétrico natural de un suelo se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Peso volumétrico húmedo.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}; donde:$$

γ_m: peso volumétrico húmedo en g/cm^3.
W_m: peso de la muestra de suelo en g.
V_m: volumen de la muestra de suelo en cm^3.

El peso volumétrico seco de una muestra de suelo se determina con la siguiente expresión:

Ecuación 11. Peso volumétrico seco.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m} = \frac{\gamma_m}{1+\omega}; donde:$$

γ_d: peso volumétrico seco en g/cm^3.
W_s: peso de la muestra seca en g.
ω: contenido de agua, en decimal.

El procedimiento que se llevó a cabo fue:

- Se labraron tres muestras cúbicas inalteradas de suelo que tengan aproximadamente 3 cm por lado y se pesaron, registrándolo como W_m en gramos.
- Se amarraron las muestras con hilo para sumergirlas en parafina derretida, y posteriormente se pesó con la parafina endurecida, registrándolo como W_{mp} en gramos.
- Se pesó la muestra sumergida en agua, registrándolo como W_{mps} en gramos.

Figura 20. Procedimiento para determinar el peso volumétrico de la arcilla.

El peso volumétrico húmedo, se calculó el volumen de la muestra del suelo V_m, ya que conocemos el peso de la muestra W_m. para esto se utilizó el principio de Arquímedes, donde se sumergió la muestra de suelo en agua y se determinó el peso de la muestra sumergida W_{mps} y a este se restó el peso de la muestra con parafina W_{mp} y obtendremos el empuje que nos provoca el volumen de agua desplazado, mediante las siguientes ecuaciones.

Ecuación 12. Volumen de muestra con parafina.

$$V_{mp} = \frac{W_{mp} - W_{mps}}{\gamma_0}; donde:$$

V_{mp}: volumen de muestra con parafina en cm^3.
W_{mp}: peso de la muestra con parafina en g.
W_{mps}: peso de la muestra con parafina sumergida en g.
γ_0: densidad del agua.

Ecuación 13. Volumen de la muestra.

$$V_m = V_{mp} - V_p; donde:$$

V_m: volumen de la muestra en cm^3.
V_{mp}: volumen de la muestra con parafina en cm^3.
V_p: volumen de la parafina en cm^3.

Ecuación 14. Volumen de la parafina.

$$V_p = \frac{W_p}{S_p \gamma_0}; donde:$$

V_p: volumen de la parafina en cm^3.
W_p: peso de la parafina en g.
S_p: densidad de la parafina = 0.97

Para el peso volumétrico seco, se determinó el contenido de agua de una muestra del mismo material con que se labraron los cubos.

PRUEBA DE pH:

Se realizó la prueba para determinar el pH, mediante el uso de unas tiras reactivas, que consiste en poner en contacto la tira con la superficie del material húmedo para que reaccione y comparar la tonalidad de colores con las que vienen indicadas en el recipiente y las tonalidades que más se asemejen es el número de pH del material. En seguida se muestran unas imágenes del uso de las tiras reactivas.

Figura 21. pH del residuo.

Figura 22. pH de la arcilla.

Figura 23. pH mezcla arcilla con residuo 10%.

Figura 24. pH mezcla arcilla con residuo 15%.

Figura 25. pH mezcla arcilla con residuo 30%.

Figura 26. pH mezcla arcilla con residuo 50%.

PRUEBA DE COMPACTACIÓN AASHTO, M-MMP-1-09/06 [38]:

Para determinar la curva de compactación de la arcilla y las mezclas de arcilla con residuo, e inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo. La prueba consiste en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante aplicación de una misma energía de compactación y graficando los puntos de cada determinación, trazar la curva de compactación del material.

De acuerdo con el manual M-MMP-1-03/03 [32], Secado, Disgregado y Cuarteo de muestras, se separó una porción de aproximadamente 7.5 kg. Se cribo a través de la malla Nº 4 de forma manual, colocando la fracción que pasa en una charola y se homogenizo el material.

El procedimiento para este ensayo es el siguiente:

- La porción preparada se agregó la cantidad de agua para homogenizar.
- En algunos casos se formaron grumos, teniendo que revolver el material hasta disgregarlo totalmente. Se mezcló hasta homogenizarlo y se dividió en tres fracciones aproximadamente iguales.
- Se colocó una de las fracciones de material en el molde de prueba con su respectiva extensión, apoyándolo sobre una superficie plana y firme para compactar el material con el pisón de 2.5 kg, aplicando 56 golpes repartiéndolos uniformemente en la superficie de la capa a una altura de caída libre de 30.5 cm, se repitió el procedimiento para las capas subsecuentes.
- Terminada la compactación de todas las capas, se retiró la extensión del molde y se verifico que el material no sobresaliera del cilindro en un espesor promedio de 1.5 cm como máximo, y se enraso con una regla metálica.
- Se determinó la masa del cilindro con el material y se registró como W_i en gramos.
- Se sacó el espécimen del cilindro se cortó longitudinalmente y de su parte central se obtuvo una porción para determinar su contenido de agua como se indica en el manual M-MMP-1-04/03 [33].
- Con la misma porción de prueba se repitió incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que dicho contenido fue tal que el último espécimen elaborado presente una disminución en su masa con respecto al anterior.

La masa volumétrica del material húmeda y seca de cada espécimen se calculó mediante:

Ecuación 15. Masa volumétrica húmeda.

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} x1000\ ;\ donde:$$

$\gamma_{m:}$ masa volumétrica del material húmedo en kg/m^3.

W_i: masa del cilindro con el material húmedo compactado en g.
W_t: masa del cilindro en g.
V: volumen del cilindro en cm^3.

Ecuación 16. Masa volumétrica seca.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100 + \omega} x100; donde:$$

γ_d: masa volumétrica seca del espécimen en kg/m^3.

γ_m: masa volumétrica del material húmedo en kg/m^3.

ω: contenido de agua del espécimen en %.

Se dibujaron los puntos de cada espécimen, uniéndolos con una línea continua de forma aproximadamente parabólica denominada curva de compactación, la que determina la variación de la masa volumétrica seca del material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación. Se determinaron y reportaron la masa volumétrica máxima seca del material, γ_{dmax}, en kg/m^3 y su contenido de agua óptimo, ω_o, en %, que se obtienen en forma gráfica de la curva de compactación. Siendo la ordenada en el punto más alto de dicha curva la masa volumétrica seca máxima y la abscisa de ese punto el contenido de agua óptimo, anexo 13, 18, 23 y 28. A continuación se muestran unas imágenes del proceso de compactación.

Figura 27. Compactación de la arcilla.

Figura 28. Compactación mezcla arcilla con residuo 10%.

Figura 29. Compactación mezcla arcilla con residuo 15%.

Figura 30. Compactación mezcla arcilla residuo 30%.

PRUEBA DE VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA CBR Y EXPANSIÓN, M-MMP-1-11/16 [39]:

Es para determinar la expansión originada por saturación del material y el Valor Soporte de California en especímenes compactados dinámicamente. La cual consiste en compactar dinámicamente tres especímenes del material con diferentes energías de compactación y el contenido de agua óptimo estimado para la masa volumétrica seca máxima del material; someter a cada espécimen a un proceso de saturación para obtener su cambio volumétrico y ya saturado, introducir en él un pistón de penetración de acero, para cuantificar las cargas necesarias para lograr magnitudes de penetración específicas. La expansión de cada espécimen es la relación en porcentaje del incremento de su altura debido a la saturación, entre su altura original y la menor relación en porcentaje de las cargas aplicadas para producir penetraciones de 2.54 mm y 5.08 mm, entre las cargas de 13.34 kN (1,360 kg) y 20.01 kN (2,040 kg) respectivamente, en su correspondiente Valor Soporte de California.

Preparación de la muestra:

- Determinada la masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo, con el procedimiento AASHTO estándar como lo indica el manual M-MMP-1-09/06 [38].
- De acuerdo con el manual M-MMP-1-03/03 [32], secado, disgregado y cuarteo de muestras; de la muestra seca se obtiene por cuarteos una parte representativa del material de aproximadamente 21 kg.
- Se determinó su masa y se incorporó uniformemente agua necesaria para un contenido de agua igual al óptimo del material, el volumen de agua se determinó

mediante la ecuación 17. Incorporada el agua se mezcló hasta homogenizarlo, revolviéndolo hasta disgregar los grumos y se separó por cuarteos, en charolas tres porciones de material del mismo tamaño.

Ecuación 17. Volumen de agua.

$$V_\omega = \frac{W_s(\omega_o + 0.25)}{100};\ donde:$$

V_ω: volumen de agua por agregar en cm^3.
W_s: masa del material seco en g.
ω_o: contenido de agua óptimo del material en %.

El procedimiento prueba compactación que se siguió fue el siguiente:

- Se compactaron tres especímenes con diferentes energías de compactación, para el primero 56 golpes por capa, para el segundo 25 y para el último 10 golpes.
- Se ensamblo un molde con su collarín de extensión a la placa de base sin perforaciones, por las abrazaderas y se lubrico con aceite las paredes interiores del molde y collarín; se insertó el disco espaciador dentro del molde, se colocó un papel filtro sobre el disco para impedir que el material se adhiera y se apoya sobre la base.
- Se colocó en el molde apoyado sobre la base, una de las fracciones de la porción de material y se compacto con el pisón, aplicando uniformemente repartidos en la superficie de la capa de material el número de golpes que se mencionaron al principio, y se repite el procedimiento para las dos fracciones subsecuentes.
- Terminada la compactación de las capas, se retiró el collarín del molde y se verifico que el material no sobresaliera del molde en un espesor promedio de 1.5 cm como máximo, se enraso el espécimen con una regla metálica, depositando en una charola el material excedente, para determinar su contenido de agua, M-MMP-1-04/03 [33].
- Se rellenó con material fino las oquedades que resultaron por el enrasado del espécimen, se desprendió de la placa de base el molde con el espécimen, se retiró el disco espaciador y se determinó la masa del molde con el espécimen, se registró como W_{mj+ei} en gramos.
- Se repitió el procedimiento para las otras dos porciones de material.

En seguida se presentan algunas imágenes del procedimiento de compactación:

Figura 31. Compactación de la arcilla.

Figura 32. Compactación mezcla arcilla residuo 10%.

Figura 33. Compactación mezcla arcilla residuo 15%.

Figura 34. Compactación mezcla arcilla residuo 30%.

El procedimiento para la expansión que se siguió es:

- Ya obtenida la masa del molde se colocó un papel filtro sobre una placa de base perforada; se invirtió el molde, y se colocó papel filtro en contacto con el espécimen y se ensamblo el molde a la placa de base perforada por medio de las abrazaderas.
- Se colocó una placa de expansión con su vástago ajustable y la placa de carga de 44.5 ± 0.2 N (4.54 ± 0.02 kg).

- Se introdujo el molde en unas cubetas con agua, y se tomaron cuatro lecturas iniciales con un vernier y haciendo un promedio, se registró como h_o en mm, se dejó saturar durante 96 horas, manteniendo el nivel de agua del tanque aproximadamente a 25 mm sobre la parte superior del molde.
- Al terminar la saturación se efectuó la lectura final, registrándolo como h_f, en mm.
- Se retiró del recipiente de saturación el molde y se eliminó el agua de la parte superior y se dejó drenar por 15 minutos. Después se removieron las placas de carga y la perforada, las hojas de papel filtro y se determinó la masa del molde con el espécimen, se registró como W_{mj+ef} en gramos.
- Se repitió el procedimiento para las otras dos especímenes compactados.

Figura 35. Expansión de la arcilla.

Figura 36. Expansión mezcla arcilla residuo 10%.

Figura 37. Expansión mezcla arcilla residuo 15%.

Figura 38. Expansión mezcla arcilla residuo 30%.

El procedimiento para realizar la penetración que se siguió es:

- Obtenida la masa del molde con el espécimen saturado, se ensamblo el molde a la placa de base sin perforaciones por medio de las abrazaderas, en la misma posición que tenía en la saturación, se colocó sobre el plato de apoyo del equipo de carga, se puso sobre el espécimen una placa de carga anular de 44.5 ± 0.2 N (4.54 ± 0.02 kg); se insertó el pistón de penetración en su orificio central, se aplicó una carga inicial de 43 N (4.38 kg) y se colocó la placa con ranuras para reproducir la sobrecarga utilizada durante la saturación.
- Con la carga se ajustó el extensómetro para medir la penetración, apoyando su vástago sobre la pared del molde y se ponen en ceros.
- Se aplicó la carga de forma que el pistón de penetración se desplazó con una velocidad uniforme de 1.27 mm/min, leyendo y registrando las cargas aplicadas para obtener cada una de las penetraciones que se presentan a continuación.

Tabla 1. Relación tiempo - penetración.

Lecturas	Tiempos min : s	Penetración mm
Primera	0:30	0.64
Segunda	1:00	1.27
Tercera	1:30	1.91
Cuarta	2:00	2.54
Quinta	3:00	3.81
Sexta	4:00	5.08
Séptima	6:00	7.62
Octava	8:00	10.16
Novena	10:00	12.70

- Concluida la penetración del espécimen se sacó del molde, se cortó longitudinalmente y de su parte central se obtuvo una porción para determinar su contenido de agua en estado saturado ω_{sat} de acuerdo al manual M-MMP-1-04/03 [33].
- Se repitió el procedimiento para los otros dos especímenes saturados.

Figura 39. Penetración de la arcilla.

Figura 40. Penetración mezcla arcilla residuo 10%.

Figura 41. Penetración mezcla arcilla residuo 15%.

Figura 42. Penetración mezcla arcilla residuo 30%.

Para el cálculo de compactación, se determinó la masa volumétrica seca γ_d, ecuación 18, y el contenido de agua de compactación ω_c de cada espécimen compactado, ecuación 19, con el contenido de agua óptimo ω_o del material, como sigue:

Ecuación 18. Masa volumétrica seca del espécimen compactado en el molde.

$$\gamma_d = \frac{1000\left(W_{m+ef} - W_m\right)}{0.25\pi\left(\frac{D_m}{10}\right)\left(\frac{H_m - H_{de}}{10}\right)\left(1 + \frac{\omega_{sat}}{100}\right)}\ ; donde:$$

γ_d: masa volumétrica seca del espécimen compactado en el molde en kg/m^3.
W_{m+ef}: masa del molde más espécimen saturado en g.
W_m: masa del molde en g.
D_m: diámetro interior del molde en mm.
H_m: altura del molde en mm.
H_{de}: altura del disco espaciador en mm.
ω_{sat}: contenido de agua del espécimen en estado saturado compactado en el molde.

Ecuación 19. Contenido de agua del espécimen compactado en el molde.

$$\omega_c = \omega_{sat} - \frac{(100 + \omega_{sat})\left(W_{m+ef} - W_{m+ei}\right)}{W_{m+ef} - W_m}\ ; donde:$$

ω_c: contenido de agua del espécimen compactado en el molde en %.
ω_{sat}: contenido de agua del espécimen saturado compactado en el molde en %.
W_{m+ef}: masa del molde más espécimen saturado en g.
W_{m+ei}: masa del molde más espécimen compactado en g.
W_m: masa del molde en g.

Para el cálculo de expansión, se determinó y reporto la expansión de cada espécimen compactado, mediante la ecuación 20. Donde la expansión del material compactado al grado de compactación especificado y con el contenido de agua óptimo del material es el promedio de las expansiones de los tres especímenes saturados.

Ecuación 20. Expansión del espécimen.

$$Exp = \frac{100\Delta h}{H_m - H_{de}}; donde:$$

Exp: expansión del espécimen compactado en el molde en %.
Δh: diferencia entre las lecturas inicial (h_o) y final (h_f) con el vernier en el molde, en mm.
H_m: altura del molde en mm.
H_{de}: altura del disco espaciador en mm.

Para el cálculo del Valor Soporte de California (CBR), a cada espécimen penetrado se representó gráficamente las cargas determinadas, como se indica a continuación:

- En la gráfica que se muestran en los anexos 14, 19, 24 y 29, se marcaron los puntos correspondientes a cada una de las determinaciones a las que se refieren en la tabla 1 mostrada anteriormente, uniéndolos con una línea continua.
- Se registraron las cargas $C_{2.54}$ y $C_{5.08}$, correspondientes a las penetraciones de 2.54 y 5.08 mm, para cada uno de los tres especímenes compactados. Estos valores corresponden a las cargas con las que se determina el Valor Soporte de California del espécimen.
- Se calcularon los Valores Soporte de California a 2.54 y 5.08 mm de penetración de los especímenes compactados, mediante:

Ecuación 21. CBR para una penetración de 2.54 mm.

$$CBR_{2.54} = \frac{100C_{2.54}}{13.34};\ \ donde:$$

$CBR_{2.54}$: Valor Soporte de California determinado para una penetración de 2.54 mm.
$C_{2.54}$: carga aplicada o corregida en kN, para una penetración de 2.54 mm.

Ecuación 22. CBR para una penetración de 5.08 mm.

$$CBR_{5.08} = \frac{100C_{5.08}}{20.01};\ donde:$$

$CBR_{5.08}$: Valor Soporte de California determinado para una penetración de 5.08 mm.
$C_{5.08}$: carga aplicada o corregida en kN, para una penetración de 5.08 mm.

- Se seleccionó como el Valor de Soporte de California (CBR) de cada espécimen compactado, al valor que resulte menor entre los $CBR_{2.54}$ y $CBR_{5.08}$ calculados.
- En una gráfica como la que se muestra en los anexos 14, 19, 24 y 29 se marcaron los puntos correspondientes a cada espécimen compactado, los que se unen con una líneas continua sin cambios bruscos de pendiente, para obtener la curva "$\gamma_d - CBR$" se trazó una vertical a partir de la masa volumétrica que corresponde al grado de compactación G_C especificado en la Norma N-CMT-1-01/16 [1], materiales para terraplén, respecto a la masa volumétrica seca máxima γ_{dmax} determinada mediante el procedimiento AASHTO estándar como se indica en el manual M-MMP-1-09/06 [38], compactación AASHTO, del punto donde dicha vertical corta la curva $\gamma_d - CBR$, se traza una horizontal que determina el Valor Soporte de california *CBR* del material compactado al grado de compactación especificado, con un contenido de agua igual al óptimo del material.

5) DISEÑAR LA MEZCLA

Se plantearon distintas proporciones de mezclas de arcilla con residuo, donde el porcentaje de residuo fue con respecto al peso de la arcilla, mostrándose en la siguiente tabla.

Tabla 2. Porcentajes de residuo para las mezclas.

Arcilla	**7.5 kg**	**7.5 kg**	**7.5 kg**	**7.5 kg**
Residuo %, (g)	10% (750 g)	15% (1125 g)	30% (2250 g)	50% (3750 g)

3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de las distintas pruebas realizadas a los materiales en estudio, que son el residuo de concreto fresco, el material cohesivo y las mezclas de arcilla y residuo de concreto fresco para ser comparadas con la norma N-CMT-1-01/16 [1], de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes. En seguida se presentan los resultados para cada uno de los materiales.

1) RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

Contenido de agua de 29.61%, ver anexo 3.

Granulometría, la muestra que se tomó presento unos agregados de grava y algunos grumos de muy fácil disgregación, el resultado fue de una arena con finos con algunos fragmentos de gravas, ver anexo 4.

Límites de Consistencia fueron: Límite Líquido LL, no se pudo realizar al presentar características propias de una mezcla; que al estar recibiendo los golpes en la copa Casagrande, afloraba el agua impidiendo llegar a más de siete golpes como se aprecia en la figura 43, en la izquierda con poca agua al pasar el ranurador desprendió material, pero al imprimirle los golpes el agua brotaba a la superficie del mismo provocando que se cerrara la abertura con un número de alrededor de diez golpes.

Figura 43. Prueba límite líquido para el residuo.

Límite plástico LP, el material no permitió formar los cilindros, por la cantidad de arena que presenta.

Figura 44. Prueba límite plástico para el residuo.

Densidad de sólidos, se realizó la prueba en dos matraces como se explicó en el apartado de metodología los cuales se calibraron y resultando en las gráficas mostradas en el anexo 2, los resultados que arrojó la prueba fueron, para el matraz A una densidad de sólidos S_S de 2.51, y para el matraz I una densidad de sólidos S_S de 2.50; dando un promedio de S_S de 2.50.

La prueba de pH del residuo fue de 12, similar al pH del cemento portland [40].

En base a estos resultados se modificó las dosificaciones de mezcla que en un principio se habían planteado.

2) RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA

Contenido de agua del 23.41%, ver anexo 6.

Granulometría, la muestra que se tomó era un material cohesivo de color café oscuro, se obtuvo que el 93.30% del material es de granulometría menor a la malla N˚ 200 clasificada como finos, ver anexo 7.

Límites de Consistencia, LL de 91%, LP del 30.95 e IP de 60.05, con estos valores y la granulometría se graficó los datos, Límite Líquido e Índice Plástico en la carta de plasticidad ver anexos 8 y 9, el cual cae en el cuadrante IV por encima de la línea A y a la derecha del línea B, siendo clasificado como un CH, una arcilla de alta compresibilidad, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S, anexo 10.

Densidad de sólidos, se realizó la prueba en dos matraces como se explicó anteriormente en el apartado de metodología, los cuales se calibraron y resultando en las gráficas mostradas en el anexo 2, los resultados que arrojó la prueba fueron, para el matraz A una densidad de sólidos S_S de 2.64, y para el matraz I, una densidad de sólidos S_S de 2.66; dando un promedio de S_S de 2.65, anexo 11.

La prueba de pH de la arcilla fue de 6 según las tiras reactivas utilizadas.

El peso volumétrico seco obtenido para la arcilla fue de 1.84 g/cm^3, anexo 12.

La prueba de compactación AASHTO estándar se obtuvieron los valores, contenido de agua optimo ω de 31.6%, y una masa volumétrica seca máxima de 1,335 kg/m^3, anexo 13.

Se realizó la prueba de CBR y Expansión arrojándonos como resultados: un CBR de 1.48% para un grado de compactación del 90% como se especifica en la norma N-CMT-1-01/16 [1] del obtenido en la prueba de compactación AASHTO estándar de 1,335 kg/m^3, y una expansión promedio del 9.52%, anexo 14.

Con los resultados obtenidos del material cohesivo en lo que respecta al límite líquido, CBR y expansión no cumple con las características de un material para terraplén, por lo que se procedió a realizar las mezclas de arcilla con residuo en las proporciones indicadas anteriormente y los resultados de las mismas se muestran a continuación.

3) RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE ARCILLA CON RESIDUO DE CONCRETO FRESCO

Los resultados obtenidos a las diferentes dosificaciones de mezclas de arcilla con residuo de concreto fresco se presentan a continuación.

a) MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 10%

- Granulometría con un 90.61% de finos y 9.39 de arenas, anexo 15.
- Límite Líquido del 87%, como se puede apreciar en el anexo 16.
- pH de 9 para la prueba de Límite Líquido y para la granulométrica de 8.
- Se determinó la masa volumétrica seca máxima con su humedad óptima, dando un contenido de agua ω del 30% y una masa volumétrica seca máxima de γ_d=1,339 kg/m^3, anexo 18.
- CBR del 1.68% y una Expansión promedio de 7.16%, anexo 19.

b) MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 15%

- Granulometría con un 90.55% de finos y un 9.45 de arenas, anexo 20.
- Límite Líquido del 85%, anexo 21.
- El pH de 9 para la prueba del Límite Líquido y de 8 para la granulométrica.
- Prueba de compactación AASHTO estándar se obtuvo, un contenido de agua óptimo de ω =30% y una masa volumétrica seca máxima de γ_d=1,353 kg/m^3, anexo 23.
- CBR de 1.90% y una Expansión promedio de 5.97%, ver anexo 24.

c) MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 30%

- Granulometría con un 84.55 de finos y un 15.45 de arenas, anexo 25.
- Límite Líquido del 73.50%, anexo 26.

- El pH de 9 para la prueba del Límite Líquido y de 8 para la granulométrica.
- Prueba de compactación ASHTO estándar se obtuvo un contenido de agua de ω=30%, y una masa volumétrica seca máxima de γ_d=1,395 kg/m^3, anexo 28.
- CBR del 2.65% y una Expansión promedio de 4.82%, anexo 29.

d) MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 50%

- Límite Líquido del 66%, anexo 30.
- El pH de 11 para la prueba de Límite Líquido.

4) ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PARA LAS DISTINTAS MEZCLAS

pH

Tabla 3. pH de la arcilla y las mezclas.

Prueba	Arcilla	10%	15%	30%	50%
pH LL	6	9	9	9	11
pH Gran	6	8	8	8	No se realizó

El pH obtenido en las mezclas para realizar los Límites Líquidos fueron constantes hasta la proporción de 30% aumentando hasta el 11 en la mezcla del 50%, casi igualando al pH que resulto para el residuo siendo de 12, acercándose al valor promedio de 12-13 del concreto [40]. Para las pruebas granulométricas presenta un valor de 8 constantes hasta la última prueba realizada, pudiendo ser por la presencia de agregados en la mezcla.

Esto significando que la arcilla está reaccionando con el residuo al aumentar su pH, ya que el residuo al ser un material de desecho de concreto fresco y este al contener cemento que está compuesto principalmente de aluminatos de calcio y silicatos de calcio, y al ser hidratada la mezcla se producen reacciones químicas entre la sílice y la alúmina que se encuentran en la arcillar y los iones de calcio del cemento, formando productos cementosos como los hidratos de aluminato de calcio y el silicato de calcio hidratado. El producto cementoso resultante y el hidróxido de calcio son los componentes que estabilizan el suelo [41].

GRANULOMETRÍA

Tabla 4. Granulometría de la arcilla y las mezclas.

Granulometría	Arcilla Anexo 4	10% Anexo15	15% Anexo 20	30% Anexo 25	50%
Arenas (%)	6.70	9.39	9.45	15.45	No se realizó
Finos (%)	93.30	90.61	90.55	84.55	No se realizó

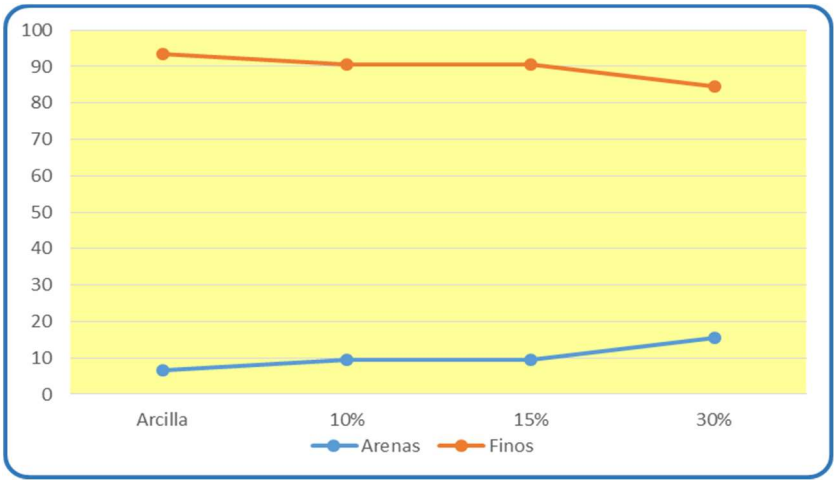


Figura 45. Granulometría de la arcilla y las mezclas.

Conforme aumenta la cantidad de residuo, crece el porcentaje de arenas dado que la mayor cantidad del residuo es del tamaño de arena, y al estar floculando el material produciendo una estructura cementante, en otras palabras, la unión de las partículas de la arcilla con la parte de finos del residuo, que se explicó en la prueba química de pH anteriormente descrita; mejorando la granulometría del material; tomando en cuenta que un material con la mayor cantidad de tamaños de partículas se acomodan y entrelazan mejor incrementando sus propiedades mecánicas.

LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 5. Límite líquido de la arcilla y las mezclas.

Límite Líquido	Arcilla	10% Anexo 16	15% Anexo 21	30% Anexo 26	50% Anexo 30
LL (%)	91	87	85	73.50	66

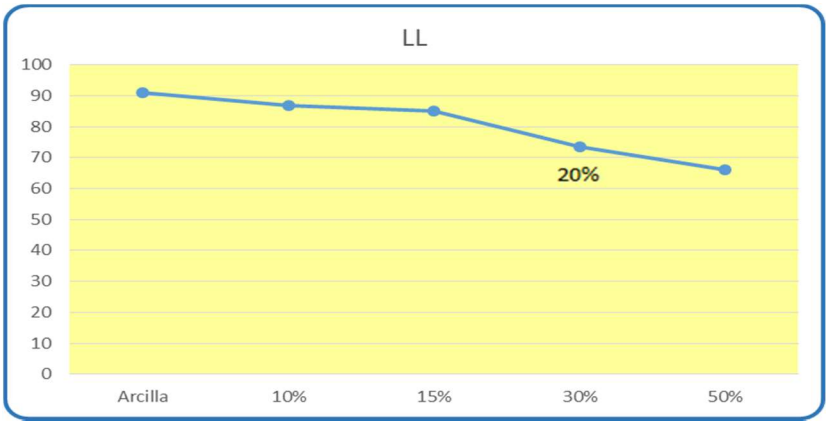


Figura 46. Límite líquido para la arcilla y las mezclas.

El Límite Líquido de la arcilla se redujo casi un 20% para la mezcla del 30% de residuo, y un 27.47% con la mezcla del 50% de residuo. Produciendo una estabilidad volumétrica del material ante cambios de humedad, ya que absorbe menos cantidad de agua.

COMPACTACIÓN

Tabla 6. Compactación AASHTO para la arcilla y las mezclas.

Compactación AASHTO	Arcilla Anexo 13	10% Anexo 18	15% Anexo 23	30% Anexo 28	50%
ω_o (%)	31.6	30	30	30	No se realizó
γ_d (kg/m^3)	1,335	1,339	1,353	1,395	No se realizó

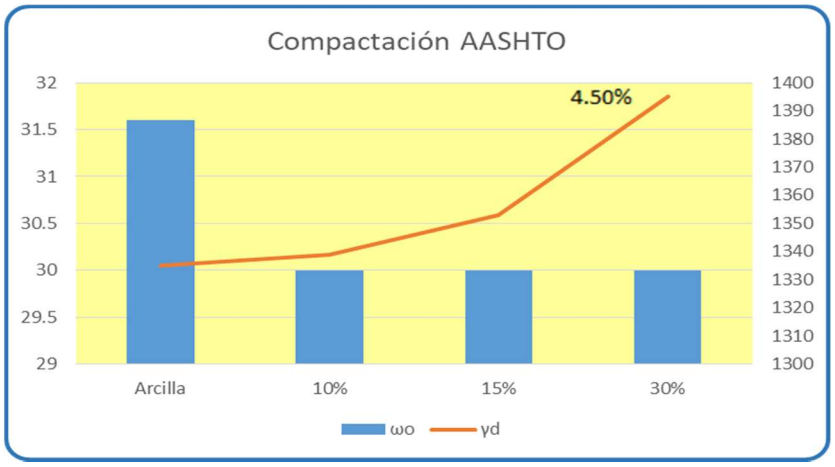


Figura 47. Compactación AASHTO para la arcilla y las mezclas.

El contenido de agua óptimo ω_o se mantuvo constante en un 30% para todas las pruebas de compactación de las distintas mezclas, y teniendo un aumento de 4.50% la masa volumétrica seca γ_d respecto al de la arcilla.

CBR Y EXPANSIÓN

Tabla 7. CBR y Expansión para la arcilla y las mezclas.

CBR y Expansión	Arcilla Anexo 14	10% Anexo 19	15% Anexo 24	30% Anexo 29	50%
CBR (%)	1.48	1.68	1.90	2.65	No se realizó
Exp (%)	9.52	7.16	5.97	4.82	No se realizó

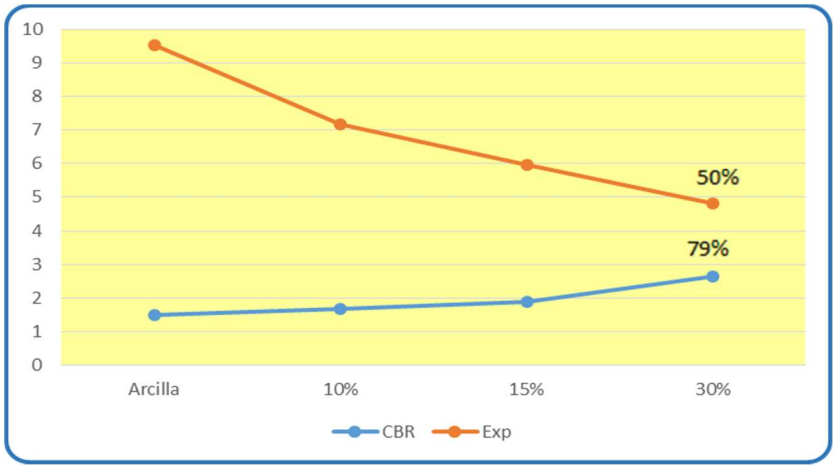


Figura 48. CBR y Expansión para la arcilla y las mezclas.

El valor Soporte de California CBR aumento hasta un 79%, y la expansión disminuyo hasta un 50% para la mezcla del 30% de residuo.

Se llegó a realizar el total de los ensayos solo hasta la mezcla del 30% ya que para la mezcla superior no es factible por la cantidad y disponibilidad de residuo que se necesitaría.

Se presenta la tabla de requisitos de calidad de material para terraplén, con el que se compararon los resultados de los ensayos de las mezclas.

Tabla 8. Requisitos de calidad de materiales para terraplén.

Características	Valor
Límite líquido; %, máximo	50
Valor Soporte de california (CBR)[1]; %, mínimo	5
Expansión; %, máxima	5
Grado de compactación [2]; %	90 ± 2

[1] En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta tabla, con un contenido de agua igual al óptimo de compactación.

[2] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba.

El material que se mezcló con el residuo tuvo muchas mejoras en sus características físicas y mecánicas, en este sentido comparándolas con las características de un material para

terraplén de la norma N-CMT-1-01/16 [1], mostrados arriba, solo la expansión fue la que cumplió. Haciéndonos la siguiente pregunta: ¿qué fue lo que paso?

- La granulometría del residuo en su mayoría es del tamaño de las arenas, prueba LC.
- La presencia de agregado grueso para las pruebas de compactación, CBR y expansión, restan cantidad de material más fino.

Que en este sentido no se quiso modificar el residuo por algún proceso de cribado, ya que como primer análisis con este material es realizar los ensayos tal y como se encuentra en la planta de premezclado.

- El material cohesivo con el que se trabajo es muy inestable y difícil de trabajar.

Respecto a este punto se pretendió desde un inicio de la concepción del proyecto el buscar un material que sus propiedades físicas y mecánicas fueran las más desfavorables y por lo tanto no cumplieran en lo más mínimo las características de calidad como material de terraplén.

4. ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN

4.1. PLAN DE ACCIÓN

Como es el primer estudio que se realiza con este material como mejorador de suelos, el primer paso es la difusión, tanto de la existencia del residuo como de los resultados obtenidos y por supuesto proponer el residuo de concreto fresco como mejorador de suelos en los proyectos para desarrollar vivienda en serie, en el cual el material que se encuentre en el sitio no cumpla con los requisitos de calidad para emplearse en el movimiento de tierras.

4.2. ESTRATEGIAS USADAS PARA PRESENTAR Y PERSUADIR A LOS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO

Para la implementación del proyecto de intervención se presentaran los resultados y mejoras que se tuvieron en el material mezclado y en base a estos proponer que se considere en uso del residuo como mejorador del suelo y una vez aceptado hacer las pruebas que se realizaron en este documento para encontrar la proporción óptima, en lo que se refiere a cantidad de residuo y agua mínima para mejorar el suelo; así como la ventaja que presenta el residuo sobre otros agentes mejoradores de suelo como lo son la cal y el cemento al no presentar costo por su adquisición , solamente los ocasionados por el acarreo del material de la planta de premezclado a la obra.

Otro de los puntos a destacar es sobre el documento que se necesita generar para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, que es la Manifestación de Impacto

Ambiental conocida como MIA, que en la matriz de Leopold se estarán obteniendo puntos a favor, por citar algunos ejemplos, al no retirar el material cortado, disminución en la generación de polvos y ruidos por el transporte de material al no retirar el material del lugar y suministrar material de banco, así como la utilización de un material que es de desecho del concreto fresco, en el apartado de justificación se mencionan más ejemplos.

Al utilizar el residuo como mejorador de suelos se tendrá la posibilidad de compensar los cortes contra los terraplenes y con esto optimizar el movimiento de tierras, para ver este punto en seguida se muestra un análisis de precio unitario para un metro cúbico como comparación si se emplea cemento, cal, residuo o suministro de material. Los números presentados para el cemento y la cal solo contemplan la adquisición del producto, ya que sería el mismo procedimiento de homogenización con cemento, cal, material de banco y residuo, siendo este último sin costo, también se contempló el trabajo de pulverización del material con maquinaria con un rendimiento de 50 m^3/h a costo directo, anexo 28; para el caso del suministro es la adquisición por metro cúbico y el retiro de material producto de corte que no se utilizaría en la obra, donde el precio del acarreo está fijado por la alianza de transportistas y el suministro incluye el material puesto en obra.

Tabla 9. Costo de emplear el 3% de cemento por metro cúbico.

A PVS (kg)	B= A x 3% 3%	C Precio (kg)	D = B x C	E Pulverización	F = D + E Importe
1,395	41.85	$4.26	$178.28	$19.24	$197.52

Tabla 10. Costo de emplear el 3% de cal por metro cúbico.

A PVS (kg)	B= A x 3% 3%	C Precio (kg)	D = B x C	E Pulverización	F = D + E Importe
1,395	41.85	$2.92	$122.20	$19.24	$141.44

Tabla 11. Costo por el acarreo del residuo por metro cúbico.

A Acarreo 1 km	B km-Sub	C=B x 13 13 km	D = A + C	E Pulverización	F = D + E Importe
$10.80	$5.40	$70.20	$81.00	$19.24	$100.24

Tabla 12. Costo del suministro y retiro de material por metro cúbico.

Suministro	Acarreo 3 km	Importe
$80.00	$21.60	$101.60

Se realizó una comparativa y en este sentido el ahorro que se tendría al implementar el residuo como mejorador de suelos sería de $97.28 cemento vs residuo, de $41.20 cal vs residuo y comparando el suministro con el acarreo del residuo se tendría una diferencia de $1.36; cabe aclarar que el kilometraje que se propuso para el acarreo del residuo fue uno que diera lo más próximo al costo del suministro del material de banco, además de que con esta distancia está prácticamente cubierta la ciudad.

5. ADMINSTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Las actividades involucradas para poder llevar a cabo este proyecto son, en primer lugar realizar los ensayos de laboratorio del residuo, del material a mejorar y las mezclas de materiales para poder determinar la proporción más óptima en cuanto a cantidad de residuo y agua a emplear en la mezcla; ya una vez efectuado las pruebas de laboratorio, se procede a ir por el residuo y acarrearlo a la obra, y dentro de los trabajos de campo se incluyó la actividad de pulverización del material.

A continuación se presenta una tabla donde se muestran las actividades mencionadas, así como la duración que se genera al utilizar el residuo de concreto fresco. Para su elaboración se consideraron 150 m^3 de residuo que generan en la planta de premezclado, una adición del 10% de residuo al material a mejorar para una capa de 20 cm ya compactado y un ancho de cuatro metros, para un volumen de 1,500 m^3 de material a colocar.

Tabla 13. Cronograma de actividades.

Actividad	Duración
Estudio geotécnico para mejorar el material en estudio	6 semanas
Acarreo del residuo 150 m^3 a una distancia de 14 km	1 día
Pulverización del material	5 días

Para la implementación se presentaron solamente estas actividades ya que para realizar los trabajos de terracerías son las mismas que para cualquier movimiento de tierras que comúnmente se presentan.

5.2. RECURSOS

Los recursos necesarios para la implementación del proyecto de intervención son: el documento del estudio geotécnico del mejoramiento del material, por cotización, siendo las mismas pruebas que en este documento se presentaron; el acarreo del residuo a la obra y la pulverización del material a mejorar para un costo presentado anteriormente y un volumen de 1,500 m^3. Presentándose el costo de cada una de estas actividades en la siguiente tabla.

Tabla 14. Recursos

Actividad	Importe
Estudio geotécnico para mejorar el material en estudio	$10,000.00
Acarreo del residuo 150 m^3 a una distancia de 14 km	$12,150.00
Pulverización del material	$28,860.00

Dando un importe total de $51,010.00 para la implementación de este proyecto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y el análisis del presente estudio, se presentan algunas mejoras en las propiedades de la arcilla, tomando como datos de comparación la mezcla del 30%, siendo los siguientes:

- Se mejoró su granulometría.
- Límite Líquido lo redujo hasta casi un 20%.
- La masa volumétrica seca máxima aumento 4.5%
- CBR aumento un 79%.
- Expansión disminuyo hasta un 50%.

Llegando a la conclusión de que para un suelo con un Límite Líquido inferior al 70% se estaría cumpliendo con el límite líquido máximo especificado en la norma N-CMT-1-01/16 [1], aunque se tendrían que realizar las pruebas para el Valor Soporte de California para encontrar la proporción óptima, en cuanto a la cantidad de residuo como de agua añadida a la mezcla.

En el transcurso del desarrollo del proyecto de intervención se observaron algunas ventajas y desventajas de la implementación de este residuo como mejorador de suelo, mismas que se enlistan a continuación.

Ventajas:

- El residuo actualmente no tiene costo por su adquisición.
- Mitigar el abrir bancos de extracción y vertido de material.
- Aminorar las emisiones de Gases Efecto Invernadero por el transporte del residuo, material cortado y del material de suministro, y por la maquinaria empleada en los bancos de material.
- Disminuir las molestias por el tráfico de camiones: contaminación acústica, generación de polvos y el daño de los pavimentos existentes.
- Reducir posibles contratiempos: disponibilidad de camiones de volteo, material y retraso por el clima.

Desventajas:

- Una generación de alrededor de 150 m^3 de residuo mensualmente.
- La falta de estudios del residuo como mejorador de suelos.
- Realizar pruebas al residuo y las mezclas por posibles ajustes de la dosificación, para cada lote.
- La disponibilidad de bancos de extracción y vertido de material.

- La dificultad de trabajar con mezclas.

Dentro del presente análisis, se debe destacar la importancia de utilizar materiales de desecho en los procesos constructivos, como lo es residuo de la producción de concreto premezclado, al igual que es el primer análisis realizado hasta el momento en la región y dejar las bases para siguientes estudios y aplicaciones del residuo como mejorador de suelos.

6.2. RECOMENDACIONES

Como recomendaciones que surgieron durante la ejecución de los trabajos de laboratorio así como de la redacción del presente documento para proseguir con los estudios y ensayos de laboratorio como siguientes líneas de investigación, se enlistan a continuación:

- Analizar el tema del tamaño de partícula máxima de arcilla que se podría estabilizar en laboratorio y compararla con las que se puede conseguir en campo con la maquinaria con la que se cuenta en nuestra región.
- Realizar las pruebas pasando el residuo de concreto fresco por las mallas de 3" a la malla Nº 4 para quitar los agregados de gravas que presenta.
- Hacer ensayos en otro material que no cumpla las características para usarse en terraplén, pudiendo ser un CL, MH o ML.
- Analizar la mezcla del residuo a una subrasante de pavimento, ya que una subrasante de mayor calidad permitirá ahorros en los espesores de los pavimentos supra yacentes, sin prejuicio de la función estructural conjunta, pues será capaz de absorber niveles de esfuerzo relativamente altos provenientes de la superficie y transmitirlos suficientemente disminuidos a las terracerías [42].
- Analizar la adición de residuo a una subbase de un pavimento rígido, para sustituir o ser usado como la parte de finos del material, al eliminar la posibilidad de que estos finos sean plásticos, y evitar los fenómenos de bombeo y cambios volumétricos [42].
- Se podría emplear el residuo para mejorar la calidad de una subrasante usada como plataforma para las losas de cimentación en la construcción de viviendas.

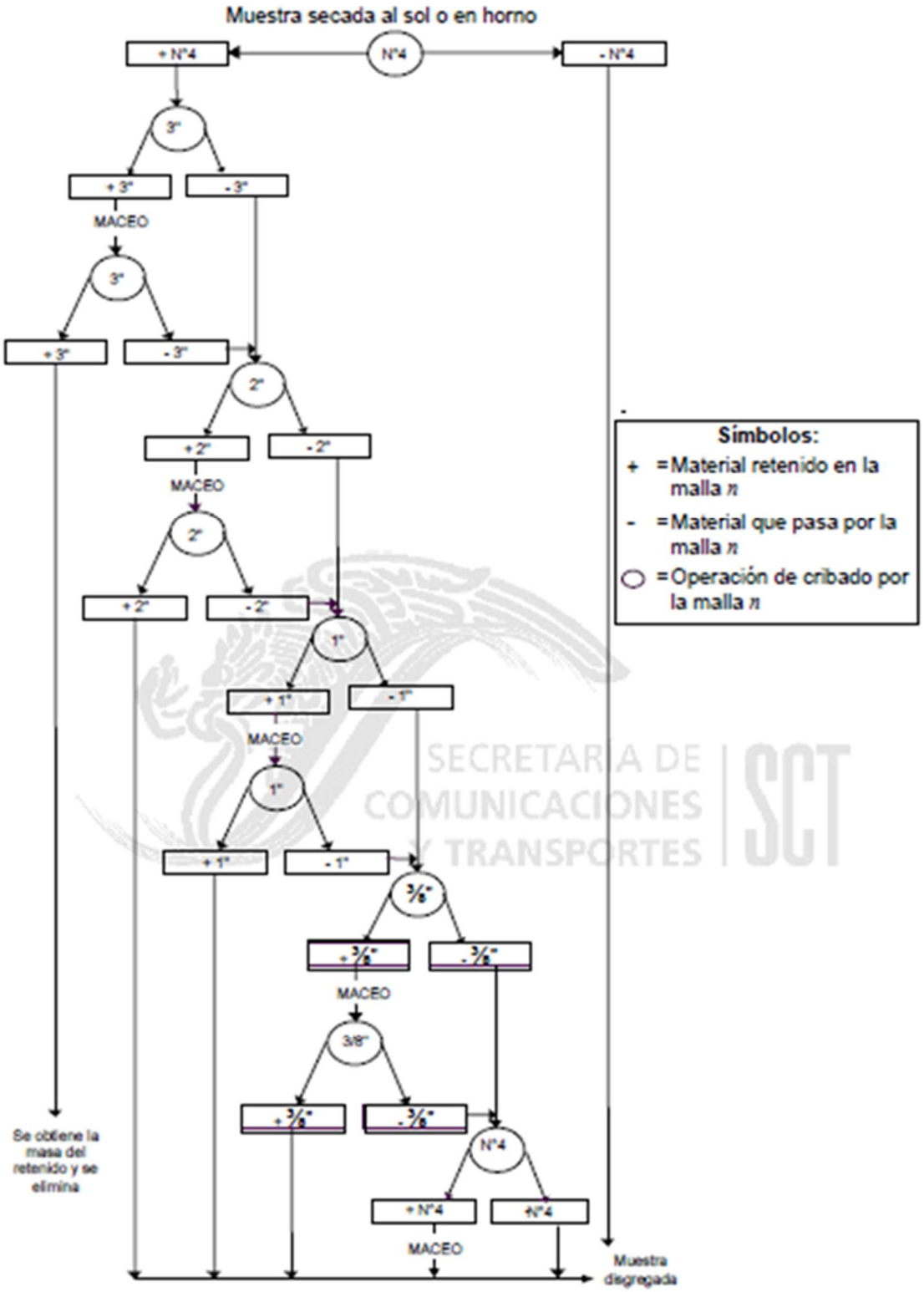
REFERENCIAS

1. SCT. *Materiales para Terraplén*. 2016; Available from: www.normas.imt.mx.
2. Muresan, B., et al., *Key factors controlling the real exhaust emissions from earthwork machines.* Transportation research part D: Transport and Environment, 2015. **41**: p. 271-287.
3. Kecojevic, V. and D. Komljenovic, *Impact of Bulldozer's Engine Load Factor on Fuel Consumption, CO2 Emission and Cost* American Journal of Environmental Sciences, 2011. **7**(2): p. 125-131.
4. Cantera, S., *Canacem justifica alza a precios del cemento*, in *El Universal*. 2017.
5. CANADEVI. *Pide CANADEVI revisar aumento anunciado de 12% al precio del cemento*. 2017; Available from: www.canadevi.com.mx.
6. Herrera, E., *Anuncian alza de un 13% en el precio del concreto*, in *El Financiero*. 2018.
7. Yu, M., et al., *The Carbon Footprint of Australia's Construction Sector.* Procedia Engineering, 2017. **180**: p. 211-220.
8. Gao, T., et al., *Analysis on differences of carbon dioxide emission from cement production and their major determinants.* Journal of Cleaner Production, 2015. **103**: p. 160-170.
9. Uwasu, M., K. Hara, and H. Yabar, *World cement production and environmental implications.* Environmental Development, 2014. **10**: p. 36-47.
10. Fry, M., *Cement, carbon dioxide, and the 'necessity' narrative: A case study of Mexico.* Geoforum, 2013. **49**: p. 127-138.
11. Barcelo, L., et al., *Cement and carbon emissions.* Materials and Structures, 2014. **47**(6): p. 1055-1065.
12. Heede, R., *Tracing anthropognic carbon dioxide and methane emission to fossil and cement producers, 1854-2010.* Climatic change; Dordrecht, 2014: p. 229-241.
13. Kazaz, A. and S. Ulubeyli, *Current Methods for the Utilization of the Fresh Concrete Waste Returned to Batching Plants.* Procedia Engineering, 2016. **161**: p. 42-46.
14. Xuan, D., et al., *Innovative reuse of concrete slurry waste from ready-mixed concrete plants in construction products.* Journal of Hazardous Materials, 2016. **312**: p. 65-72.
15. G., N.P., *Admixture Soil Improvement.* 2015. **Chapter 11**(Purchase).
16. Caraşca, O., *Soil Improvement by Mixing: Techniques and Performances.* Energy Procedia, 2016. **85**: p. 85-92.
17. Sharrard, A.L., H.S. Matthews, and M. Roth, *Environmental Implications of Construction Site Energy Use and Electricity Generation*, J.o.C.E.a. Management, Editor. 2007.
18. Crespo, C., *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Vol. Sexta-Edición. 2011. 644.
19. Juárez, E. and A. Rico, *Mecánica de Suelos*. Vol. Tomo-1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos. 2002. 642.
20. Bell, E.b.F.G., *The Problem of Unstable Ground: A Review of Moder Techniques of ground Treatment.* 1975. **Chapter 1**(Ourchase).
21. Rico, A. and H. Del Castillo, *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. Vol. 1. 2006. 459.
22. Ramaji, A.E., *A Review on the Soil Stabilization Using Low-Cost Methods.* Journal of Applied Sciences Research, 2012. **8**(4): p. 2193-2196.
23. Otoko, G.R., *A Review of the Stabilization of Problematic Soils.* International Journal of Engineering and Technology Research (IJEATR). Wolume, 2013. **2**(5): p. 1-6.
24. Gupta, D. and A. Kumar, *Performance evaluation of cement-stabilized pond ash-rice husk ash-clay mixture as a highway construction material.* Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2016.
25. Cherné, J. and A. González, *Movimiento de Tierras*. p. 144.

26. Hernandez, R., *El Movimiento de Tierras Metodos de Construcción, Manejo y Costos*. 1999. 166.
27. Diputados, C., *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. 2015. p. 80.
28. Diputados, C., *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. 2017. p. 128.
29. Diputados, C., *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. 2015. p. 52.
30. García, K., *Gasolinas hilan 11 meses de alzas de precio en junio*, in *El Economista*. 2018.
31. SCT. *Muestreo de Materiales para Terracerías*. 2003; Available from: www.normas.imt.mx.
32. SCT. *Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*. 2003; Available from: www.normas.imt.mx.
33. SCT. *Contenido de Agua*. 2003; Available from: www.normas.imt.mx.
34. SCT. *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*. 2003; Available from: www.normas.imt.mx.
35. SCT. *Límites de Consistencia*. 2007; Available from: www.normas.imt.mx.
36. SCT. *Densidades Relativas y Absorción*. [Manual] 2003; Available from: www.normas.imt.mx.
37. Sánchez, S. and J.d.D. Cueto, *Manual de Prácticas de Laboratorio de Geotecnia I y II*, F.d.I. Culiacán, Editor.
38. SCT. *Compactación AASHTO*. 2006; Available from: www.normas.imt.mx.
39. SCT. *Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio*. 2016; Available from: www.normas.imt.mx.
40. Corral, R., *Durabilidad del concreto, corrosión del acero de refuerzo*. 2016.
41. Saadeldin, R. and S. Siddiqua, Geotechnical characterization of a clay–cement mix. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2013. 72: p. 601-608.
42. Rico, A. and H. Del Castillo, *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. Vol. 2. 2016.

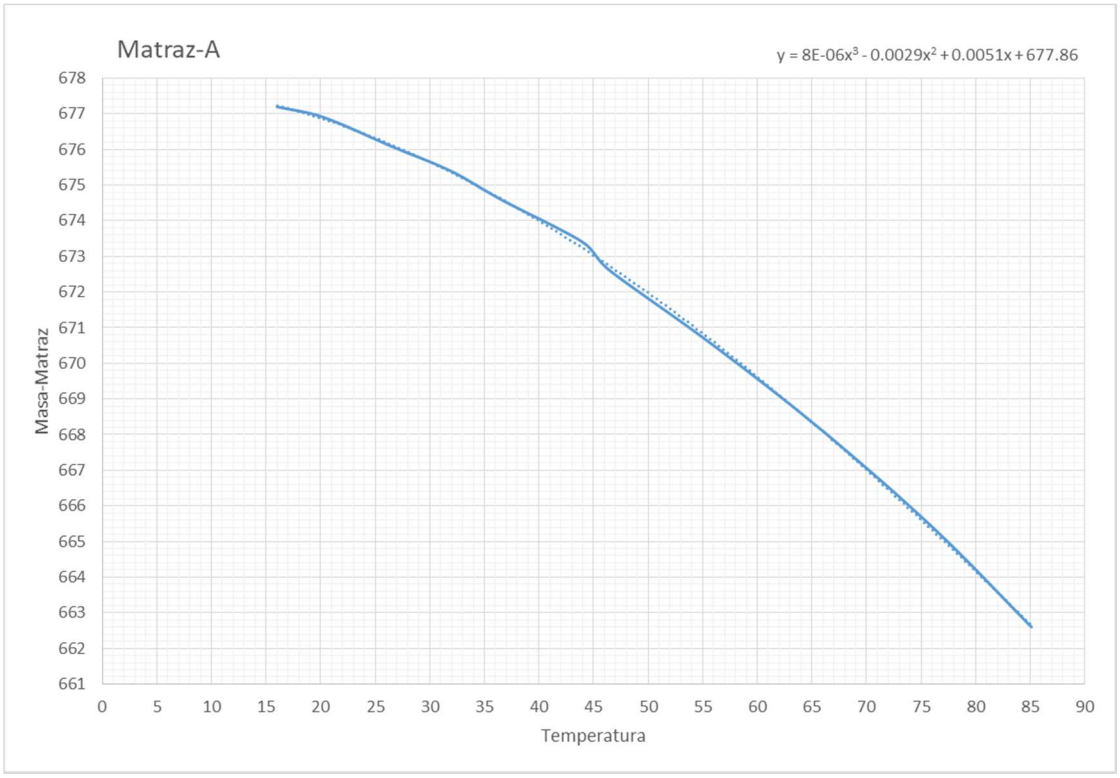
ANEXOS

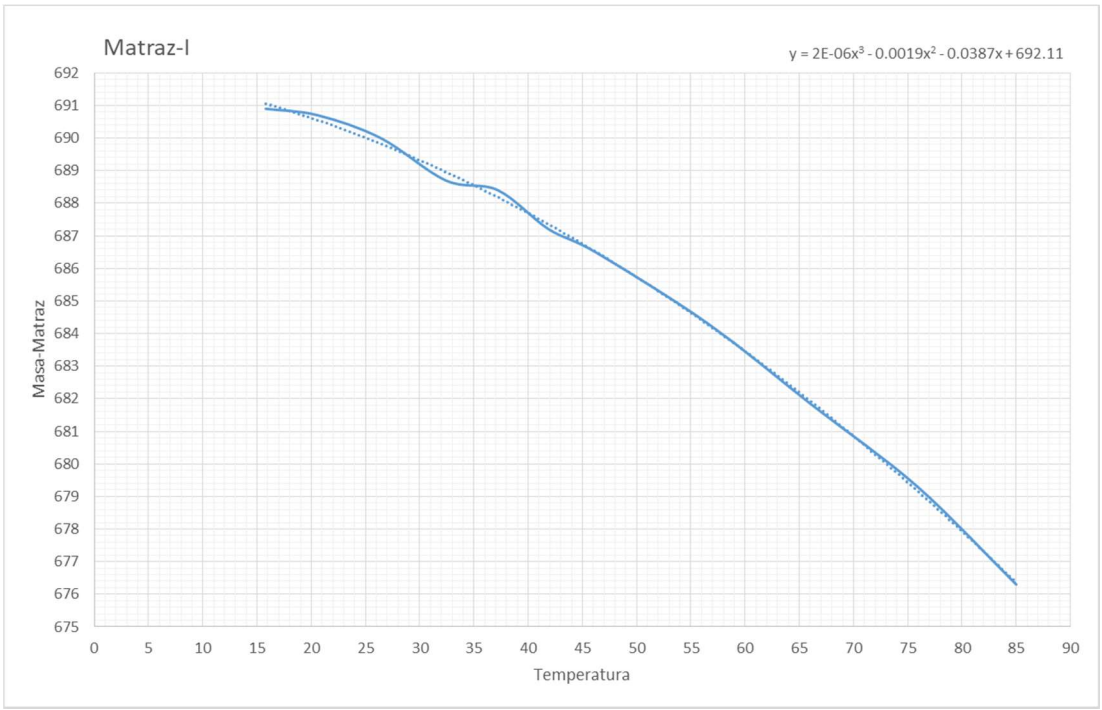
1. CUADRO ESQUEMÁTICO DE DISGREGADO DE LA MUESTRA



SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES | SCT

2. CALIBRACIÓN DE MATRACES





ENSAYOS AL RESIDUO DE CONCRETO FRESCO

3. CONTENIDO DE AGUA DEL RESIDUO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

CONTENIDO DE AGUA

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVECIÓN
OBRA:
LOC: CONCRETERA CONYMAT
FECHA: 13/03/2018

SONDEO: MUESTRA REPRESENTATIVA
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

SONDEO-MUESTRA	PROF. (mts)	NÚM. Cap.	Wcap (g)	Wcap + SH (g)	Wcap + SS (g)	Wagua (g)	WSS (g)	CONT AGUA (%)	DESCRIPCIÓN
Residuo	0.00	M2	34.70	84.60	73.20	11.40	38.50	29.61	Residuo de cemento con algunos agregados y presencia de materia orgánica.

4. GRANULOMETRÍA DEL RESIDUO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN: CONCRETERA CONYMAT
FECHA: 13/03/2018
OPERADOR: Ing. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
SONDEO: REPRESENTATIVA
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: PRESENTA ALGUNOS AGREGADOS DE GRAVAS, ASI COMO PEQUEÑAS PORCIONES DE MATERIA ORGÁNICA, HOJAS DE ÁRBOLES, CONTIENE ALGUNOS GRUMOS DE FÁCIL DISGREGACIÓN.

GRAVAS

MALLA No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	76.2	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	36.10	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	15.90	9.52	90.48
3/8"	9.52	19.00	11.37	79.11
N0.4	4.75	35.20	21.07	58.05
PASA N0.4		97.00	58.05	
SUMA		167.10		

ARENAS Y FINOS

MALLA No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.00	19.20	11.49	46.56
20	0.840	6.70	4.01	42.55
40	0.420	17.30	10.35	32.20
60	0.250	5.30	3.17	29.02
100	0.149	17.10	10.23	18.79
200	0.074	7.20	4.31	14.48
PASA 200		24.20	14.48	0.00
SUMA		97.00		

W Suelo Seco (gr): 167.10

Coeficientes de uniformidad y curvatura

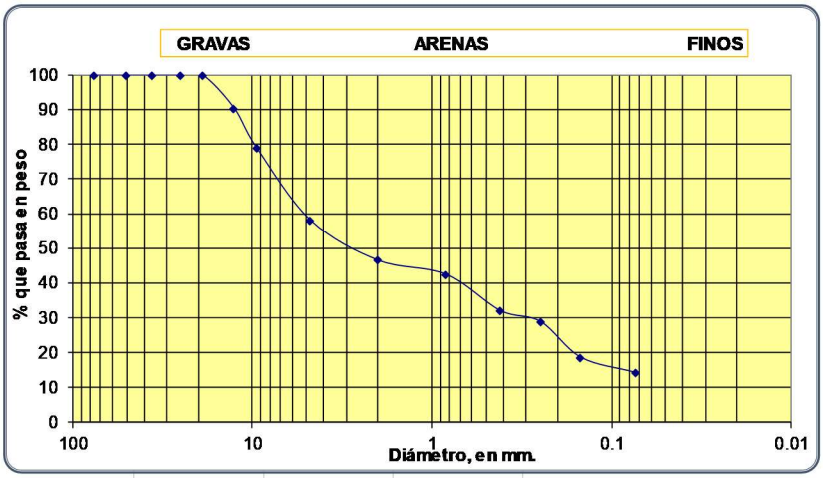
(mm)
D10= 0.00
D30= 0.30
D60= 5.00

Cu= #¡DIV/0!

Cc= #¡DIV/0!

Porcentajes de Gravas, Arenas y Finos

>3"= 0.00
G= 41.95
S= 43.57
F= 14.48
SUMA: 100.00



Clasificación: RESIDUO CON PARTÍCULAS DE ARENA CON ALGUNOS FRAGMENTOS DE GRAVAS TRITURADAS Y FINOS
Observaciones:

5. DENSIDAD DE SOLIDOS DEL RESIDUO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

DENSIDAD DE SOLIDOS

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN

OBRA:

LOCALIZACIÓN:

SONDEO: REPRESENTATIVA

FECHA: 19/06/2018

MUESTRA:

OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS

PROFUNDIDAD:

REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

DESCRIPCION DE LA MUESTRA: RESIDUO DE CEMENTO

PRUEBA No.	1	2
MATRAZ No.	A	I
Wmws (gr)	693.00	706.90
TEMPERATURA °C	61.70	62.60
Wmw (gr)	669.35	682.92
Wms (gr)	218.20	232.90
Wm (gr)	178.90	192.90
Ws= Wms- Wm	39.30	40.00
Ws+ Wmw- Wmws	15.65	16.02
Ss	2.51	2.50
PROMEDIO	2.50	

NOMENCLATURA:

Ws= Masa del suelo seco

Wm= Masa del matraz

Wms= Masa del matraz con sólido

Wmws= Masa del matraz con agua y sólido

Wmw= Masa del matraz con agua

Ss= Densidad de sólido

Ss= Ws / Ws+Wmw-Wmws

ENSAYOS A LA ARCILLA

6. CONTENIDO DE AGUA DE LA ARCILLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

CONTENIDO DE AGUA

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVECIÓN
OBRA:
LOC: 21 DE MARZO
FECHA: 13/03/2018

SONDEO: REPRESENTATIVA
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

SONDEO-MUESTRA	PROF. (mts)	NÚM. Cap	Wcap (gr)	Wcap + SH (gr)	Wcap + SS (gr)	Wagua (gr)	WSS (gr)	CONT.AGUA (%)	DESCRIPCIÓN
Arcilla	1.00	SS-H	35.30	109.10	95.10	14.00	59.80	23.41	Arcilla color café oscuro con presencia de caliche.

7. GRANULOMETRÍA DE LA ARCILLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN: 21 DE MARZO — SONDEO:
FECHA: 20/03/2018 — MUESTRA: REPRESENTATIVA
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS — PROFUNDIDAD: 1.00 M
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: ARCILLA CAFÉ OSCURA CON PARTÍCULAS DE CALICHE.

GRAVAS				
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	76.2	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	36.10	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00
N0.4	4.75	0.00	0.00	100.00
PASA N0.4		200.00	100.00	
SUMA		200.00		

ARENAS Y FINOS				
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.00	1.60	0.80	99.20
20	0.840	1.30	0.65	98.55
40	0.420	3.10	1.55	97.00
60	0.250	0.70	0.35	96.65
100	0.149	3.50	1.75	94.90
200	0.074	3.20	1.60	93.30
PASA 200		0.00	0.00	93.30
SUMA		13.40		

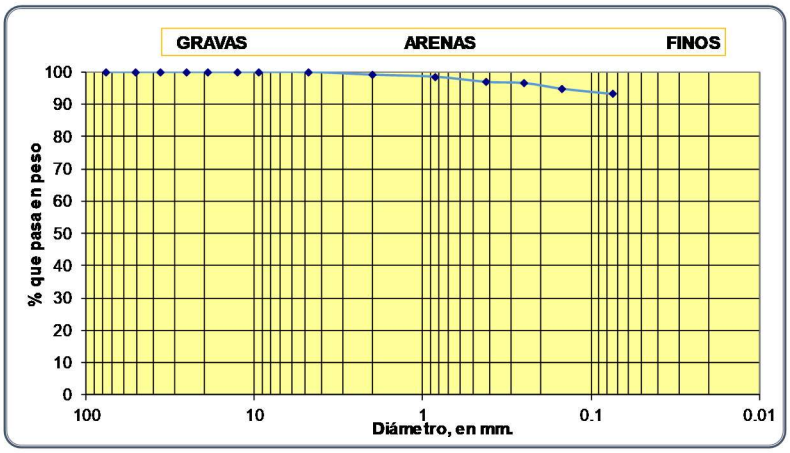
W Suelo Seco (g): 200.00
ARENA LAVADA (g): 200.00
W ARENA SECA (g): 13.40
W FINOS (g): 186.60
% QUE PASA M. No.4: 100.00

Coeficientes de uniformidad y curvatura

(mm)
D10= 0.00
D30= 0.00
D60= 0.00
Cu= #¡DIV/0!
Cc= #¡DIV/0!

Porcentajes de Gravas, Arenas y Finos

>3"= 0.00
G= 0.00
S= 6.70
F= 93.30
SUMA: 100.00



Clasificación: ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD Y ALTA COMPRESIBILIDAD.
Observacione: DE ACUERDO A RESULTADOS DE LIMITES Y GRANULOMETRIA.

S.U.C.S CH

8. LÍMITES DE CONSISTENCIA ARCILLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

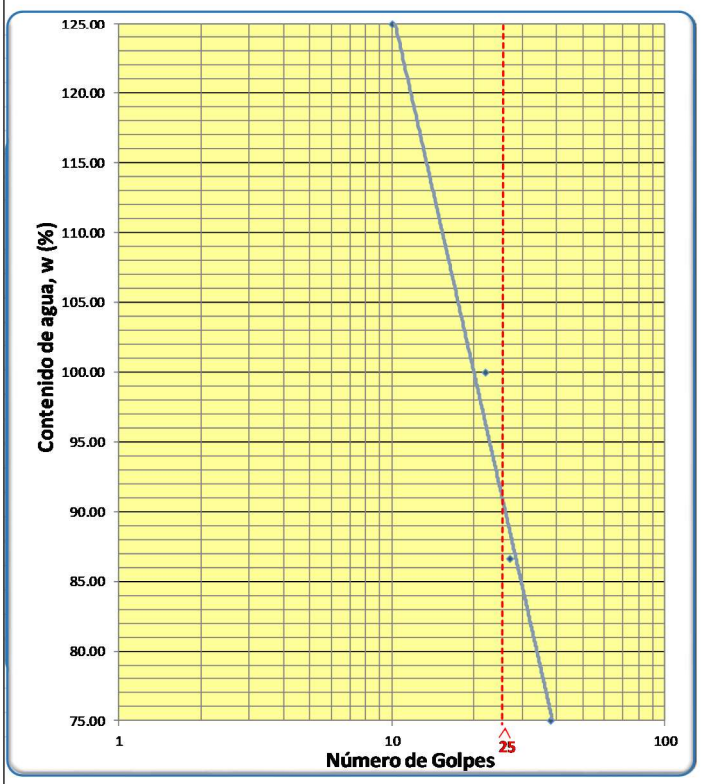
LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN: 21 DE MARZO
FECHA: 20/03/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MATERIAL ARCILLOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO.

SONDEO: REPRESENTATIVA
MUESTRA:
PROFUNDIDAD: 1.00 m

	LÍMITE LÍQUIDO						
Capsula	# Golpes	Wc+sh (gr)	Wc+Ss (gr)	W agua (gr)	W Capsula (gr)	W Ss (gr)	w (%)
24	10	16.50	15.00	1.50	13.80	1.20	125.00
16	22	15.60	14.20	1.40	12.80	1.40	100.00
14	27	16.30	15.00	1.30	13.50	1.50	86.67
K21	38	13.40	12.20	1.20	10.60	1.60	75.00

	LÍMITE PLÁSTICO					
Capsula	Wc+sh (gr)	Wc+Ss (gr)	W agua (gr)	W Capsula (gr)	W Ss (gr)	w (%)
C-5	21.50	21.30	0.20	20.60	0.70	28.57
C-6	13.90	13.70	0.20	13.10	0.60	33.33
					Promedio=	30.95



Resumen:

LL= 91.00 %
LP= 30.95 %
IP= 60.05 %

Clasificación S.U.C.S. :
CH

Clasificación: ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ OSCURO
Observaciones:

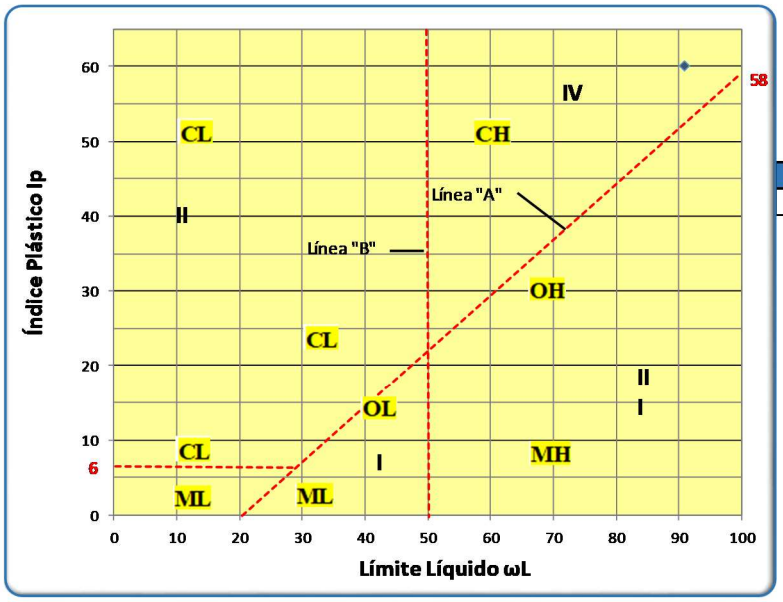
9. CARTA PLASTICIDAD

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁ||UELOS

CARTA DE PLASTICIDAD

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 20/03/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MATERIAL ARCILLOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO.

SONDEO: REPRESENTATIVO
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:



LL	IP
91	60.00

Clasificación: ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ OSCURO
Observaciones:

10. CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON BASE EN EL SUCS

Tipo	Sub-Tipos			Identificación			Símbolo de Grupo
Suelos gruesos (menos de 7,5 cm)	SUELOS GRUESOS (Más de la mitad del material es retenido en la malla N°200 (0,075 mm))	GRAVA (Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N° 4)	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	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[1]	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200		GW
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200		GP
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	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 ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)		GM
				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 grupo CL y CH)		GC
		ARENA (Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4)	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	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[1]	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200		SW
				Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200		SP
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)		SM
				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 grupo CL y CH)		SC
	SUELOS FINOS (Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm))	LIMO Y ARCILLA (Límite líquido	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.			ML
				Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.			CL
				Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.			OL
			Mayor de 50%	Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.			MH
				Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.			CH
				Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.			OH
	ALTAMENTE ORGÁNICOS			Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.			P_t

[1] Los coeficientes de uniformidad (C_u) y de curvatura (C_c), que se utilizan para determinar la graduación de los suelos *GW, GP, SW* y *SP* están dados por las siguientes expresiones:

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

Donde D_{10}, D_{30} y D_{60} son los tamaño de las partículas para el cual el 10, 30 y 60% en masa del material es menor que esos tamaños, respectivamente, determinados gráficamente de la curva granulométrica como se indica en el Manual M-MMP-1-06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terraplenes*.

11. DENSIDAD DE SOLIDOS ARCILLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

DENSIDAD DE SOLIDOS

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN

OBRA:

LOCALIZACIÓN:

SONDEO: REPRESENTATIVO

FECHA: 14/06/2018

MUESTRA:

OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS

PROFUNDIDAD: 1.00 m

REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

DESCRIPCION DE LA MUESTRA: ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO DE ALTAPLASTICIDAD, CH

PRUEBA No.	1	2
MATRAZ No.	A	I
Wmws (gr)	705.40	720.00
TEMPERATURA °C	63.30	60.00
Wmw (gr)	668.95	683.53
Wms (gr)	237.60	251.40
Wm (gr)	178.90	192.90
Ws= Wms- Wm	58.70	58.50
Ws+ Wmw- Wmws	22.25	22.03
Ss	2.64	2.66
PROMEDIO	2.65	

NOMENCLATURA:
Ws= Masa del suelo seco
Wm= Masa del matraz
Wms= Masa del matraz con sólido
Wmws= Masa del matraz con agua y sólido
Wmw= Masa del matraz con agua
Ss= Densidad de sólido
Ss= Ws / Ws+Wmw-Wmws

12. PESO VOLUMÉTRICO SECO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

PESO VOLUMETRICO

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN

OBRA:

LOCALIZACIÓN:

SONDEO: REPRESENTATIVO

FECHA: 13/03/2018

OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS

REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

DESCRIPCION DE LA MUESTRA: ARCILLA DE COLOR CAFÉ OSCURO DE ALTA PLASTICIDAD, CH.

POZO No.	PROF (m)	Wm (gr)	Wmp (gr)	Wmps (gr)	Vmp (cm)³	Wp (gr)	Vp=Wp/0.97 (cm)³	Vm (cm3)	W (%)	γm (gr/cm3)	γd (gr/cm³)
ARCILLA	1.50	76.44	78.63	39.21	39.42	2.19	2.26	37.16	11.02	2.06	1.85
		131.45	134.66	66.85	67.81	3.21	3.31	64.50	11	2.04	1.84
		197.78	202.57	99.70	102.87	4.79	4.94	97.93	10.98	2.02	1.82
									Promedio γd		1.84

$$V_{mp} = (W_{mp} - W_{mps})/\gamma_0$$

$$V_p = \frac{W_p}{S_p \gamma_0}$$

$$V_m = V_{mp} - V_p$$

NOMENCLATURA:

Wm: Masa de la muestra.

Wmp: Masa de la muestra con parafina

Wmps: Masa muestra con parafina sumergido

Vm: Volumen de la muestra.

Vmp: Volumen de la muestra con parafina

Wp: Masa de la parafina

Vp: Volumen de la parafina

W: Humedad

γm: Masa volumétrica húmeda

γd: Masa volumétrica seca

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m} = \frac{\gamma_m}{1+\omega}$$

13. COMPACTACIÓN AASHTO ARCILLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN PAVIMENTOS

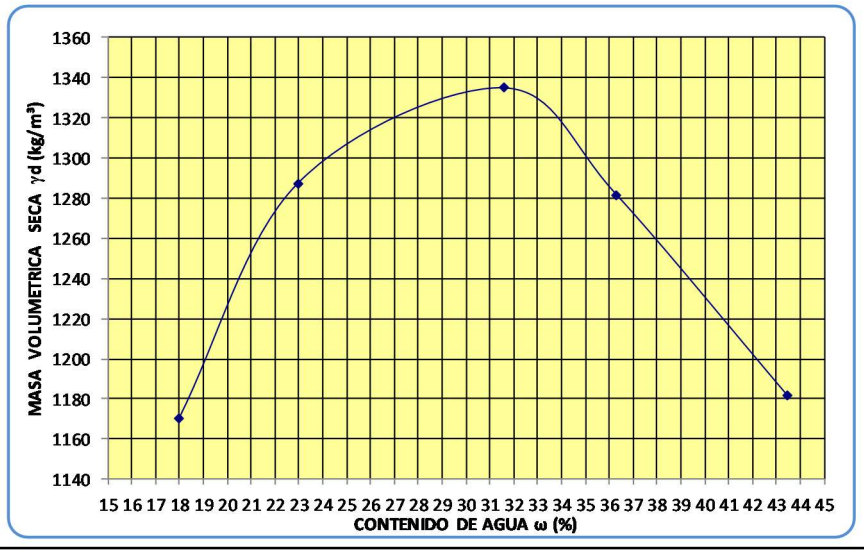
PRUEBA DE COMPACTACIÓN

Obra:	Proyecto de Intervención	**Fecha:**	16/04/2018
Localización:		**Prueba:**	Compactación arcilla
Tramo:		**Operador:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Subtramo:		**Calculó:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Origen:		**Revisó:**	Ing. Elvia Judith Rios Flores
Sondeo No.:		**Método:**	AASHTO Estándar
Muestra No.:		**Variante:**	B
Descripción:		**No. de capas:**	3
		No. de golpes por capa:	56
		Masa en g:	7,500

	ESPÉCIMEN NÚMERO	1	2	3	4	5	6
Contenido de agua	Cápsula número	B-4	LL-6	SS-6	H-3	B-8	
	Peso cápsula + Suelo húmedo, (gr)	78.60	59.80	89.00	107.10	83.90	
	Peso cápsula + Suelo seco, (gr)	65.30	49.60	75.80	94.20	76.40	
	Peso del agua, (gr)	13.30	10.20	13.20	12.90	7.50	
	Peso cápsula, (gr)	34.70	21.50	34.00	38.00	34.70	
	Peso suelo seco Ws, (gr)	30.60	28.10	41.80	56.20	41.70	
	Contenido de agua ω, (%)	43.46	36.30	31.58	22.95	17.99	
Masa Volumétrica	Peso del molde + Suelo húmedo Wi, (gr)	6370.00	6480.00	6500.00	6130.00	5700.00	
	Peso del molde Wt, (gr)	2760.00	2760.00	2760.00	2760.00	2760.00	
	Peso suelo húmedo Wm, (gr)	3610.00	3720.00	3740.00	3370.00	2940.00	
	Volumen del molde V, (cm^3)	2129.34	2129.34	2129.34	2129.34	2129.34	
	Masa volumétrica húmeda γ_m, (kg/m^3)	1695.358	1747.018	1756.410	1582.648	1380.707	
	Masa volumétrica seca γ_d, (kg/m^3)	1181.730	1281.754	1334.872	1287.190	1170.234	

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100+\omega(\%)} \times 100$$



14. CBR Y EXPANSIÓN ARCILLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN GEOTECNIA

OBRA: PROYECTO DE INTERVENCIÓN **FECHA:** 23-abr-18
PROCEDENCIA:
DESCRIPCIÓN: ARCILLA CAFÉ OSCURA DE ALTA PLASTICIDAD, CH

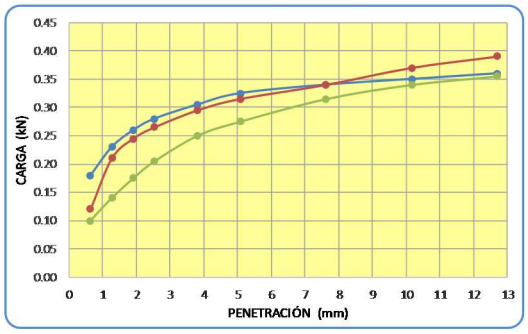
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
CALCULÓ: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

COMPACTACIÓN

MOLDE	1	2	3
DIÁMETRO DEL MOLDE D_m (mm)	151.53	150.56	151.45
MASA DEL MOLDE W_m (g)	4480	4620	4390
ALTURA TOTAL DEL MOLDE H_m (mm)	178.22	178.19	178.26
ALTURA DEL DISCO ESPACIADOR H_{de} (mm)	51.10	51.10	51.10
ALTURA DEL MATERIAL COMPACTADO (mm)	127.13	127.10	127.16
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO W_{m+el} (g)	8540	8480	7690
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO (g)	4060	3860	3300
MASA MOLDE + MATERIAL SATURADO W_{m+ef} (g)	8790	8780	8140

EXPANSIÓN

MOLDE	1	2	3
Lectura inicial de expanción h_0 (mm)	67.27	66.79	62.23
Lectura final de expanción hf (mm)	50.00	54.12	55.86
Diferencia Δh (mm)	17.28	12.67	6.37
Expansión Exp (%) = $\frac{100 * \Delta h}{H_m - H_{de}}$	13.59	9.97	5.01
Expansión promedio, Exp (%) =	9.52		

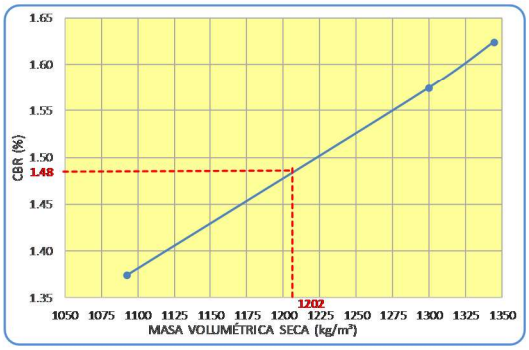


CONTENIDO DE AGUA

MOLDE	1	2	3
No. DE RECIPIENTE	Z-7	F-5	H-8
MASA DEL RECIPIENTE (g)	34.6	35.1	34.5
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SATURADO (g)	87.6	83.2	101.9
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SECO (g)	72.5	69.1	79.5
CONTENIDO DE AGUA SATURADO ω_{sat} (%)	39.8	41.5	49.8
MASA VOLUMÉTRICA SECA γ_d (kg/m³)	1344.35	1299.54	1092.94
CONTENIDO DE AGUA DE COMPACTACIÓN ω_c (%)	31.7	31.3	31.8
PROM. CONTENIDO AGUA COMPACTACIÓN ωc (%)	31.6		

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

				Molde 1	2	3
0.64	mm	(0:30")	KN	0.18	0.12	0.10
1.27	mm	(1:00')	KN	0.23	0.21	0.14
1.91	mm	(1:30')	KN	0.26	0.25	0.18
2.54	mm	(2:00')	KN	0.28	0.27	0.21
3.81	mm	(3:00')	KN	0.31	0.30	0.25
5.08	mm	(4:00')	KN	0.33	0.32	0.28
7.62	mm	(6:00')	KN	0.34	0.34	0.32
10.16	mm	(8:00')	KN	0.35	0.37	0.34
12.7	mm	(10:00')	KN	0.36	0.39	0.36
$CBR_{2.54} = \frac{100 * C_{2.54}}{13.34}$				2.1	2.0	1.5
$CBR_{5.08} = \frac{100 * C_{5.08}}{20.01}$				1.6	1.6	1.4



ENSAYOS MEZCLAS ARCILLA-RESIDUO

MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 10%

15. GRANULOMETRÍA MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 10%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCION MECANICA DE SUELOS

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 21/06/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
SONDEO: REPRESENTATIVA
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 10%

GRAVAS				
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	76.2	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	36.10	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00
N0.4	4.75	0.00	0.00	100.00
PASA N0.4		196.00	100.00	
SUMA		196.00		

ARENAS Y FINOS				
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.00	2.40	1.22	98.78
20	0.840	1.70	0.87	97.91
40	0.420	3.80	1.94	95.97
60	0.250	3.00	1.53	94.44
100	0.149	3.40	1.73	92.70
200	0.074	4.10	2.09	90.61
PASA 200		0.00	0.00	90.61
SUMA		18.40		

W Suelo Seco (g): 196.00

ARENA LAVADA (g): 196.00
W ARENA SECA (g): 18.40
W FINOS (g): 177.60
% QUE PASA M. No.4 100.00

Coeficientes de uniformidad y curvatura

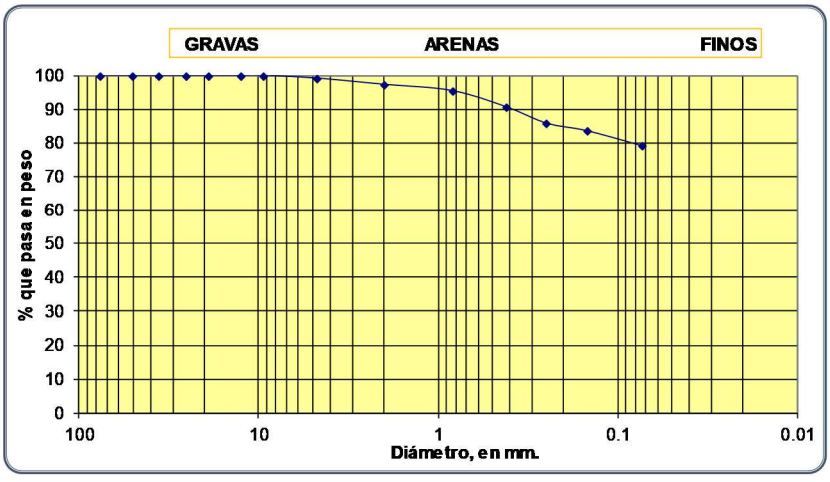
(mm)
D10= 0.00
D30= 0.00
D60= 0.00

Cu= #¡DIV/0!

Cc= #¡DIV/0!

Porcentajes de Gravas, Arenas y Finos

>3"= 0.00
G= 0.00
S= 9.39
F= 90.61
SUMA: 100



Clasificación:

S.U.C.S

16. LÍMITES DE CONSISTENCIA MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 10%

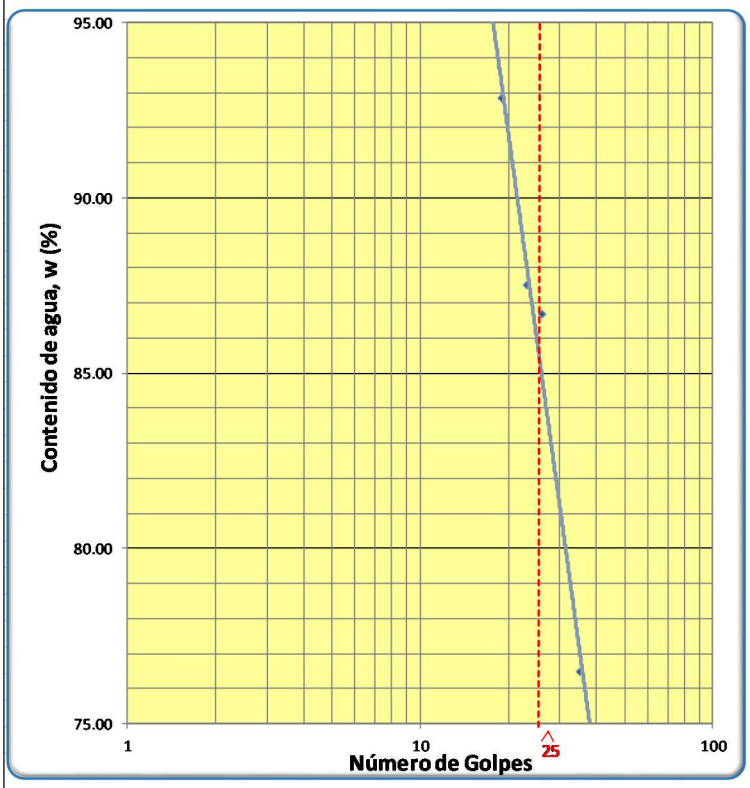
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 14/05/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 10%

SONDEO: REPRESENTATIVA
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:

	LÍMITE LÍQUIDO						
Capsula	# Golpes	Wc+sh (gr)	Wc+Ss (gr)	W agua (gr)	W Capsula (gr)	W Ss (gr)	w (%)
3AT	35	24.70	23.40	1.30	21.70	1.70	76.47
C-2	26	24.60	23.30	1.30	21.80	1.50	86.67
GF	23	24.20	22.80	1.40	21.20	1.60	87.50
GE	19	24.20	22.90	1.30	21.50	1.40	92.86



Resumen:

LL= 87.00 %

17. COMPACTACIÓN AASHTO MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 10%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN PAVIMENTOS

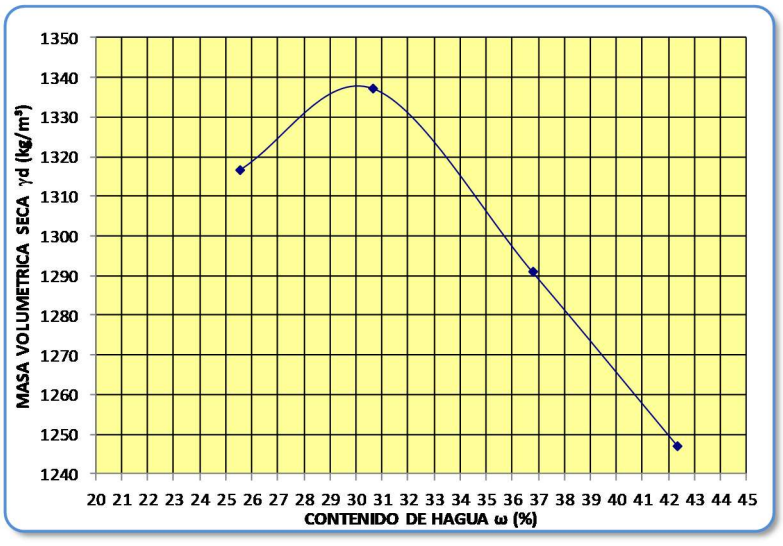
PRUEBA DE COMPACTACIÓN

Obra:	Proyecto de Intervención	**Fecha:**	19/04/2018
Localización:		**Prueba:**	Mezcla arcilla con residuo 10%
Tramo:		**Operador:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Subtramo:		**Calculó:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Origen:		**Revisó:**	Ing. Elvia Judith Rios Flores
Sondeo No.:		**Método:**	AASHTO Estándar
Muestra No.:		**Variante:**	B
Descripción:		**No. de capas:**	3
		No. de golpes por capa:	56
		Masa en g:	7,500

	ESPÉCIMEN NÚMERO	1	2	3	4	5	6
Contenido de agua	Cápsula número	SS-H	B-8	SS-7	SA-1		
	Peso cápsula + Suelo húmedo, (gr)	72.50	78.20	80.60	102.80		
	Peso cápsula + Suelo seco, (gr)	61.40	66.50	69.60	88.70		
	Peso del agua, (gr)	11.10	11.70	11.00	14.10		
	Peso cápsula, (gr)	35.20	34.70	33.70	33.50		
	Peso suelo seco Ws, (gr)	26.20	31.80	35.90	55.20		
	Contenido de agua ω, (%)	42.37	36.79	30.64	25.54		
Masa Volumétrica	Peso del molde + Suelo húmedo Wi, (gr)	6540.00	6520.00	6480.00	6280.00		
	Peso del molde Wt, (gr)	2760.00	2760.00	2760.00	2760.00		
	Peso suelo húmedo Wm, (gr)	3780.00	3760.00	3720.00	3520.00		
	Volumen del molde V, (cm^3)	2129.34	2129.34	2129.34	2129.34		
	Masa volumétrica húmeda γ_m, (kg/m^3)	1775.195	1765.803	1747.018	1653.092		
	Masa volumétrica seca γ_d, (kg/m^3)	1246.920	1290.863	1337.269	1316.749		

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100+\omega(\%)} \times 100$$



18. CBR Y EXPANSIÓN MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 10%

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN GEOTECNIA

OBRA: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
PROCEDENCIA:
DESCRIPCIÓN: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 10%

FECHA: 30-abr-18

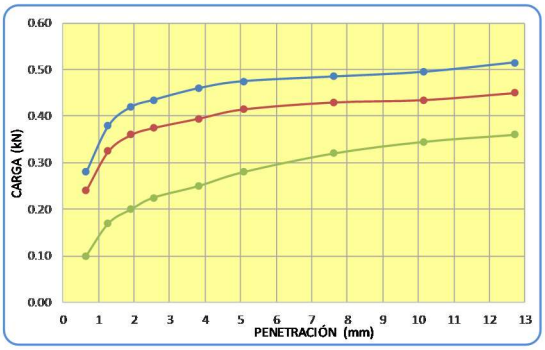
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
CALCULÓ: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

COMPACTACIÓN

MOLDE	1	2	3
DIÁMETRO DEL MOLDE D_m (mm)	151.53	150.56	151.45
MASA DEL MOLDE W_m (g)	4480	4620	4390
ALTURA TOTAL DEL MOLDE H_m (mm)	178.22	178.19	178.26
ALTURA DEL DISCO ESPACIADOR H_{de} (mm)	51.10	51.10	51.10
ALTURA DEL MATERIAL COMPACTADO (mm)	127.13	127.10	127.16
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO W_{m+ei} (g)	0	8490	7780
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO (g)	-4480	3870	3390
MASA MOLDE + MATERIAL SATURADO W_{m+ef} (g)	8800.00	8780.00	8170.00

EXPANSIÓN

MOLDE	1	2	3
Lectura inicial de expanción h_0 (mm)	67.38	67.14	65.02
Lectura final de expanción hf (mm)	55.445	57.71	59.07
Diferencia Δh (mm)	11.94	9.44	5.95
Expansión Exp (%) = $\frac{100 * \Delta h}{H_m - H_{de}}$	9.39	7.42	4.68
Expansión promedio, Exp (%) =	7.16		

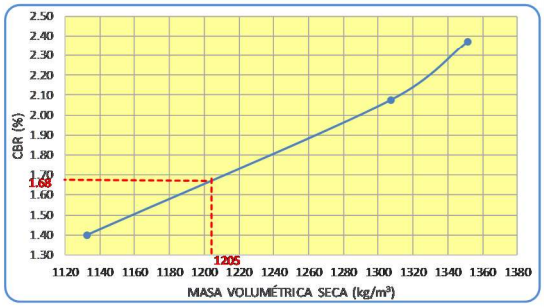


CONTENIDO DE AGUA

MOLDE	1	2	3
No. DE RECIPIENTE	R-2	SA-7	SA-1
MASA DEL RECIPIENTE (g)	34.3	34.3	33.5
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SATURADO (g)	90.2	111.1	110.7
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SECO (g)	74.4	88.9	86.5
CONTENIDO DE AGUA SATURADO ω_{sat} (%)	39.4	40.7	45.7
MASA VOLUMÉTRICA SECA γ_d (kg/m³)	1351.73	1307.03	1132.82
CONTENIDO DE AGUA DE COMPACTACIÓN ω_c(%)	31.0	30.9	30.6
PROM CONTENIDO AGUA COMPACTACIÓN ωc (%)	30.8		

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

			MOLDE	1	2	3
0.64	mm	(0:30")	KN	0.28	0.24	0.10
1.27	mm	(1:00')	KN	0.38	0.33	0.17
1.91	mm	(1:30')	KN	0.42	0.36	0.20
2.54	mm	(2:00')	KN	0.44	0.38	0.23
3.81	mm	(3:00')	KN	0.46	0.40	0.25
5.08	mm	(4:00')	KN	0.48	0.42	0.28
7.62	mm	(6:00')	KN	0.49	0.43	0.32
10.16	mm	(8:00')	KN	0.50	0.44	0.35
12.7	mm	(10:00')	KN	0.52	0.45	0.36
$CBR_{2.54} = \frac{100 * C_{2.54}}{13.34}$				3.3	2.8	1.7
$CBR_{5.08} = \frac{100 * C_{5.08}}{20.01}$				2.4	2.1	1.4



MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 15%

19. GRANULOMETRÍA MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 15%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 21/06/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
SONDEO: REPRESENTATIVA
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 15%

GRAVAS

MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	76.2	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	36.10	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00
N0.4	4.75	0.00	0.00	100.00
PASA N0.4		200.00	100.00	
SUMA		200.00		

ARENAS Y FINOS

MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.00	3.10	1.55	98.45
20	0.840	2.10	1.05	97.40
40	0.420	3.50	1.75	95.65
60	0.250	2.90	1.45	94.20
100	0.149	3.30	1.65	92.55
200	0.074	4.00	2.00	90.55
PASA 200		0.00	0.00	90.55
SUMA		18.90		

W SUELO SECO (g): 200.00

ARENA LAVADA (g): 200.00
W ARENA SECA (g): 18.90
W FINOS (g): 181.10
% QUE PASA M. No.4 100.00

Coeficientes de uniformidad y curvatura

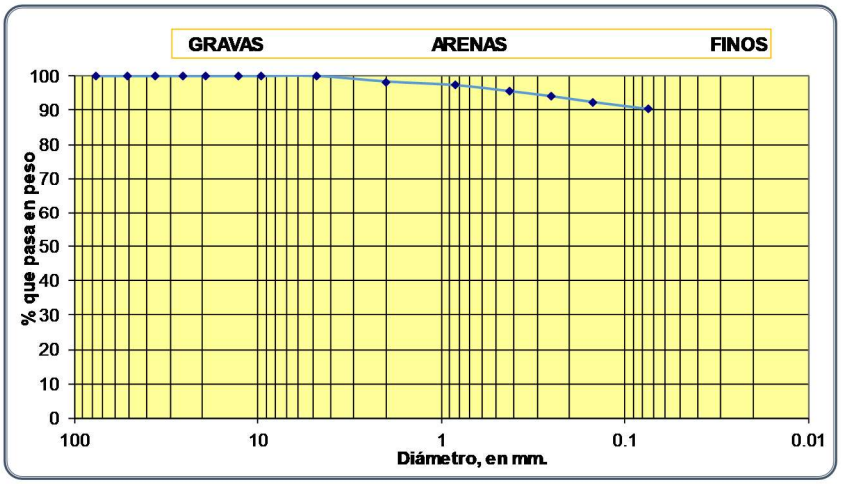
(mm)
D10= 0.00
D30= 0.00
D60= 0.00

Cu= #¡DIV/0!

Cc= #¡DIV/0!

Porcentajes de Gravas, Arenas y Finos

>3"= 0.00
G= 0.00
S= 9.45
F= 90.55
SUMA: 100



Clasificación:

S.U.C.S

20. LÍMITES DE CONSISTENCIA MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 15%

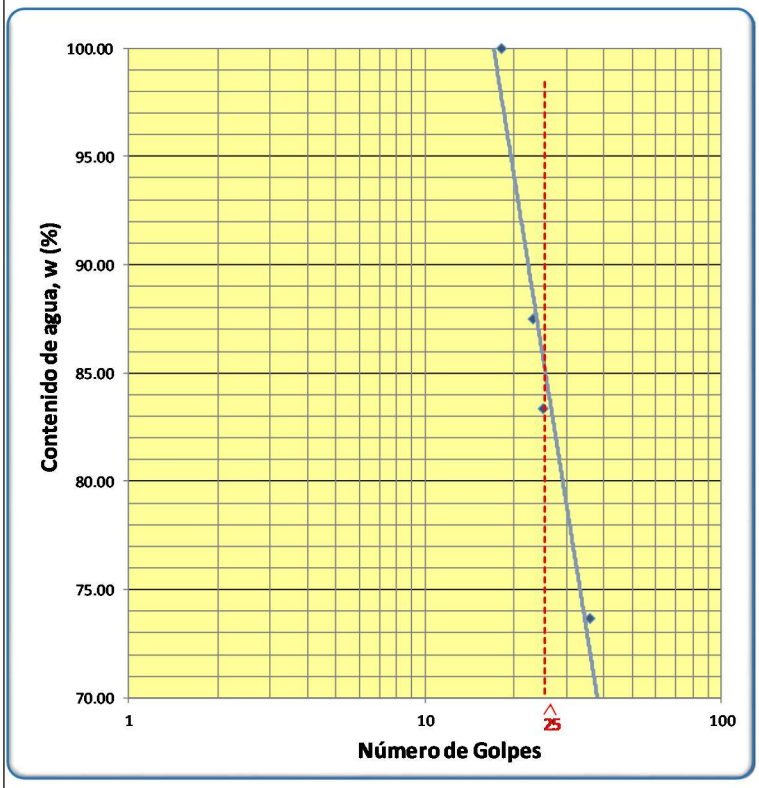
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 14/05/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 15%

SONDEO: REPRESENTATIVO
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:

	LÍMITE LÍQUIDO						
Capsula	# Golpes	Wc+sh (gr)	Wc+Ss (gr)	W agua (gr)	W Capsula (gr)	W Ss (gr)	w (%)
O5	36	26.10	24.70	1.40	22.80	1.90	73.68
E-6F	25	15.70	14.20	1.50	12.40	1.80	83.33
02	23	23.60	22.20	1.40	20.60	1.60	87.50
B-9	18	25.20	23.00	2.20	20.80	2.20	100.00



Resumen:

LL= 85.00 %

21. COMPACTACIÓN AASHTO MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 15%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN PAVIMENTOS

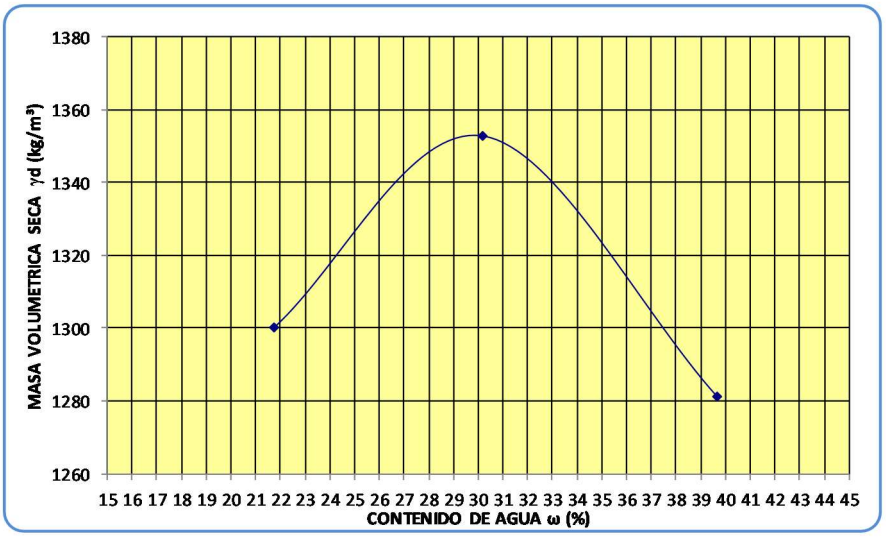
PRUEBA DE COMPACTACIÓN

Obra:	Proyecto de Intervención	**Fecha:**	07/05/2018
Localización:		**Prueba:**	Mezcla arcilla con residuo 15%
Tramo:		**Operador:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Subtramo:		**Calculó:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Origen:		**Revisó:**	Ing. Elvia Judith Rios Flores
Sondeo No.:		**Método:**	AASHTO Estándar
Muestra No.:		**Variante:**	B
Descripción:		**No. de capas:**	3
		No. de golpes por capa:	56
		Masa en g:	7,500

	ESPÉCIMEN NÚMERO	1	2	3	4	5	6
Contenido de agua	Cápsula número	SA-6	JC-1	SS-6			
	Peso cápsula + Suelo húmedo, (gr)	94.50	73.20	81.90			
	Peso cápsula + Suelo seco, (gr)	83.90	64.30	68.30			
	Peso del agua, (gr)	10.60	8.90	13.60			
	Peso cápsula, (gr)	35.10	34.80	34.00			
	Peso suelo seco Ws, (gr)	48.80	29.50	34.30			
	Contenido de agua ω, (%)	21.72	30.17	39.65			
Masa Volumétrica	Peso del molde + Suelo húmedo Wi, (gr)	6130.00	6510.00	6570.00			
	Peso del molde Wt, (gr)	2760.00	2760.00	2760.00			
	Peso suelo húmedo Wm, (gr)	3370.00	3750.00	3810.00			
	Volumen del molde V, (cm^3)	2129.34	2129.34	2129.34			
	Masa volumétrica húmeda γ_m, (kg/m^3)	1582.648	1761.106	1789.284			
	Masa volumétrica seca γ_d, (kg/m^3)	1300.222	1352.933	1281.262			

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100+\omega(\%)} \times 100$$



22. CBR Y EXPANSIÓN MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 15%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN GEOTECNIA

OBRA: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
PROCEDENCIA:
DESCRIPCIÓN: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 15%

FECHA: 08-may-18

OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
CALCULÓ: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

COMPACTACIÓN

MOLDE	1	2	3
DIÁMETRO DEL MOLDE D_m (mm)	151.53	150.56	151.45
MASA DEL MOLDE W_m (g)	4480	4620	4390
ALTURA TOTAL DEL MOLDE H_m (mm)	178.22	178.19	178.26
ALTURA DEL DISCO ESPACIADOR H_{de} (mm)	51.10	51.10	51.10
ALTURA DEL MATERIAL COMPACTADO (mm)	127.13	127.10	127.16
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO W_{m+ei} (g)	8580	8500	7790
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO (g)	4100	3880	3400
MASA MOLDE + MATERIAL SATURADO W_{m+ef} (g)	8840.00	8780.00	8130.00

CONTENIDO DE AGUA

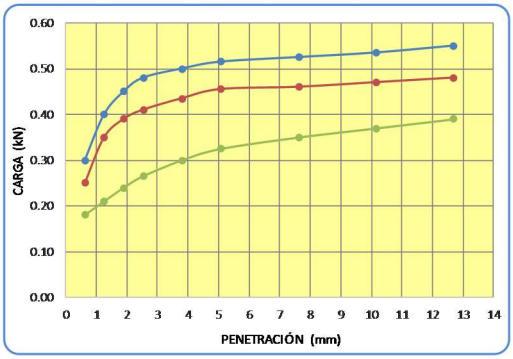
MOLDE	1	2	3
No. DE RECIPIENTE	LL-3	N-3	RR1
MASA DEL RECIPIENTE (g)	34.1	34.4	39
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SATURADO (g)	102.3	105.5	125.6
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SECO (g)	83.4	85.3	99.5
CONTENIDO DE AGUA SATURADO ω_{sat} (%)	38.3	39.7	43.1
MASA VOLUMÉTRICA SECA γ_d (kg/m³)	1374.74	1316.14	1140.57
CONTENIDO DE AGUA DE COMPACTACIÓN ω_c (%)	30.1	30.3	30.1
PROM CONTENIDO AGUA COMPACTACIÓN ωc (%)	30.2		

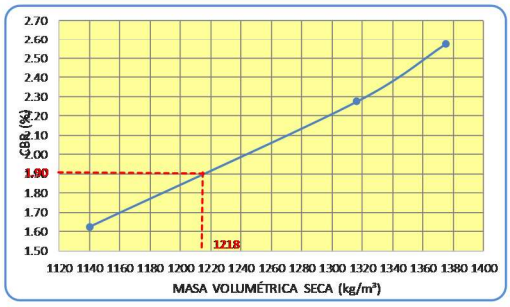
RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

				Molde	1	2	3
0.64	mm	(0:30")	KN		0.30	0.25	0.18
1.27	mm	(1:00')	KN		0.40	0.35	0.21
1.91	mm	(1:30')	KN		0.45	0.39	0.24
2.54	mm	(2:00')	KN		0.48	0.41	0.27
3.81	mm	(3:00')	KN		0.50	0.44	0.30
5.08	mm	(4:00')	KN		0.52	0.46	0.33
7.62	mm	(6:00')	KN		0.53	0.46	0.35
10.16	mm	(8:00')	KN		0.54	0.47	0.37
12.7	mm	(10:00')	KN		0.55	0.48	0.39
				$CBR_{2.54} = \frac{100 * C_{2.54}}{13.34}$	3.6	3.1	2.0
				$CBR_{5.08} = \frac{100 * C_{5.08}}{20.01}$	2.6	2.3	1.6

EXPANSIÓN

MOLDE	1	2	3
Lectura inicial de expanción h_o (mm)	67.47	67.13	65.36
Lectura final de expanción hf (mm)	57.08	59.25	60.88
Diferencia Δh (mm)	10.40	7.88	4.49
Expansión Exp (%) = $\frac{100 * \Delta h}{H_m - H_{de}}$	8.18	6.20	3.53
Expansión promedio, Exp (%) =	5.97		





MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 30%

23. GRANULOMETRÍA MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 30%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 22/06/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
SONDEO: REPRESENTATIVA
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 30%

GRAVAS				
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	76.2	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	36.10	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00
N0.4	4.75	0.00	0.00	100.00
PASA N0.4		200.00	100.00	
SUMA		200.00		

ARENAS Y FINOS				
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.00	6.00	3.00	97.00
20	0.840	3.00	1.50	95.50
40	0.420	6.50	3.25	92.25
60	0.250	5.10	2.55	89.70
100	0.149	5.10	2.55	87.15
200	0.074	5.20	2.60	84.55
PASA 200		0.00	0.00	84.55
SUMA		0.00		

W SUELO SECO (g): 200.00

ARENA LAVADA (g): 200.00
W ARENA SECA (g): 30.90
W FINOS (g): 169.10
% QUE PASA M. No.4 100.00

Coeficientes de uniformidad y curvatura

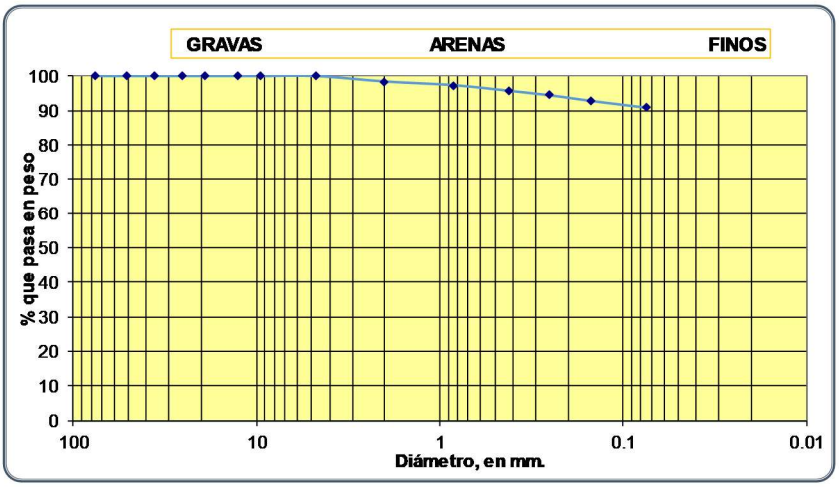
(mm)
D10= 0.00
D30= 0.00
D60= 0.00

Cu= #¡DIV/0!

Cc= #¡DIV/0!

Porcentajes de Gravas, Arenas y Finos

>3"= 0.00
G= 0.00
S= 15.45
F= 84.55
SUMA: 100



Clasificación:

S.U.C.S

24. LÍMITES DE CONCISTENCIA MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 30%

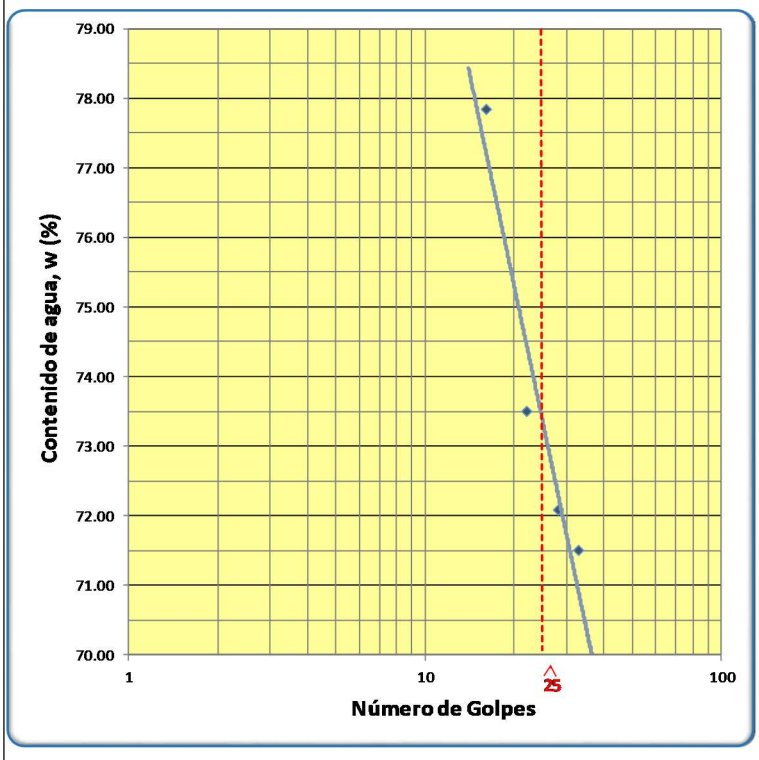
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 11/06/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MEZCLA DE ARCILLA RESIDUO EN UN 30%

SONDEO: REPRESENTATIVO
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:

	LÍMITE LÍQUIDO						
Capsula	# Golpes	Wc+sh (gr)	Wc+Ss (gr)	W agua (gr)	W Capsula (gr)	W Ss (gr)	w (%)
11	16	15.53	14.09	1.44	12.24	1.85	77.84
19	22	16.52	15.05	1.47	13.05	2.00	73.50
R-1	28	16.17	14.75	1.42	12.78	1.97	72.08
14	33	16.86	15.43	1.43	13.43	2.00	71.50



Resumen:

LL= 73.50 %

25. COMPACTACIÓN AASHTO MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 30%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN PAVIMENTOS

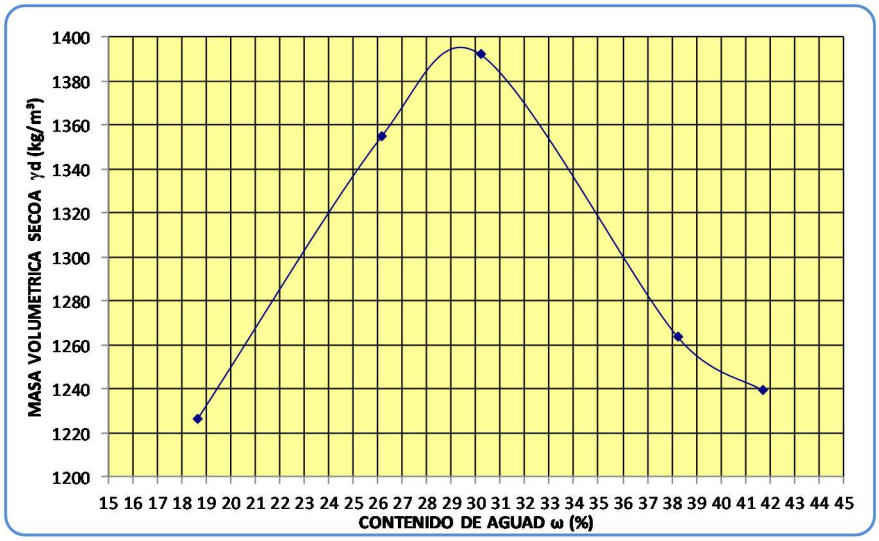
PRUEBA DE COMPACTACIÓN

Obra:	Proyecto de Intervención	**Fecha:**	11/06/2018
Localización:		**Prueba:**	Mezcla arcilla con residuo 30%
Tramo:		**Operador:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Subtramo:		**Calculó:**	Ing. Eliseo Uriarte Vargas
Origen:		**Revisó:**	Ing. Elvia Judith Rios Flores
Sondeo No.:		**Método:**	AASHTO Estándar
Muestra No.:		**Variante:**	B
Descripción:		**No. de capas:**	3
		No. de golpes por capa:	56
		Masa en g:	7,500

	ESPÉCIMEN NÚMERO	1	2	3	4	5	6
Contenido de agua	Cápsula número	LL-78	B-4	H-3	H-2	SA-10	
	Peso cápsula + Suelo húmedo, (gr)	85.40	91.10	107.40	99.60	82.40	
	Peso cápsula + Suelo seco, (gr)	70.30	75.50	91.30	86.20	74.70	
	Peso del agua, (gr)	15.10	15.60	16.10	13.40	7.70	
	Peso cápsula, (gr)	34.10	34.70	38.00	35.00	33.50	
	Peso suelo seco Ws, (gr)	36.20	40.80	53.30	51.20	41.20	
	Contenido de agua ω, (%)	41.71	38.24	30.21	26.17	18.69	
Masa Volumétrica	Peso del molde + Suelo húmedo Wi, (gr)	6500.00	6480.00	6620.00	6400.00	5860.00	
	Peso del molde Wt, (gr)	2760.00	2760.00	2760.00	2760.00	2760.00	
	Peso suelo húmedo Wm, (gr)	3740.00	3720.00	3860.00	3640.00	3100.00	
	Volumen del molde V, (cm^3)	2129.34	2129.34	2129.34	2129.34	2129.34	
	Masa volumétrica húmeda γ_m, (kg/m^3)	1756.410	1747.018	1812.766	1709.447	1455.848	
	Masa volumétrica seca γ_d, (kg/m^3)	1239.416	1263.800	1392.225	1354.856	1226.604	

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100+\omega(\%)} \times 100$$



26. CBR Y EXPANSIÓN MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 30%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCIÓN GEOTECNIA

OBRA: PROYECTO DE INTERVENCIÓN **FECHA:** 18-jun-18
PROCEDENCIA:
DESCRIPCIÓN: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 30%

OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
CALCULÓ: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES

COMPACTACIÓN

MOLDE	1	2	3
DIÁMETRO DEL MOLDE D_m (mm)	151.53	150.56	151.45
MASA DEL MOLDE W_m (g)	4480	4620	4390
ALTURA TOTAL DEL MOLDE H_m (mm)	178.22	178.19	178.26
ALTURA DEL DISCO ESPACIADOR H_{de} (mm)	51.10	51.10	51.10
ALTURA DEL MATERIAL COMPACTADO (mm)	127.13	127.10	127.16
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTADO W_{m+el} (g)	8630	8550	7900
MASA DEL MATERIAL COMPACTADO (g)	4150	3930	3510
MASA MOLDE + MATERIAL SATURADO W_{m+ef} (g)	8720	8750	8200

CONTENIDO DE AGUA

MOLDE	1	2	3
No. DE RECIPIENTE	SS-10	H-100	SS-2
MASA DEL RECIPIENTE (g)	34.3	35.0	34.5
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SATURADO (g)	120.8	85.2	84.5
MASA DEL RECIPIENTE + SUELO SECO (g)	99.4	71.6	69.9
CONTENIDO DE AGUA SATURADO ω_{sat} (%)	32.9	37.2	41.2
MASA VOLUMÉTRICA SECA γ_d (kg/m³)	1391.88	1330.73	1177.52
CONTENIDO DE AGUA DE COMPACTACIÓN ω_c (%)	30.1	30.5	30.1
PROM. CONTENIDO AGUA COMPACTACIÓN ωc (%)	30.2		

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

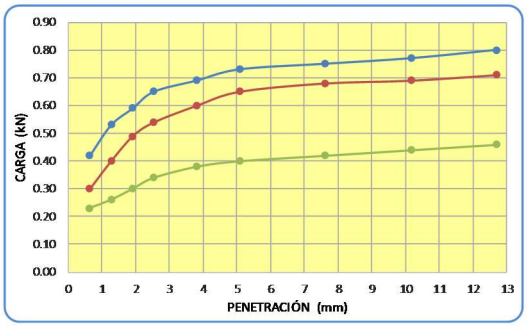
			Molde	1	2	3
0.64	mm	(0:30")	KN	0.42	0.30	0.23
1.27	mm	(1:00')	KN	0.53	0.40	0.26
1.91	mm	(1:30')	KN	0.59	0.49	0.30
2.54	mm	(2:00')	KN	0.65	0.54	0.34
3.81	mm	(3:00')	KN	0.69	0.60	0.38
5.08	mm	(4:00')	KN	0.73	0.65	0.40
7.62	mm	(6:00')	KN	0.75	0.68	0.42
10.16	mm	(8:00')	KN	0.77	0.69	0.44
12.7	mm	(10:00')	KN	0.80	0.71	0.46

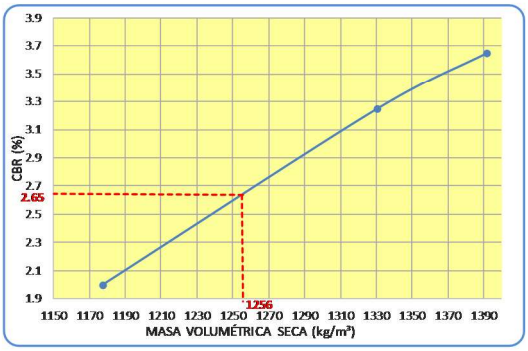
$$CBR_{2.54} = \frac{100 * C_{2.54}}{13.34}$$ 4.9 4.0 2.5

$$CBR_{5.08} = \frac{100 * C_{5.08}}{20.01}$$ 3.6 3.2 2.0

EXPANSIÓN

MOLDE	1	2	3
Lectura inicial de expanción h_0 (mm)	67.78	67.18	66.70
Lectura final de expanción hf (mm)	59.14	61.43	62.69
Diferencia Δh (mm)	8.64	5.75	4.01
Expansión Exp (%) = $\frac{100 * \Delta h}{H_m - H_{de}}$	6.80	4.52	3.15
Expansión promedio, Exp (%) =	4.82		





MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN UN 50%

27. LÍMITES DE CONSISTENCIA MEZCLA ARCILLA RESIDUO EN 50%

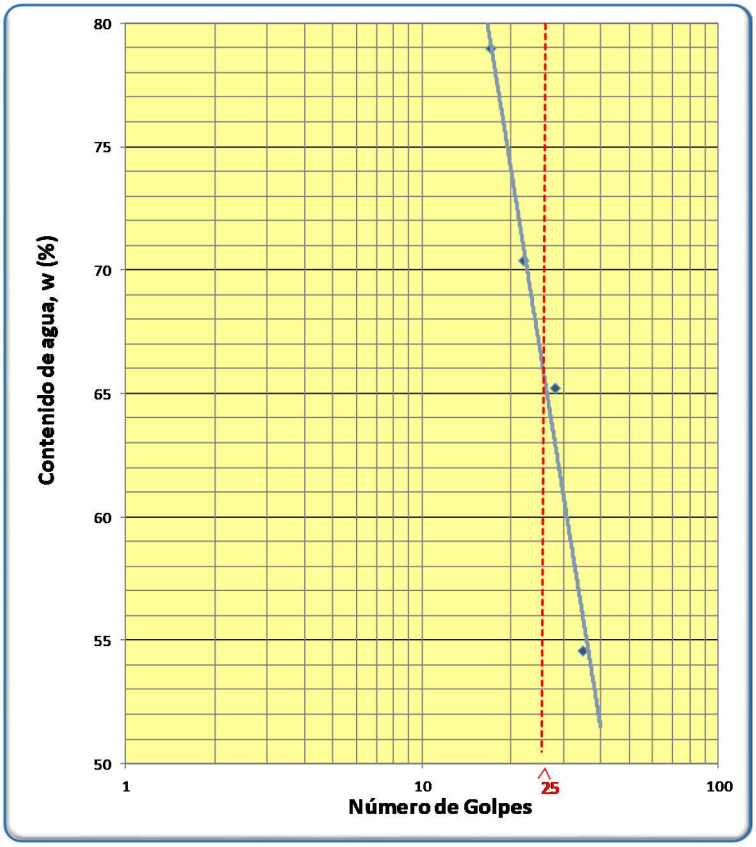
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO
SECCION MECANICA DE SUELOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: PROYECTO DE INTERVENCIÓN
OBRA:
LOCALIZACIÓN:
FECHA: 30/05/2018
OPERADOR: ING. ELISEO URIARTE VARGAS
REVISÓ: ING. ELVIA JUDITH RIOS FLORES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: MEZCLA DE ARCILLA CON RESIDUO EN UN 50%

SONDEO: REPRESENTATIVO
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:

	LÍMITE LÍQUIDO						
Capsula	# Golpes	Wc+sh (gr)	Wc+Ss (gr)	W agua (gr)	W Capsula (gr)	W Ss (gr)	w (%)
11	17	14.00	13.25	0.75	12.30	0.95	78.95
R-1	22	15.10	14.15	0.95	12.80	1.35	70.37
B-3	28	14.10	13.35	0.75	12.20	1.15	65.22
R7	35	13.70	13.10	0.60	12.00	1.10	54.55



Resumen:

LL= 66.00 %

28. COSTO HORARIO DE PULVERIZACIÓN DE MATERIAL

Catálogo de equipo

Descripción

Clave:
TRACTOR
Tractor new holland 76010s fwd con arado agricola de 4 discos

Unidad: hr
Fecha: 10/12/2017

Datos Generales

Vad = Valor de adquisición =	739000.00 $	Pnom = Potencia nominal =	105.00000 hp
Pn = Valor de llantas =	36370.00 $	Tipo de combustible:	Diesel
Pa = Valor de piezas especiales =	58000.00 $	Pc = Precio del combustible =	21.69 $ litro
Vm = Valor neto = Vad-Pn-Pa =	644630.00 $		
r = Factor de rescate =	0.10000		
Vr = Valor de rescate = Vm*r =	64463.00 $		
i = Tasa de interés =	8.34 % anual		
s = Prima de seguros =	3.00 % anual	Pac = Precio del aceite =	44.74 $ litro
Ko = Factor de mantenimiento =	0.200000	Vn = Vida económica de llantas =	4000.00 hrs
Ve = Vida económica =	1600.00 hrs		
Va = Vida económica de piezas especiales =	1000.00 hrs	Gh = Cantidad de combustible = Fo*Pnom*Coo =	12.71760 lts/hr
Hea = Tiempo trabajado por año =	800.00 hrs	Ah = Cantidad de aceite = Fo*Pnom*Fl =	0.90800 lts/hr

Clave	Fórmula	Operaciones	Total
Cargos Fijos			
Depreciación	D=(Vm-Vr)/Ve =	(644630.00 - 64463.00) / 1600.00 =	$362.60
Inversión	Im=((Vm+Vr)/2Hea)i =	[(644630.00 + 64463.00) / 2 * 800.00)]0.083438 =	$36.96
Seguros	Sm=((Vm+Vr)/2Hea)s =	[(644630.00 + 64463.00) / 2 * 800.00)]0.030000 =	$13.30
Mantenimiento	M=Ko*D =	0.20000 * 362.60000 =	$72.52
		Total de Cargos Fijos	**$485.38**
Consumos			
LUBRICANTES	Lb = Ah*Pac =	0.90800*44.74 =	$40.62
PIEZAS ESPECIALES	P = 1/Va =	1/1000.00	$58.00
COMBUSTIBLES	Co = Gh*Pc=	12.71760*21.69 =	$275.84
LLANTAS	N = Pn/Vn =	36370.00/4000.00	$9.09
		Total de Consumos	**$383.55**
Operación			
Sn = Salario tabulado = $357.14			
Fsr = Factor de salario real = 1.66958			
Sr = Salario real de operación = Sn * Fsr = 596.27			
Ht = Horas efectivas por turno de trabajo = 6.40			
OPER	Po = Sr/Ht	596.27 / 6.40	$93.17
		Total de Operación	**$93.17**
		Costo Horario	**$962.10**

Explosión de recursos de presupuesto

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
Equipo					**Monto $:$19.24**
TRACTOR	Tractor new holland 76010s fwd con arado agricola de 4 discos	hr	0.02000	$962.10	$19.24
					Monto $:$19.24