Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Tecnología de la construcción

ESTABILIZACION DE SUELOS DEL PROYECTO “MEJORAMIENTO VIAL DE 350 ML DE CALLE EN EL BARRIO ANA MARIA”, EN EL MUNICIPIO DE ROSITA, REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN), 2021.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Jason Danilo Aguinaga Artola
Carnet: 2017-0036U

Tutor:

Ing. Bryan Jesús Chavarría González

26 de mayo de 2023
Managua, Nicaragua

Managua, Nicaragua
Viernes 26 de mayo 2023

M.Sc. Ing. MIGUEL ANTONIO FONSECA CHÁVEZ.
Decano Facultad de Tecnología de la construcción (FTC)
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)
Su despacho

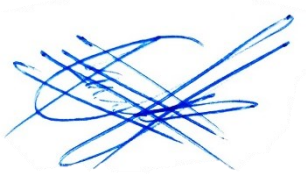
Estimado señor Fonseca:

El motivo de la presente es para darle a conocer que he revisado el trabajo monográfico titulado **"ESTABILIZACION DE SUELOS DEL PROYECTO "MEJORAMIENTO VIAL DE 350 ML DE CALLE EN EL BARRIO ANA MARIA", EN EL MUNICIPIO DE ROSITA, REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN), 2021.",** realizada por el bachiller **Jason Danilo Aguinaga Artola,** para optar al título de Ingeniero Civil.

Este trabajo monográfico fue desarrollado por el sustentante de forma independiente bajo mi tutoría y cumple con todos los requisitos para que pueda ser presentada y defendida ante el honorable jurado que sea designado.

Sin más a que hacer referencia, me despido.

Atentamente;



Ing. Bryan Jesús Chavarría González
Ingeniero residente
BJ Chavarría construcciones

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.072
Managua, 07 Junio del 2022

Bachiller:
JASON DANILO AGUINAGA ARTOLA
Estimado Bachiller:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRAFICO**, titulado: **"ESTABILIZACION DE SUELOS DEL PROYECTO "MEJORAMIENTO VIAL DE 350 ML DE CALLE EN EL BARRIO ANA MARIA", EN EL MUNICIPIO DE ROSITA, REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN), 2021".** Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, que la **Ing. Bryan Jesús Chavarría González.** Sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **07 Diciembre del 2022**

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultada de Tecnologia de la Construcción
DECANO
MANAGUA, NICARAGUA

M.Sc. Miguel Antonio Fonseca Chávez
Decano

CC: Protocolo
Tutor – Ing. Bryan Jesús Chavarría González.
Archivo*Consecutivo

Decanatura | FTC

DEC.FTC.REF No. 046
Managua, 21 de noviembre del 2022

Bachilleres
JASON DANILO AGUINAGA ARTOLA
Estimados Bachilleres:

En atención a su carta de solicitud de **AMPLIACION DEL TIEMPO DE ENTREGA,** para efectuar la pre-defensa de su trabajo de **Monografía** titulado: **"ESTABILIZACION DE SUELOS DEL PROYECTO "MEJORAMIENTO VIAL DE 350 ML DE CALLE EN EL BARRIO ANA MARIA", EN EL MUNICIPIO DE ROSITA, REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN), 2021".** Esta Decanatura le aprueba **3 MESES DE AMPLIACION,** considerando los problemas planteados en su comunicación.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el **7 de marzo del 2023.** Para la programación de su fecha de pre-defensa.

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción
DECANO
MANAGUA, NICARAGUA

M.Sc. Miguel Antonio Fonseca Chávez
Decano

CC. Prorroga
Tutor – Ing. Bryan Jesús Chavarría González
Archivo-Consecutivo

Teléfono: (505) 8787 2944
Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.
miguel.fonseca@ftc.uni.edu.ni
www.ftc.uni.edu.ni

DEDICATORIA

Este documento está dedicado a la ciudad de Rosita, así como a todas las personas que hicieron posible la realización de este estudio a como son docentes, técnicos y a mis padres y hermanos por brindarme siempre su ayuda bajo toda adversidad. Por medio de este estudio se desea brindar una colaboración con la sociedad, mediante los conocimientos adquiridos en nuestros años de estudio, todo esto fue posible con la ayuda de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP).

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por qué; me concedió la vida, me brindó fortaleza para culminar mi carrera con éxito, a mi familia, por apoyarme incondicionalmente en mis estudios y en cada paso que doy, además, por ser mis mayores pilares, quienes siempre confían en que podre lograr cada proyecto que me proponga.

A mi tutor, el Ing. Bryan Jesús Chavarría González por aconsejarme y apoyarme durante todo este estudio monográfico, por brindarme su paciencia, sabiduría y sus amplios conocimientos para poder culminar con éxito esta etapa en mi vida.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo monográfico tiene como finalidad: determinar la dosificación optima de cemento para estabilizar los trecientos cincuenta metros que componen el tramo en estudio, ubicado en el barrio Ana María del municipio de Rosita.

El trabajo se desarrolla en seis capítulos, los cuales se abordarán de la siguiente manera:

CAPITULO I: Generalidades. Se describen aspectos básicos del proyecto tales como introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

CAPITULO II: Marco teórico. Se plantean los fundamentos teóricos que definen el estudio monográfico.

CAPITULO III: Estudio geotécnico. Describe las actividades ejecutadas en campo y en laboratorio, determinación de las propiedades físicas y mecánicas, clasificación y resultados de los materiales utilizados durante el estudio.

CAPITULO IV: Diseño de mezcla de suelo cemento. Aborda generalidades del uso de cemento como materia estabilizante, parámetros de diseño, proceso de fabricación de especímenes de suelo cemento compactados, determinación de la resistencia a la compresión y selección de la dosificación optima de cemento.

CAPITULO V: Conclusiones y recomendaciones. Se plantean parámetros que deben ser tomados en cuenta para la construcción del tramo en estudio.

CAPITULO VI: Anexos. Se complementa toda la información utilizada en el desarrollo del trabajo monográfico mediante ilustraciones, fotos, tablas y gráficos.

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES..
1.1. Introducción 1
1.2. Antecedentes 3
1.3. Justificación 4
1.4. Objetivos 5
1.4.1. Objetivo general: 5
1.4.2. Objetivos específicos: 5
1.5. Marco teórico 6
1.5.1. Suelos 6
1.5.1.1. Origen y Formación de los suelos 6
1.5.1.2. Suelos granulares 7
1.5.1.3. Suelos cohesivos 7
1.5.1.4. Suelos orgánicos 8
1.5.1.5. Muestreo de un Suelo 8
1.5.1.6. Clasificación de suelos (Método AASHTO) 10
1.5.1.7. Las propiedades de los suelos y su determinación 12
1.5.2. Ensayos de laboratorio 13
1.5.2.1. Análisis granulométrico 13
1.5.2.2. Estados de consistencia 14
1.5.2.3. Límites de Atterberg 15
1.5.2.4. Compacidad del suelo 16
1.5.2.5. Ensayo Proctor 18
1.5.3. Tipología 19
1.5.3.1. Explanada mejorada 20
1.5.3.2. Subbase 20
1.5.3.3. Base 21
1.5.4. Estabilización de suelos y capas granulares 21
1.5.4.1. Estabilización mecánica 22
1.5.4.2. Estabilización Física 22
1.5.4.3. Estabilización Química 23
1.6. Diseño metodológico 26
1.6.1. Tipo de estudio 26
1.6.2. Método de investigación 26
1.6.2.1. Muestreo del suelo 26
1.6.2.2. Ensayes de laboratorio 27

1.6.2.3. Diseño de suelo cemento 28
1.6.2.4. Ensayes de laboratorio aplicados a las muestras de suelo cemento 28
CAPITULO II: ESTUDIO GEOTÉCNICO
2.1. Generalidades 29
2.1.1. Localización del proyecto 29
2.1.1.1. Macro localización 29
2.1.1.2. Micro localización 30
2.1.2. Situación actual del camino 31
2.1.2.1. Características geotécnicas 31
2.1.2.2. Problemas geotécnicos 33
2.2. Trabajos de campo 33
2.2.1. Sondeos manuales sobre la línea 33
2.2.2. Muestreo en el banco de materiales 34
2.3. Trabajos de laboratorio 35
2.3.1. Resultados de los ensayes aplicados al material de la línea 36
2.3.1.1. Análisis granulométrico 36
2.3.1.2. Límites de consistencia de los suelos 37
2.3.1.3. Clasificación H.R.B (Higway Reserch Board) 37
2.3.1.4. Compactación de suelos, método Proctor estándar 37
2.3.1.5. Relación soporte de california (CBR) 38
2.3.1.6. Resumen de resultados 39
2.3.2. Resultados de los ensayes aplicados al material de banco 39
2.3.2.1. Análisis granulométrico 39
2.3.2.2. Límites de consistencia de los suelos 40
2.3.2.3. Clasificación H.R.B (Higway Reserch Board) 40
2.3.2.4. Compactación de suelos, método Proctor estándar 40
2.3.2.5. Relación soporte de california (CBR) 41
2.3.2.6. Ensayo a la compresión simple 42
2.3.2.7. Resumen de resultados 42
CAPITULO III: DISEÑO DE MEZCLA SUELO CEMENTO.
3.1. Generalidades 43
3.2. Dosificación 44
3.3. Fabricación de especímenes 45
3.3.1. Procedimiento 45
3.4. Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactados 51
3.5. Análisis y comparación de resultados 54
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones 56
4.2. Recomendaciones 57
BIBLIOGRAFIA..
Bibliografía 58
ANEXOS.
Anexo A: ENSAYES DE LABORATORIO 59
Anexo B: FORMATOS DE PRESENTACION DE RESULTADOS 67

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

Rosita es uno de los municipios más desarrollados de la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte, limita al norte con el municipio de Waspán, al sur con el municipio de Prinzapolka, al este con los municipios de Puerto Cabezas y Prinzapolka y al oeste con los municipios de Siuna y Bonanza. El clima del municipio se clasifica como subtropical muy húmedo. Las precipitaciones oscilan entre los 1900 y 3290 mm anualmente.

La actividad económica predominante corresponde al sector minero, donde se extraen principalmente materiales como: el oro, cobre, hierro, entre otros, además, se generan ingresos mediante la agricultura, el comercio y la ganadería, pero en menor intensidad en comparación a otras zonas del país. Estas actividades generan un crecimiento en el flujo vehicular, que debe ser considerado tomando en cuenta el crecimiento poblacional.

En esta ciudad solo las vías céntricas y algunas vías secundarias se encuentran revestidas de concreto hidráulico, no obstante, dichas carreteras se encuentran en pésimo estado debido a que el mantenimiento que se les brinda es prácticamente nulo. La municipalidad en busca de dar respuesta a esta problemática comenzó a implementar proyectos de mejoramiento vial por etapas, los cuales consisten en la construcción de calles adoquinadas en los barrios céntricos de la ciudad, tal es el caso del barrio Ana María en el cual actualmente se empieza a implementar este proyecto.

El tramo que será mejorado actualmente se encuentra en muy mal estado pese a estar revestido de concreto hidráulico y apenas contar con 10 años de utilidad desde su construcción, lo cual llevo a la municipalidad a remover toda la carpeta existente e implementar el uso de una base estabilizada para el adoquinado.

Mediante la realización de los sondeos exploratorios a lo largo del tramo en estudio se pretende conocer la naturaleza del suelo, los tipos de suelos presentes, extraer muestras alteradas y detectar la cantidad de humedad presente en el terreno, además, se realizó un estudio geotécnico con la finalidad de conocer los componentes que caracterizan al suelo, sus propiedades físicas y mecánicas, clasificación y el posible uso que se le puede dar en la ejecución del proyecto.

Por todo lo antes mencionado, este estudio se realiza con el objetivo de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a través de una dosificación optima de cemento, añadiéndole mayor resistencia y durabilidad a la capa base.

1.2. Antecedentes

Las primeras calles que conformaban la infraestructura vial del barrio Ana María del municipio de Rosita, estaban mayormente compuestas por un material arcilloso con alta plasticidad, el cual era incapaz de soportar el tránsito de la zona, ya que, en época lluviosa este tomaba una consistencia lodosa y provocaba atascamientos en la zona, lo que imposibilitaba la circulación de vehículos y transeúntes.

Posteriormente se ejecutó un mejoramiento vial, lo cual consistía en revestir los caminos con Concreto hidráulico, el cual se esperaba que tuviera un mejor comportamiento y solucionara la problemática en el barrio, pero no fue así, en cierto periodo de tiempo este comenzó a agrietarse y desgastarse hasta formar agujeros significativos en su superficie, dificultando nuevamente el tránsito en el lugar, todo esto debido a la ausencia de un estudio geotécnico que ayudara a determinar el comportamiento del material con el que se estaba trabajando.

La ampliación de zonas de vivienda en el casco urbano y el incremento en el sector minero, agropecuario y comercio tuvo como consecuencia un aumento considerable en el flujo vehicular y a su vez en el incremento de vehículos de transporte pesado que transitan por la zona, a causa de todo esto surge la necesidad de mejorar los caminos por la problemática debido al clima subtropical muy húmedo lo que genera averías y retrasos en las vías de acceso.

Para lograr esta vez que el mejoramiento vial tenga una vida útil más prolongada de debe estabilizar el suelo que se usara en el proyecto, para ello existen diferentes alternativas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo, una de ellas es el uso de cemento, el cual al mezclarse con el terreno natural y una cierta cantidad de agua da como resultado un material con mayor resistencia a la compresión y a su vez mas durable.

1.3. Justificación

Por razones medioambientales y económicas, en las obras de infraestructura vial (carreteras, caminos, calles, puentes, etc.) es recomendable hacer uso de la mayor cantidad posible de suelos presentes en la obra tanto en los rellenos de terraplenes como en la base y la subbase, donde las exigencias de calidad son mayores ya que están más cerca de las cargas de tráfico.

No obstante, el suelo existente en el tramo en estudio no presenta las propiedades físicas y mecánicas adecuadas, para estos casos actualmente se dispone de numerosos productos para la estabilización del suelo, tales como el cemento, el cual se mezcla con el material que será usado con el objetivo de reducir su sensibilidad al agua y aumentar su resistencia a la deformación bajo las cargas ejercidas sobre dicho material in situ.

Además, el cemento garantiza resistencia al agua, mejora la capacidad soporte, el desempeño estructural del suelo por periodos prolongados de tiempo, inclusive reduce los costos de inversión y mantenimiento.

De aquí nace la necesidad de implementar un estudio geotécnico para la estabilización de suelos, el cual determinara las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que podrían ser utilizados en el proyecto, ya que, al momento de estabilizarlos se debe garantizar que la mezcla cumpla con la resistencia mínima a la compresión y el grado de compactación adecuado.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

Ejecutar la estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN).

1.4.2. Objetivos específicos:

- Realizar la recolección de muestras del suelo de la vía en estudio y del banco de materiales municipal.

- Analizar las muestras de suelo recolectadas en campo y determinar las propiedades físico mecánicas mediante ensayes de laboratorio normados por la Sociedad Americana de Ensaye de Materiales (ASTM).

- Realizar mezclas de suelo-cemento con tres distintas dosificaciones de cemento y determinar su resistencia a la compresión mediante ensayes de laboratorio.

- Analizar los resultados de los ensayes realizados a las mezclas de suelo cemento para identificar y seleccionar su proporción optima.

- Evaluar y comparar el comportamiento del suelo cemento y el material de banco mediante los resultados obtenidos de los ensayes aplicados.

1.5. Marco teórico

Mediante el presente capitulo se pretende plantear los parámetros generales que se ven íntimamente relacionados con el proceso de estudio, con la finalidad de conocer más a fondo los conceptos básicos, características, ensayes de laboratorio y el proceso de estabilización que será utilizado en el desarrollo del trabajo monográfico.

1.5.1. Suelos

Tradicionalmente, el suelo ha sido definido como un “agregado de partículas minerales, a lo sumo parcialmente cementadas”.

“Suelo” es un término del que hacen uso diferentes profesantes. La interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses. Para el Agrónomo, por ejemplo, la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal, siendo esta interpretación demasiado restringida para el Ingeniero. Para el Geólogo es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie; para los fines de esta obra, la palabra Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. (Badillo & Rodriguez, 2005)

1.5.1.1. Origen y Formación de los suelos

Los suelos provienen de la alteración (tanto física como química) de las rocas más superficiales de la corteza terrestre. Este proceso, llamado meteorización, favorece el transporte de los materiales alterados que se depositarán posteriormente formando alterita, a partir de la cual y mediante diversos procesos se consolidará el suelo propiamente dicho. (Bañón & Beviá, 2000)

Aunque posteriormente se establecerán diversas clasificaciones específicas, pueden diferenciarse en una primera aproximación, diversos tipos de suelo en función de la naturaleza de la roca madre y del tamaño de las partículas que lo componen.

1.5.1.2. Suelos granulares

Este tipo de suelos está formado por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas. Su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física: lajamiento, termoclastia, hialoclastita o fenómenos de hidratación física.

Las características principales de este tipo de suelos son su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad, lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas. Esta capacidad de drenaje es proporcional al tamaño de las partículas o, dicho de otro modo, al volumen de huecos o porosidad del suelo.

Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos: el de las gravas y el de las arenas. El límite entre ambos grupos viene dado por su granulometría, considerándose arena la fracción de suelo de tamaño inferior a 2 mm. Dentro de esta clasificación pueden establecerse otras subdivisiones.

1.5.1.3. Suelos cohesivos

A diferencia de los anteriores, esta categoría de suelos se caracteriza por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (inferior a 0.08 mm.), lo que les confiere unas propiedades de superficie ciertamente importantes. Esto se debe a que la superficie específica (relación entre la superficie y el volumen de un cuerpo) de dichas partículas es más que considerable.

La cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos; se define como la fuerza Inter particular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando este no esté saturado. La cohesión es importante desde el punto

de vista de la estabilidad de taludes, ya que aumenta la resistencia de un suelo frente a esfuerzos cortantes o de cizalla.

Dentro de los suelos cohesivos también puede establecerse una subdivisión en dos grandes grupos: los limos (de origen físico) formados por partículas de grano muy fino (entre 0.02 y 0.002 mm) y las arcillas, compuestas por un agregado de partículas microscópicas procedentes de la meteorización química de las rocas.

1.5.1.4. Suelos orgánicos

Dentro de esta categoría se engloban aquellos suelos formados por la descomposición de restos de materia orgánica de origen animal o vegetal (predominando esta última) y que generalmente cubren los primeros metros de la superficie.

Se caracterizan por su baja capacidad portante, alta compresibilidad y mala tolerancia del agua, a lo que debe unirse la existencia de procesos orgánicos que pueden reducir sus propiedades resistentes. Este tipo de suelos es nefasto para la ubicación de cualquier obra de infraestructura, por lo que deben eliminarse mediante operaciones previas de desbroce.

1.5.1.5. Muestreo de un Suelo

En la realización de un proyecto civil se necesita conocer previamente las propiedades y condiciones del suelo. El entendimiento de estas propiedades ayuda a conocer los posibles problemas o situaciones futuras, de esta manera los diseños o propuestas de soluciones seguirán las condiciones de seguridad y economía de la obra. Para lograr la obtención de estos datos se inicia con un muestreo.

El muestreo es la obtención del material en el área donde se desea realizar el proyecto. Se realiza una visita técnica al sitio y se explora, se han desarrollado muchas técnicas, sin embargo, dependiendo de las condiciones, de la información requerida y de los

ensayos de laboratorio, se determinará el método de exploración y forma de muestreo que convenga realizar.

Métodos de exploración

- **Pozo a Cielo Abierto:** Se realiza una excavación con dimensiones suficientes para que un técnico pueda descender en ella y examinar los diferentes estratos que se presentan en su estado natural. No se puede llevar a grandes profundidades, se puede tomar muestras alteradas y/o inalteradas, la principal dificultad es la presencia del nivel freático.

- **Sondeos Manuales**: Realizadas comúnmente en obras horizontales, se realiza excavaciones de pequeña sección en planta y generalmente a profundidad máxima de 1.5 m. las muestras obtenidas son alteradas.

- **Ensayes de Penetración Estándar (SPT)**: Consiste en hacer penetrar a golpes, con un martinete, el penetrómetro o cuchara partida de Terzaghi, registrando el número de golpes necesarios para logrará una penetración de 30.5 cm (1 pie), proporciona muestras alteradas. ASTM D1586.

- **Método Rotativos en Roca**: Si el área en estudio alcanza una capa de roca más o menos firme, y no se puede seguir penetrando, se requiere al empleo de maquinaria de perforación, rotación con broca de diamante o de tungsteno. Las velocidades de rotación son variables, de acuerdo con el tipo de roca a perforar. ASTM D 2113.

b) Tipos de Muestras

- **Muestra Representativa**: La muestra representativa es aquella fracción de suelo o roca que es capaz de representar todo un conjunto o estrato determinado, no solo en su apariencia visual sino en sus propiedades físico-mecánicas.

- **Muestra alterada**: Son aquellas en las que no se hace ningún esfuerzo para conservar la estructura natural y condiciones del suelo. Los aditamentos con características para la recuperación de estos suelos son los siguientes: muestreadores de tubo sencillo, cucharas tipo Terzaghi (cuchara partida), excavaciones en forma de calicatas o pozos a cielo abierto, etc.

- **Muestras Inalteradas**: Las muestras inalteradas son las que se obtienen tratando de conservar la estructura natural del suelo y cuyas condiciones, fundamentalmente la densidad natural y la humedad natural, han sufrido cambios mínimos, despreciables en comparación a su estado in situ.

1.5.1.6. Clasificación de suelos (Método AASHTO)

Una adecuada y rigurosa clasificación permite al ingeniero de carreteras tener una primera idea acerca del comportamiento que cabe esperar de un suelo como cimiento del firme, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente, suele ser suficiente conocer la granulometría y plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico. Además, facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, dado su carácter universal. (Bañón & Beviá, 2000)

La clasificación de suelo por el Método de AASHTO (M 145). Este método clasifica a los úselos de acuerdo a su granulometría, limite liquido e Índice de Plasticidad en siete grupos de A-2 a A-7. Si el suelo pasa el tamiz No. 200 en un porcentaje menor al 35%, pertenece a los Grupos A-1, A-2, A-3 y los subgrupos que corresponden, en cambio los suelos limo-arcillosos que pasa más del 35% de material, constituye a los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 y los subgrupos correspondientes.

Los índices de grupo de los materiales granulares están comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a suelos limosos entre 8 y 12, y los correspondientes a suelos arcillosos entre 11 y 20 o un número mayor.

El índice de grupo debe ser escrito entre paréntesis, su valor puede ser determinado mediante la fórmula siguiente:

(Ecuación 1)

donde: F = Porcentaje que pasa el tamiz No. 200
LL = Límite Líquido
IP = Índice de Plasticidad

Figura 1: Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Granular)

Clasificación general	**Material Granular (35% o menos del total pasa No.200)**						
Grupo de clasificación	A -1		A - 3	A – 2			
	A - 1 - a	A – 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices							
(porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la							
fracción que pasa No.40							
Limite liquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de	Fragmentos pétreos,		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
materiales que consta	grava, y arena						
Valoración general	Excelente a bueno						
del subgrupo							

Fuente: Principios de la Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das,1998

Figura 2: Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Limo-Arcilloso)

Clasificación general	Material limo- arcilloso (más del 35% del total pasa No.200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 (a) A-7-6 (b)
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción que pasa No. 40				
Limite liquido	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Valoración general del subgrupo	Regular a pobre			
(a) Para A-7-5, IP < LL - 30				
(b) Para A-7-6, IP > LL - 30				

Fuente: Principios de la Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das,1998

1.5.1.7. Las propiedades de los suelos y su determinación

Conocidos los principales tipos de suelos existentes, el siguiente paso es establecer una serie de procedimientos científicos que permitan caracterizarlos en función de diferentes propiedades físicas, químicas o mecánicas.

Los ensayos que definen las principales propiedades de los suelos en carreteras son: análisis granulométrico, límites de Atterberg, equivalente de arena, Proctor Normal y Modificado.

1.5.2. Ensayos de laboratorio

1.5.2.1. Análisis granulométrico

La finalidad de este ensayo no es otra que determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes en el mismo o, dicho de otro modo, su granulometría.
El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciamiento uniforme entre hilos denominado abertura o luz de malla, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar.

Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelo seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz.

Para determinar la fracción fina de suelo (limos y arcillas) no es posible efectuar el tamizado, por lo que se empleará el método de sedimentación (densímetro) descrito en la correspondiente norma.

Una vez realizado el proceso de tamizado y sedimentación, se procede a pesar las cantidades retenidas en cada uno de los tamices, construyéndose una gráfica semi logarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida (o el que pasa) para cada abertura de tamiz.

Como aplicación directa de este ensayo, puede establecerse una clasificación genérica de suelos atendiendo a su granulometría:

1.5.2.2. Estados de consistencia

El comportamiento de un suelo está muy influenciado por la presencia de agua en este. Este hecho se acentúa cuanto menor es el tamaño de las partículas que componen dicho suelo, siendo especialmente relevante en aquéllos donde predomine el componente arcilloso, ya que en ellos los fenómenos de interacción superficial se imponen a los de tipo gravitatorio. (Bañón & Beviá, 2000)

Pueden darse los siguientes limites en función de su grado de humedad:

- Líquido: La presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción Inter particular que mantenían unido al suelo (la cohesión) y lo convierte en una papilla, un líquido viscoso sin capacidad resistente.

- Plástico: El suelo es fácilmente moldeable, presentando grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico, por lo que no recupera su estado inicial una vez cesado el esfuerzo. Mecánicamente no es apto para resistir cargas adicionales.

- Semisólido: El suelo deja de ser moldeable, pues se quiebra y resquebraja antes de cambiar de forma. No obstante, no es un sólido puro, ya que disminuye de volumen si continúa perdiendo agua. Su comportamiento mecánico es aceptable.

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

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

Los estados anteriores son fases generales por las que pasa el suelo al ir perdiendo su humedad e ir secándose, no existen criterios estrictos para distinguir sus fronteras.

Para realizar esta tarea, existen dos procedimientos de ensayo muy extendidos: los límites de Atterberg y el equivalente de arena, si bien el primero es más preciso que el segundo.

1.5.2.3. Límites de Atterberg

Los límites de consistencia anteriores fueron definidos por Atterberg, fue el primero en establecer la relación del grado de plasticidad del suelo con su contenido de humedad, con respecto al peso seco de la muestra, observando la variación de diferentes propiedades físicas y mecánicas.

Nos interesa especialmente la determinación de los estados líquido (límite líquido) y plástico (límite plástico), ya que éstos presentan una alta deformabilidad del suelo.

Atterberg encontró que la diferencia entre los valores de plasticidad, llamada índice de plasticidad estaba relacionada con la cantidad de arena añadida, por lo que es sugerido su uso por la fácil determinación, en lugar de la arena como segundo parámetro.

El límite líquido se determina mediante el método de la cuchara de Casagrande. El ensayo está basado en la determinación de la cantidad de agua mínima que puede contener una pasta de suelo seco, para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que la malla #40 (0.42 mm). Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte fina del suelo (< malla #200), sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina. Para ello, se coloca sobre el mencionado artefacto y se acciona el mecanismo de éste, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco (realizado previamente con una espátula normalizada) en una longitud de 13 mm. El ensayo se dará por válido cuando se obtengan dos determinaciones, una de entre 15 y 25 golpes, y otra de entre 25 y 35. La humedad correspondiente al límite líquido será la

correspondiente a 25 golpes, y se determinará interpolando en una gráfica normalizada las dos determinaciones obtenidas experimentalmente.

El límite plástico se determina de una manera si cabe más rocambolesca: se define como la menor humedad de un suelo que permite realizar con él cilindros de 3 mm. De diámetro sin que se desmoronen, realizándose dos determinaciones y hallando la media. Este ensayo se realiza con material que pasa a través del tamiz N°40
aproximadamente de 250 ± 10grs.

A la diferencia entre ambos límites se denomina índice de plasticidad (IP), y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad.

1.5.2.4. Compacidad del suelo

La compacidad de un suelo es una propiedad importante en carreteras, al estar directamente relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de un firme; adquiere una importancia crucial en el caso de los terraplenes y todo tipo de relleno en general, en los que el suelo debe quedar lo más consolidado posible para evitar asentamientos.

a. Influencia de la humedad

La humedad juega un papel decisivo en la compacidad: un suelo seco necesita una determinada energía de compactación para vencer los rozamientos internos entre sus partículas, el mismo suelo estando ligeramente húmedo precisará un menor esfuerzo, ya que el agua se comporta como un agente lubricante formando una película alrededor de los granos y disminuyendo la fricción entre ellos.
Si seguimos añadiendo agua al suelo, llegará un momento en el que ésta haya ocupado la totalidad de los huecos del mismo.

Ahora se entiende que, para obtener una compacidad máxima, se requiere una humedad optima, para una misma energía de compactación:

b. Influencia de la energía de compactación

Estudiando la relación humedad-densidad para distintas energías de compactación. Notaremos que el punto de humedad optima varía en función de la energía que hayamos pasado a la muestra, es decir que, se puede obtener una humedad óptima menor cuanto mayor sea la energía de compactación empleada y para humedades mayores que la óptima, el aumento de densidad conseguido con un apisonado más enérgico es mucho menor que el obtenido con humedades bajas.

c. Influencia del tipo de suelo

La composición granulométrica ósea la tipología del suelo, determinara la forma de la curva de compactación. Podría decirse aquello de que “no hay dos suelos iguales”, aunque sí pueden englobarse en dos grandes grupos de comportamiento.

Así, los suelos granulares bien graduados y con bajo contenido en finos obtienen su densidad máxima para valores bajos de humedad. La compactación de este tipo de suelos se realiza desde la “rama seca” de la curva, humectándolos progresivamente hasta llegar al grado de humedad óptimo. Además, presentan una curva aguda, lo que indica su gran sensibilidad a la humedad de compactación.

Por el contrario, los suelos arcillosos, limosos o los formados por arenas de granulometría muy uniforme dan curvas tendidas, lo que indica la gran dificultad de compactación que presentan. Suelen compactarse por colapso desde la “rama húmeda”, saturando el suelo en agua para debilitar los enlaces Inter particulares.

1.5.2.5. Ensayo Proctor

La relación existente entre la densidad seca de un suelo (su grado de compacidad) y su contenido en agua es de gran utilidad en la compactación de suelos, su regulación se realiza mediante el Ensayo Proctor en sus dos variantes, Normal y Modificado.

Este ensayo, que toma el nombre de su creador (el ingeniero estadounidense R.R. Proctor), persigue la determinación de la humedad óptima de compactación de una muestra de suelo.

La diferencia entre las dos variantes existentes (Proctor Normal (PN) y Modificado (PM)) radica únicamente en la energía de compactación empleada, del orden de 4,5 veces superior en el segundo caso que en el primero. Esta diferencia puede explicarse fácilmente, ya que el Proctor modificado no es más que la lógica evolución del Normal, causada por la necesidad de emplear maquinaria de compactación más pesada dado el aumento de la carga por eje experimentado por los vehículos.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 3 tongadas consecutivas (5 en el caso del PM) una cantidad aproximada de 15 kg. De suelo (35 kg. Si se trata del PM) previamente tamizada y dividida por cuarteo en 6 partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (1.000 cm^3 para el PN y 2.320 cm^3 para el PM).

Para llevar a cabo el apisonado se emplea una maza también normalizada, de forma que su peso y altura de caída no varíen, lo que asegura una energía de compactación constante. La normativa estipula una cantidad de 26 golpes de maza por tongada en el caso del Proctor Normal y de 60 golpes en el caso del Modificado. Debe reseñarse que la maza empleada es distinta en uno y otro tipo de ensayo.

Se realizan de 4 a 6 determinaciones con diferente grado de humedad, construyéndose la curva humedad-densidad seca estudiada en este apartado.

a. Resistencia del suelo

El comportamiento mecánico del suelo es sin duda el factor más importante, los ensayos van encaminados a conseguir la mayor estabilidad mecánica posible, de forma que las cargas se transmitan uniforme y progresivamente, sin producirse asentamientos excesivos o incluso un colapso de fatales consecuencias. Así pues, surge la necesidad de caracterizar mecánicamente el suelo, para lo cual se emplean diferentes procedimientos de ensayo.

b. Capacidad portante

La capacidad portante de un suelo puede definirse como la carga que éste es capaz de soportar sin que se produzcan asientos excesivos.

El indicador más empleado en carreteras para determinar la capacidad portante de un suelo es el índice CBR (California Bearing Ratio). Este índice está calibrado empíricamente, es decir, se basa en determinaciones previamente realizadas en distintos tipos de suelos y que han sido convenientemente tabuladas y analizadas.

La determinación de este parámetro se realiza mediante el correspondiente ensayo normalizado, y que consiste en un procedimiento conjunto de hinchamiento y penetración.

1.5.3. Tipología

Distinguimos cuatro tipos de capas formadas por material granular: la explanada mejorada, la capa subbase, la capa base y las capas especiales. De las cuatro, las más comunes y empleadas en prácticamente todos los firmes son la base y la subbase; las capas especiales se emplean en determinadas circunstancias y la explanada mejorada está en desuso.

1.5.3.1. Explanada mejorada

Esta capa se emplea en carreteras para poder llegar a disponer de un cimiento de calidad para el firme con cualidades portantes y drenantes uniformes, sobre el cual puedan reposar las capas superiores del firme.

Al conseguir un cimiento de características uniformes, los espesores de las capas superiores pueden ser constantes, lo cual es muy conveniente desde el punto de vista constructivo, económico y de proyecto.

1.5.3.2. Subbase

Esta funciona como una capa de transición entre la subrasante y la base granular, impidiendo que el material fino de la base se contamine con partículas de la subrasante. Otra de las funciones que tiene la subbase es la de transmitir adecuadamente los esfuerzos que están impuestos por el tránsito hacia las capas subyacentes. Además de esto se puede decir que los materiales que componen esta capa son de mediana calidad y ayudan a disminuir los costos de todo el pavimento.

Las principales funciones asignadas a esta capa son:

a) Resistencia mecánica: Ha de soportar y repartir adecuadamente las cargas del tráfico sobre la explanada, de forma que ésta pueda tolerar las presiones recibidas sin deformarse excesivamente.
b) Economía: Al estar más alejada del plano de rodadura, sus características portantes no tienen por qué ser muy elevadas, por lo que pueden emplearse materiales de inferior calidad.
c) Drenaje: Debe impedir la ascensión capilar del agua procedente del cimiento a las capas superiores del firme, ya que afectaría de manera negativa a su comportamiento mecánico y durabilidad.

En cuanto al drenaje superficial, debe hacerse hincapié en la necesidad de una buena ejecución geométrica del mismo, dejando un resguardo hidráulico suficiente para impedir la inundación de la capa subbase. Asimismo, es conveniente dotar a ésta de una pendiente del 4% para facilitar la rápida evacuación de las aguas infiltradas.

Otras veces, los condicionantes del entorno nos obligan a ejecutar sistemas de drenaje profundo, consistentes generalmente en una zanja rellena por una capa de arenas o gravas de alta permeabilidad con un tubo poroso en su base (para permitir la entrada de agua por su parte superior) encargado de recoger y canalizar las aguas.

1.5.3.3. Base

Es la capa de material que se ubica debajo de la superficie de rodamiento y por encima de la capa de sub base, los materiales que la constituyen deben de ser de mejor calidad que los empleados en la capa inferior y su función es la de tener la resistencia estructural para soportar las cargas del tráfico transmitidas por la capa de rodadura. La capa de base debe tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones que se transmiten a ella de manera uniforme, no presentar cambios volumétricos perjudiciales a causa de la humedad y reducir los asentamientos que puedan producirse.

1.5.4. Estabilización de suelos y capas granulares

La finalidad de la estabilización de suelos es brindar una mayor estabilidad y resistencia a un material para posteriores construcciones civiles. Algunos métodos utilizados recientemente para dicho proceso se llevan a cabo mediante la adición de cemento, cal, arena y asfalto. (Toro, 2019)

Con la estabilización se pretende, en primer lugar, aumentar la resistencia mecánica, trabando las partículas de una forma más efectiva y asegurando que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos, consiguiendo una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica. Además, se produce un aumento en la durabilidad de dicha capa.

1.5.4.1. Estabilización mecánica

La estabilización mecánica es una técnica de mejora basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad y que cumpla las exigencias deseadas (Bañón & Beviá, 2000).

Las propiedades que se pretenden mejorar con esta estabilización son la plasticidad y la granulometría; la primera afecta la susceptibilidad del material al agua y su capacidad drenante; la segunda incide en su resistencia, trabajabilidad y compacidad.

La ejecución de una estabilización mecánica puede llevarse a cabo in situ; requiere una serie de operaciones, las cuales suelen ser las siguientes:

- Escarificación y pulverización (reducción a polvo) del suelo, si el procedimiento se realiza in situ, o pulverización únicamente si se realiza en central.
- Mezcla íntima y homogénea de los materiales, tanto en obra, empleando una grada de discos, como en central, empleando tolvas dosificadoras.
- Extensión y nivelación de la mezcla.
- Humectación y compactación de la misma hasta alcanzar la densidad mínima prescrita en la obra, generalmente el 95 o 100% del Proctor modificado.

1.5.4.2. Estabilización Física

Consiste en modificar las propiedades de los suelos mediante la intervención en algunas de sus propiedades para aportarle características estructurales nuevas. Entre los procedimientos físicos se encuentran el uso de geo-sintéticos, tales como los geotextiles, fabricados generalmente de fibras sintéticas como el poliéster o polipropileno; las geomallas, estructuras tridimensionales pero con la característica de ser mono o bi orientadas y fabricadas en polietileno de alta densidad; las geomembranas, láminas poliméricas impermeables fabricadas en cloruro de polivinilo (PVC), o polietileno de alta o baja densidad; el geo-compuesto, diseñado específicamente para estabilización de

suelos donde se requiere tanto refuerzo como separación de una base granular y un subsuelo muy fino, este se produce uniendo un geotextil no tejido a una geomalla, lo que permite una gran interacción con el suelo reforzado; y las geo-celdas, que son sistemas tridimensionales de confinamiento celular fabricadas en paneles de polietileno o polipropileno, muy resistentes para el confinamiento de cargas.

1.5.4.3. Estabilización Química

La estabilización química consiste en añadir al suelo otros materiales, o productos químicos, que modifican sus propiedades, ya sea por una reacción fisicoquímica, o mediante la creación de una matriz que aglomere las partículas del suelo.
La estabilización química se puede utilizar en todos los tipos de suelos para el mejoramiento de sus propiedades geotécnicas, cambiando las propiedades fisicoquímicas iniciales del suelo nativo con el objetivo de mitigar algunos problemas tales como la inestabilidad volumétrica o incrementar algunas de sus propiedades como la resistencia y durabilidad de los suelos tratados.

Este tipo de estabilización incluye la utilización de una amplia gama de materiales, entre los cuales el cemento y la cal han sido los más convencionales; sin embargo, otros productos como sales (cloruro de sodio, cloruro de calcio) y residuos o subproductos industriales (escoria de alto horno, cenizas volantes) también han sido considerados en la estabilización de suelos para construcción de carreteras. Adicionalmente, la combinación de varias materias primas adecuadamente seleccionadas puede permitir la sinergia de sus propiedades brindando un mejor comportamiento frente a la estabilización de un suelo. (Rivera, Aguirre, Mejia, & Orobio, 2020)

a) Estabilización con cemento (suelo cemento)

Esta técnica de estabilización es una de las más empleadas actualmente, y viene poniéndose en práctica desde que Amies la introdujo en el año 1.917 para tratar de evitar el fenómeno de bombeo de finos característico de los firmes rígidos. Al aglomerar este tipo de partículas se conseguía que el agua no las disolviera en su seno, evitando de este modo el descalzamiento y posterior rotura de las losas de hormigón.

Para fabricar una estabilización con cemento, denominada popularmente suelo cemento, se realiza una mezcla íntima del suelo previamente disgregado con cemento, agua y otros aditivos opcionales, seguida de una compactación y curado adecuados. En el caso de que la mezcla se vaya a emplear en capas de firme, dicha mezcla deberá realizarse en central, ya que sólo de este modo se garantiza una homogeneidad suficiente del producto final.

La proporción de cemento necesaria para obtener un material adecuado es muy variable, dependiendo del tipo de suelo que se desee estabilizar. Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares con finos de plasticidad reducida (grupos A-1, A-2 y A-3 de la clasificación AASHTO).

El contenido más apropiado de agua se determina mediante el ensayo Proctor modificado, teniendo en cuenta que cuanto mayor sea la densidad alcanzada, más alta será la resistencia del material. La adición de cemento al suelo modifica su plasticidad, así como su densidad máxima y humedad óptima, que varían ligeramente en un sentido o en otro, dependiendo del tipo de suelo. (Bañón & Beviá, 2000)

b) Propiedades

Con este tipo de estabilización se pretenden mejorar las siguientes propiedades de un suelo:

- Resistencia mecánica: La cementación aislada de las partículas rigidizan la estructura interna y confieren una mayor capacidad portante al suelo, llegándose a alcanzar resistencias a los 7 días de 20 a 50 kg/cm^2.
- Insensibilidad al agua: La trabazón producida por el cemento impide el lavado de finos, evitando fenómenos como el hinchamiento. Asimismo, aumenta la durabilidad del firme.
- Reducción de la plasticidad: Mejora considerable de las propiedades del suelo, aunque puede dotarlo de una rigidez excesiva en ciertos casos.

Se puede parafrasear; El Suelo Cemento es una técnica en que se aprovecha el material existente en las vías, el afirmado, y se mezcla con cemento. Luego se somete a un proceso de mezcla intensiva logrando su homogeneidad. Posteriormente es perfilado con una motoniveladora y se compacta para entrar a un proceso de hidratación del cemento, que se va endureciendo y va adquiriendo resistencia, para convertirse en una base durable para los pavimentos que se construyan a futuro. (Toro, 2019)

c) Empleo

El suelo-cemento se utiliza frecuentemente en caminos rurales sin pavimentar, en capas base y subbase de carreteras con tráfico medio y pesado, en arcenes y en ocasiones en la coronación de terraplenes donde interese conseguir una buena plataforma de trabajo en tiempo húmedo. En firmes rígidos se emplea con asiduidad dada su gran rigidez y para evitar el fenómeno del bombeo de finos.

1.6. Diseño metodológico

Los aspectos metodológicos que guiaran esta investigación con el fin de cumplir con los objetivos planteados son los siguientes:

1.6.1. Tipo de estudio

Exploratorio, ya que se construirá un marco teórico de referencia orientado al análisis basado en métodos existentes, en este caso los métodos para la estabilización de suelo con cemento.

1.6.2. Método de investigación

Teórico-Practico, debido a que se realizaran pruebas de laboratorio para determinar las principales características del suelo y su clasificación para las cuales será necesario efectuar el ensaye granulométrico y luego determinar su límite líquido, limite plástico con ayuda del aparato de Casa Grande, para luego calcular su índice de plasticidad, luego procederemos a determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima para cada método.

Para tal fin se seguirá la siguiente metodología:

1.6.2.1. Muestreo del suelo

- **En la vía**

Tabla 1: Exploración del subsuelo a lo largo del trazado de la vía

Tipo de camino	N° de sondeos por km	Distancia entre sondeos (m)	Profundidad (m)
Rural	4	250	1.2 a 1.5
Adoquinado	4	250	1.5
Asfalto o concreto hidráulico	10	100	1.5

Fuente: Elaboración propia, teniendo en cuenta el Manual de Estudios geotécnicos MTI. Octubre 2008

La calle será adoquinada por lo que se harán dos sondeos alternados de izquierda a derecha, con una separación de 250 metros y una profundidad de 1.5 metros.

- **En el banco de materiales local**

Se debe extraer muestras de suelo del único banco de materiales local, ubicado detrás del basurero municipal, dicho banco desde hace años está siendo explotado y es el que se utiliza actualmente como fuente de material para la construcción de vías en la zona.

1.6.2.2. Ensayes de laboratorio

Tabla 2: Ensayes de laboratorio aplicados al material del sitio

Tipo de ensaye	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis granulométrico de los suelos	T-88	D-422
Limite liquido de los suelos	T-89	D-423
Limite plástico e índice de plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Clasificación Higway Reserch Board, o clasificación AASHTO	M-145	D-3282
Compactación de suelos método Proctor Estándar	T-99	D-698
Valor relativo soporte CBR (California Bearing Ratio)	T-193	D-1883

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Ensayes de laboratorio aplicados al material de banco

Tipo de ensaye	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis granulométrico de los suelos	T-88	D-422
Limite liquido de los suelos	T-89	D-423
Limite plástico e índice de plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Clasificación Higway Reserch Board, o clasificación AASHTO	M-145	D-3282
Compactación de suelos método Proctor Estándar	T-99	D-698
Valor relativo soporte CBR (California Bearing Ratio)	T-193	D-1883

Fuente: Elaboración propia

1.6.2.3. Diseño de suelo cemento

Se fabricarán especímenes de suelo cemento para ser sometidos a la prueba de resistencia a la compresión no confinada de suelos a los 7 días.

Tabla 4: Proporciones de cemento

% de cemento	2		5		10	
N° de especímenes	1	2	3	4	5	6

Fuente: Elaboración propia

Después de someter cada espécimen a la prueba antes mencionada, se seleccionará como proporción optima a aquella que con la menor cantidad de cemento cumpla con la resistencia a la compresión mínima de 30 kg/cm^2, estipulada por la normativa NIC 2019.

1.6.2.4. Ensayes de laboratorio aplicados a las muestras de suelo cemento

Tabla 5: Ensayes de laboratorio de las muestras estabilizadas

Tipo de ensaye	**Designación**
	ASTM
Resistencia a la compresión no confinada	D-2166

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II: ESTUDIO GEOTÉCNICO

2.1. Generalidades

Toda obra de ingeniería civil hace uso del suelo como material de construcción, generalmente en proyectos de terracería, cimentaciones, taludes y rellenos en general, debido a esto el comportamiento funcional del suelo define en gran manera la estabilidad, funcionalidad y durabilidad de la estructura.

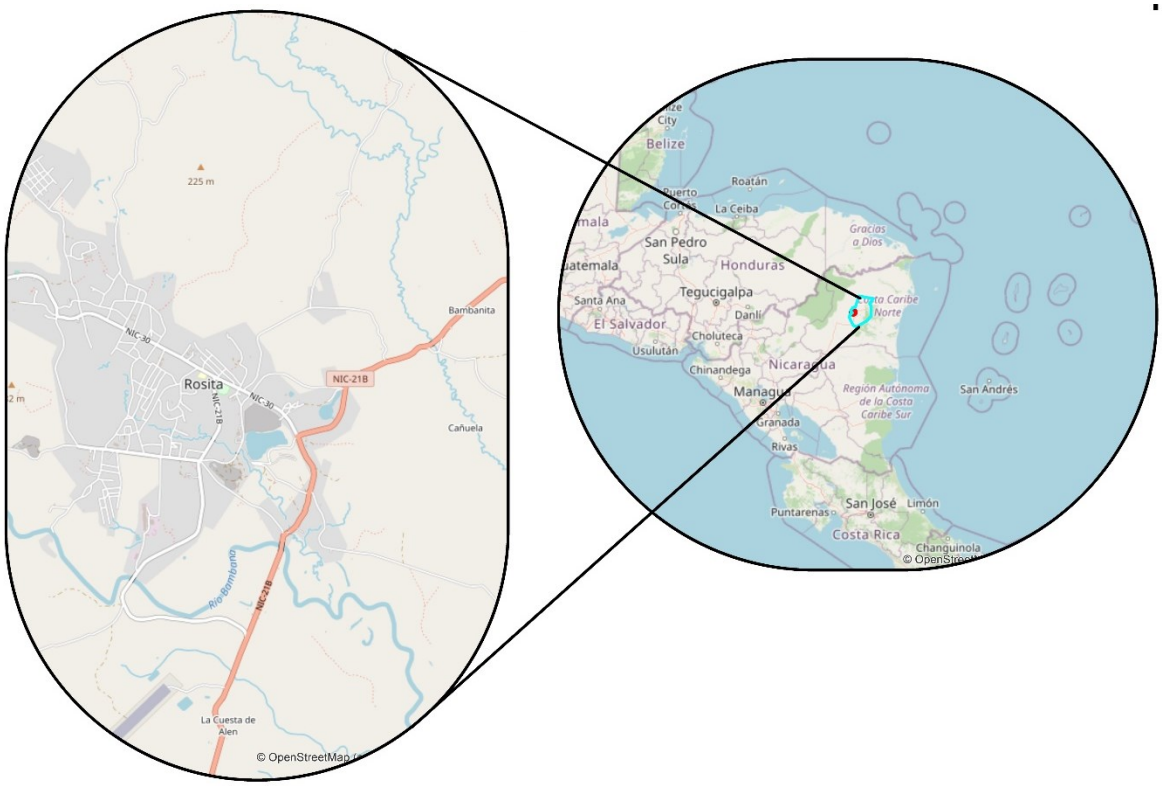
En la construcción de calles y carreteras se deben efectuar estudios de suelos para determinar parámetros suficientes que permitan definir las propiedades físico mecánicas del suelo, tales como: granulometría, límites de consistencia, Pesos volumétricos, humedad natural, Proctor, valor soporte (CBR). Además, determinar las características del material de banco que será utilizado para terracería, sub base y base.

2.1.1. Localización del proyecto

2.1.1.1. Macro localización

El proyecto en estudio para el mejoramiento vial geográficamente se encuentra localizado en el municipio de Rosita, que territorialmente pertenece a la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN), ubicado a 379km del departamento de Managua.

Figura 3: Macro localización del proyecto

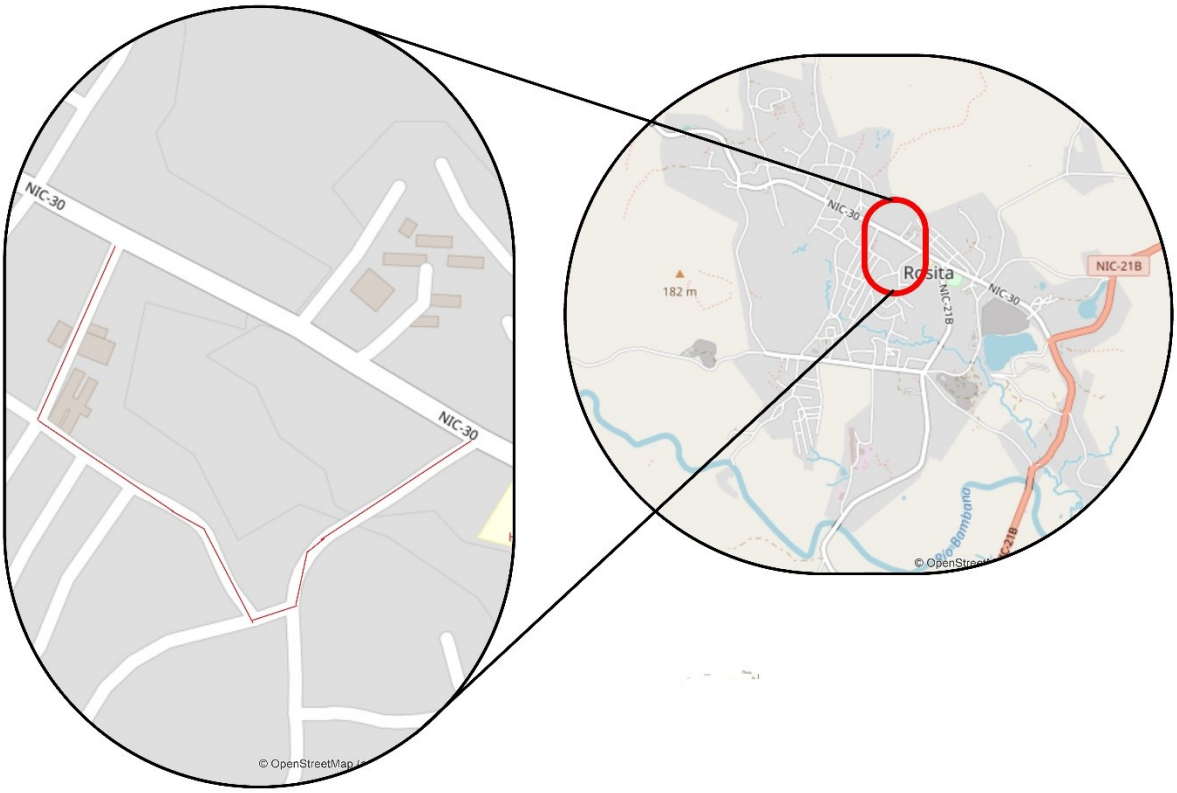


Fuente: Elaboración propia, usando el software ArcGIS 10.8

2.1.1.2. Micro localización

El mejoramiento vial del tramo será efectuado exactamente en el Bo. Ana María, en el casco urbano del municipio de Rosita, dicho tramo conecta con la NIC 30 la cual está clasificada como colectora secundaria, cabe destacar que, el proyecto consta de una longitud de 350ml de adoquinado e inicia exactamente frente a la delegación del MINED de la localidad y termina a un costado de la vivienda de la Sra. Josefa Aguinaga.

Figura 4: Micro localización del proyecto



Fuente: Elaboración propia, usando el software ArcGIS 10,8

2.1.2. Situación actual del camino

2.1.2.1. Características geotécnicas

La superficie de rodamiento existente está conformada por una capa de concreto hidráulico, la cual se encuentra en pésimas condiciones, es decir, su estado actual calificaría como intransitable, ya que, posee desgaste excesivo, sedimentación y grandes baches en toda su longitud.

Figura 5: Estado actual del tramo

Fuente: Elaboración propia.

De manera general se conoce que los suelos predominantes a lo largo de la vía corresponden a estratos de arena arcillosa de color café oscuro, perteneciente a la clasificación A-2-7 (1), consecuentemente, los demás estratos varían únicamente en su color debido al contenido de humedad y el alto coeficiente de absorción que caracteriza a este material.

2.1.2.2. Problemas geotécnicos

El principal problema que presenta el tramo en estudio, es el desgaste que existe en la superficie de rodamiento a causa del tráfico pesado que transita por la zona, a esto se le suma la sedimentación causada por la ausencia de obras de drenaje y la erosión del material que compone el tramo.

Por otra parte, el suelo encontrado a lo largo del tramo tiene características cohesivas el cual está compuesto mayormente por partículas finas, de mediana o alta plasticidad y grandes contenidos de humedad, cabe destacar que, dicho material debe ser tratado previamente con algún tipo de estabilizante químico con el cual se mejoren las propiedades físicas y mecánicas que posee.

Se conoce que el material extraído posee más del 30% de partículas finas, un índice de plasticidad superior al 15% y es capaz de absorber altos contenidos de humedad.

2.2. Trabajos de campo

2.2.1. Sondeos manuales sobre la línea

Este proceso consiste en la ejecución de 2 sondeos exploratorios de 30cm de diámetro sobre la línea, con una separación de 250m y una profundidad de 1.50m, distribuidos alternando de izquierda a derecha a lo largo de la vía en estudio.

Tabla N° 1: Exploración del subsuelo a lo largo del trazado de la vía

Tipo de camino	N° de sondeos por km	Distancia entre sondeos (m)	Profundidad (m)
Rural	4	250	1.2 a 1.5
Adoquinado	4	250	1.5
Asfalto o concreto hidráulico	10	100	1.5

Fuente: Elaboración propia, teniendo en cuenta el Manual de Estudios geotécnicos MTI. Octubre 2008

El muestreo se realizó con pala posteadora y barra, con el objetivo de evaluar de manera visual los estratos presentes en el suelo, su composición, su clasificación preliminar, para posteriormente extraer muestras alteradas por cada sondeo realizado y trasladarlas al laboratorio de materiales y suelos, de tal manera que, se logre determinar sus propiedades físicas y mecánicas mediante una serie determinada de ensayes de laboratorio.

Figura 6: Sondeos manuales

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Muestreo en el banco de materiales

Consiste en la recolección de muestras alteradas extraídas del banco de materiales designado para el proyecto, con el objetivo de evaluar visualmente el tipo de suelo y posteriormente determinar las propiedades físicas y mecánicas que lo caracterizan mediante el desarrollo de los ensayes de laboratorio.

Dicho banco de materiales se encuentra ubicado en la comunidad de el Wasaquín y es propiedad de la alcaldía municipal, el material extraído de ese lugar es usado generalmente como material para relleno.

Figura 7: Banco de materiales

Fuente: Elaboración propia

2.3. Trabajos de laboratorio

Al haber recolectado las muestras del banco de materiales y las obtenidas mediante los sondeos manuales realizados sobre el tramo, se procede a efectuarles los ensayes de laboratorio con el fin de determinar las características y las propiedades físico mecánicas de los suelos, mediante la aplicación de las normas ASTM y AASHTO.

Tabla N° 2: Ensayes de laboratorio aplicados

Tipo de ensaye	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis granulométrico de los suelos	T-88	D-422
Humedad natural	T-265	D-2216
Pesos volumétricos	T-19	C-29
Limite liquido de los suelos	T-89	D-423
Limite plástico e índice de plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Clasificación Higway Reserch Board, o clasificación AASHTO	M-145	D-3282
Compactación de suelos método Proctor Estándar	T-99	D-698
Valor relativo soporte CBR (California Bearing Ratio)	T-193	D-1883

Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Resultados de los ensayes aplicados al material de la línea

Las muestras obtenidas mediante los sondeos fueron agrupadas de manera visual y ensayadas en una sola muestra debido a que poseen las mismas características, es decir, son iguales.

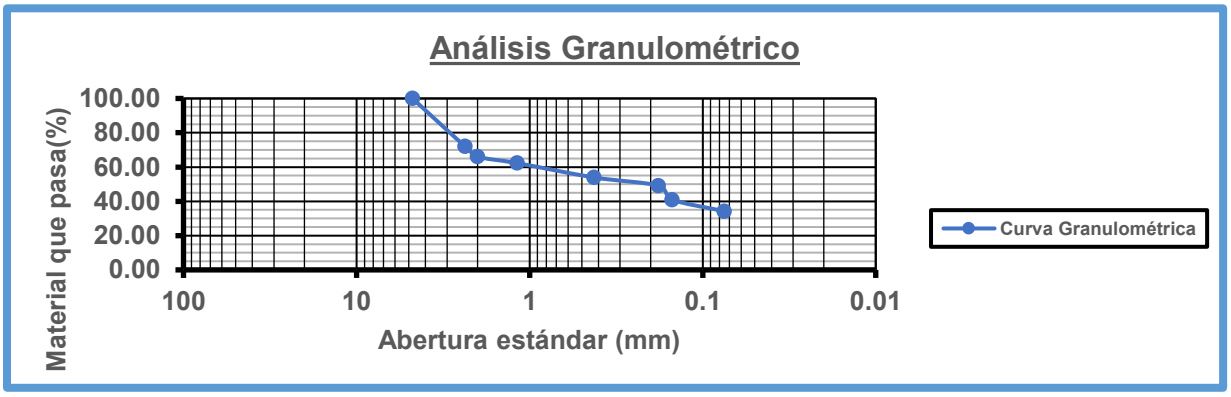
2.3.1.1. Análisis granulométrico

Se obtiene la distribución por tamaño de las partículas inmersas en el suelo, además dicha distribución es un parámetro fundamental para clasificar el tipo de suelo mediante los métodos ASTM O AASHTO ya que, de esta clasificación depende si el suelo es apto para ser usado en la construcción.

Cabe destacar que, para el suelo del sitio se determinaron las relaciones porcentuales de los materiales que lo componen, en primer lugar, contiene un 67% de arena y un 33% de material fino (limos y arcillas).

Esto quiere decir que el material extraído del tramo en estudio no posee partículas gruesas, si no que esta mayormente compuesto por arena, arcilla y limos.

Gráfico N° 1: Análisis granulométrico

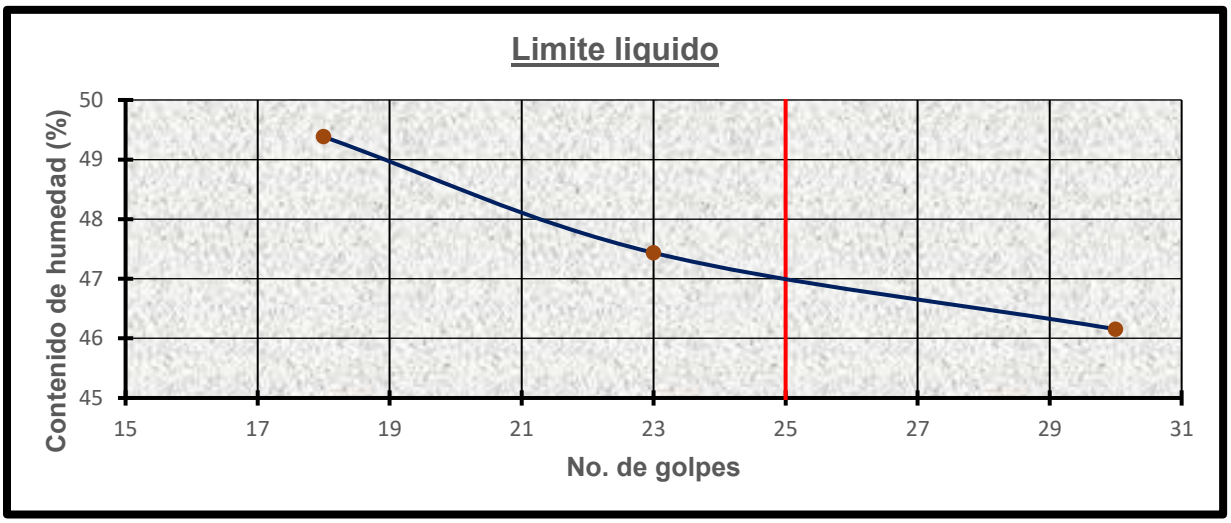


Fuente: Elaboración propia

2.3.1.2. Límites de consistencia de los suelos

Mediante la realización de este ensaye se determina que tan sensible es el comportamiento del suelo en relación a su contenido de humedad, en este caso se utilizó el método multi punto para conocer que el material posee un límite liquido de 47%, además de un límite plástico de 32% y un índice de plasticidad de 15.8 %.

Gráfico N° 2: Limite liquido



Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3. Clasificación H.R.B (Higway Reserch Board)

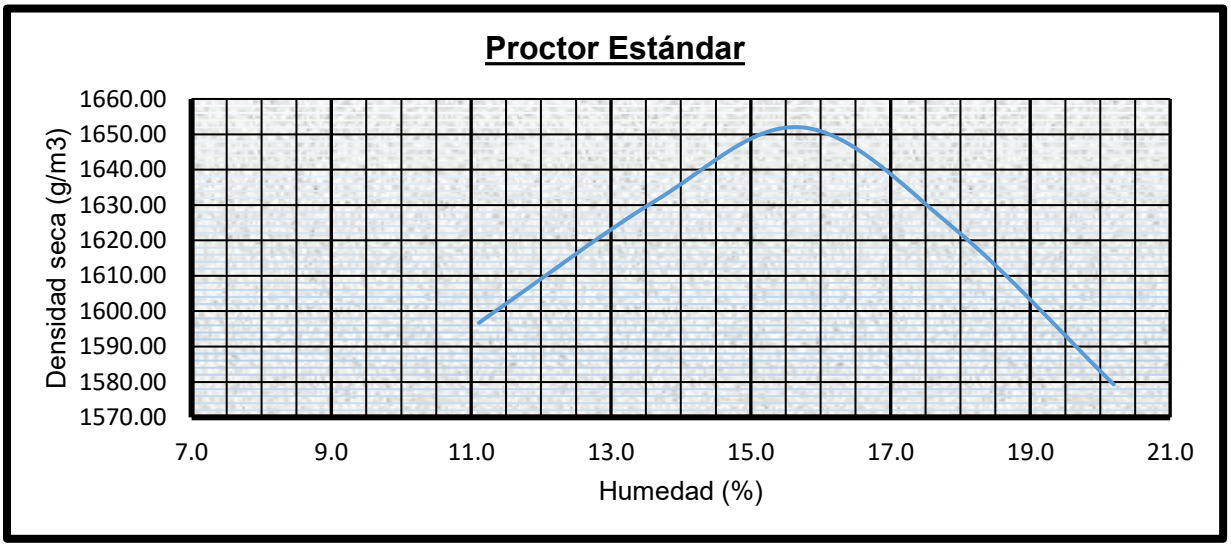
Para efectuar la clasificación de suelos mediante este método se deben tomar en cuenta los resultados de los ensayes anteriores, es decir, del análisis granulométrico y de los límites de consistencia.

Según los datos obtenidos anteriormente tenemos que el material que se está analizando corresponde a la clasificación A-2-7 (1), también denominado arena arcillosa con limo.

2.3.1.4. Compactación de suelos, método Proctor estándar

Este ensaye se realizó para determinar el porcentaje de humedad necesario para que el suelo alcance su densidad seca máxima, dando como resultado una densidad seca máxima de 1653 kg/m^3 y un porcentaje de humedad del 15.7%

Gráfico N° 3: Proctor estándar

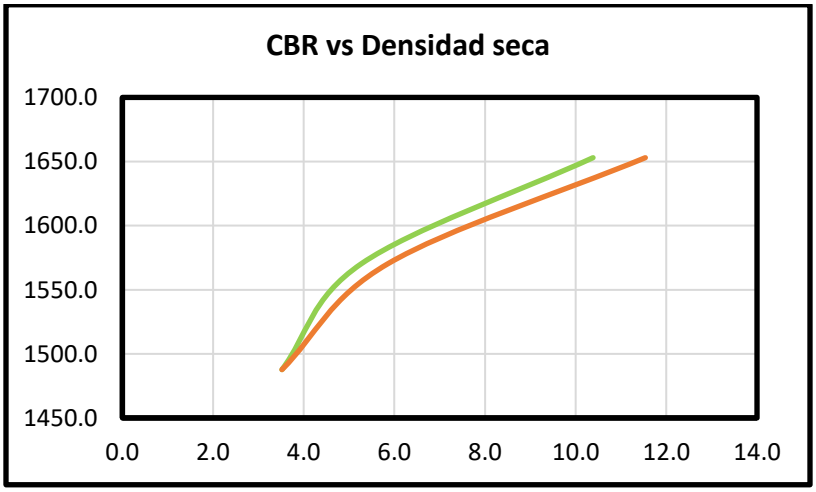


Fuente: Elaboración propia

2.3.1.5. Relación soporte de california (CBR)

Para este ensaye es necesario controlar cuidadosamente las condiciones de humedad y densidad seca, debido a que, este ensaye se ejecuta retomando los resultados del Proctor previamente realizado, es decir, su humedad optima y su densidad seca máxima, tratando de reproducir esta última a niveles variables del 90, 95 y 100%, obteniendo valores de CBR a 0.1" de 3.5%, 5.3% y 10.6% respectivamente.

Gráfico N° 4: Densidad seca VS CBR



Fuente: Elaboración propia

2.3.1.6. Resumen de resultados

A continuación, se presentan de manera consolidada las principales características del material de sitio:

Tabla N° 3: Resumen de resultados

Grupo	LL	LP	IP	PVSS	PVSC	Densidad Max	H. op	CBR			HRB
								90%	95%	100%	
1	47	31	16	1148	1306	1653	15.7	3.53	5.3	10.6	A-2-7(1)

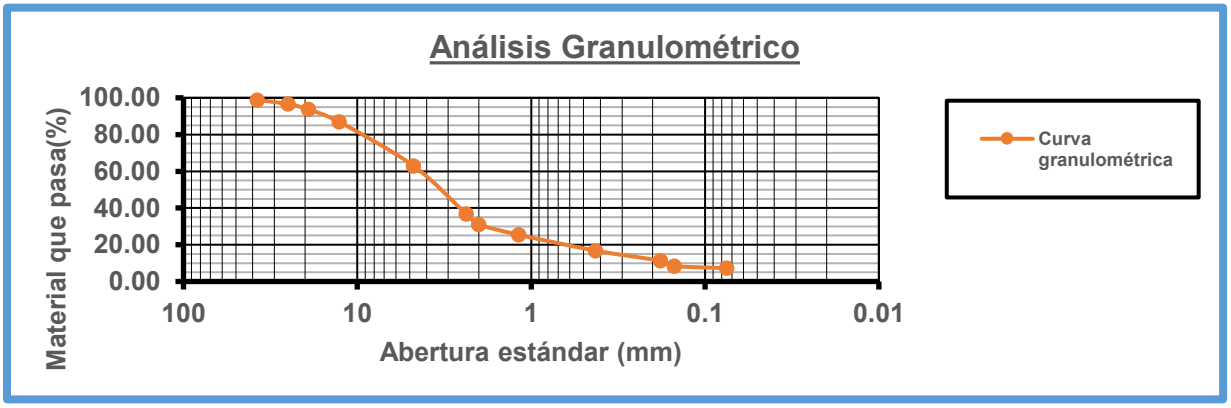
Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Resultados de los ensayes aplicados al material de banco

2.3.2.1. Análisis granulométrico

Con este ensaye se logró determinar la composición granulométrica del material, dicha composición expresada mediante una relación porcentual del total de la muestra expresa que este contiene un 34% de grava, 59% de arena y un 7% de material fino (limos y arcillas).

Gráfico N° 5: Análisis granulométrico

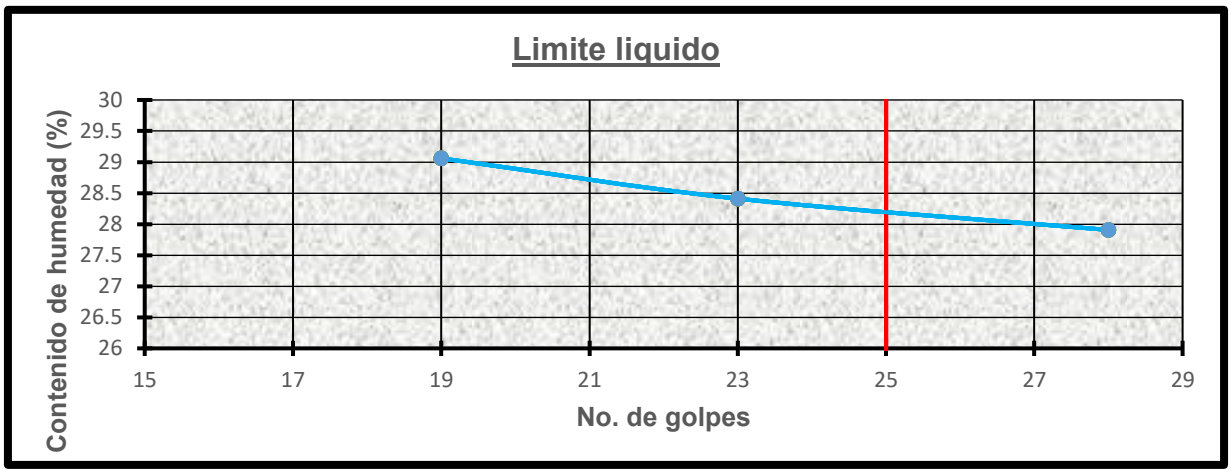


Fuente: Elaboración propia

2.3.2.2. Límites de consistencia de los suelos

Mediante la realización de este ensaye se determina que tan sensible es el comportamiento del suelo en relación a su contenido de humedad, en este caso se utilizó el método multi punto para conocer que el material posee un límite liquido de 28.2%, además de un límite plástico de 19.09% y un índice de plasticidad de 9.1 %.

Gráfico N° 6: Limite liquido



Fuente: Elaboración propia

2.3.2.3. Clasificación H.R.B (Higway Reserch Board)

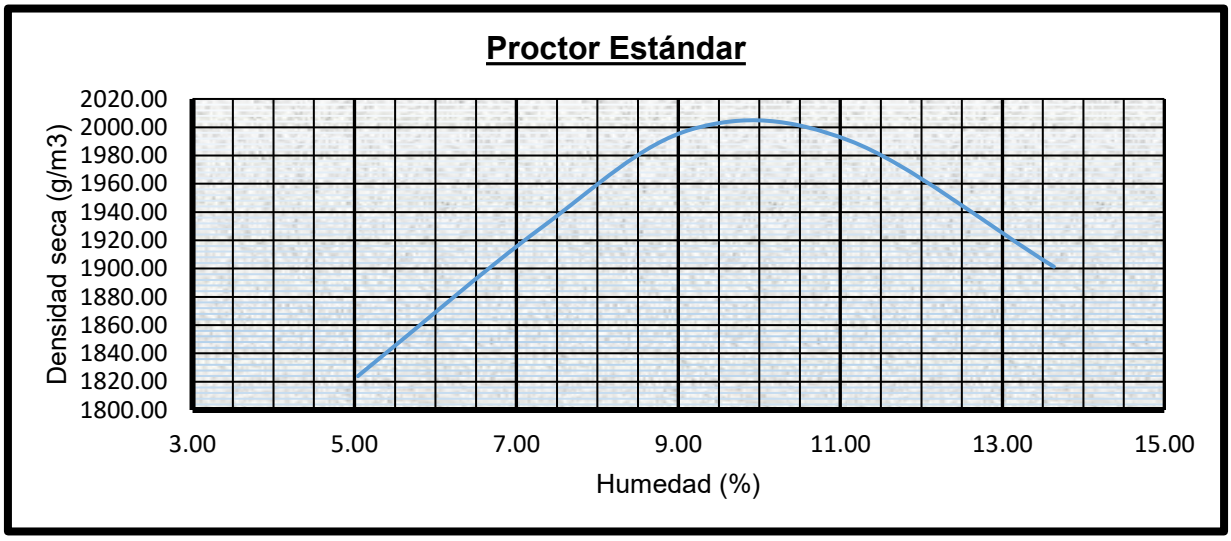
Para efectuar la clasificación de suelos mediante este método se deben tomar en cuenta los resultados de los ensayes anteriores, es decir, del análisis granulométrico y de los límites de consistencia.

Según los datos obtenidos anteriormente tenemos que el material que se está analizando corresponde a la clasificación A-2-4 (0), también denominado como suelo gravo arenoso con arcilla.

2.3.2.4. Compactación de suelos, método Proctor estándar

Este ensaye se realizó para determinar el porcentaje de humedad necesario para que el suelo alcance su densidad seca máxima, dando como resultado una densidad seca máxima de 2002.8 kg/m^3 y un porcentaje de humedad del 9.5.

Gráfico N° 7: Proctor estándar

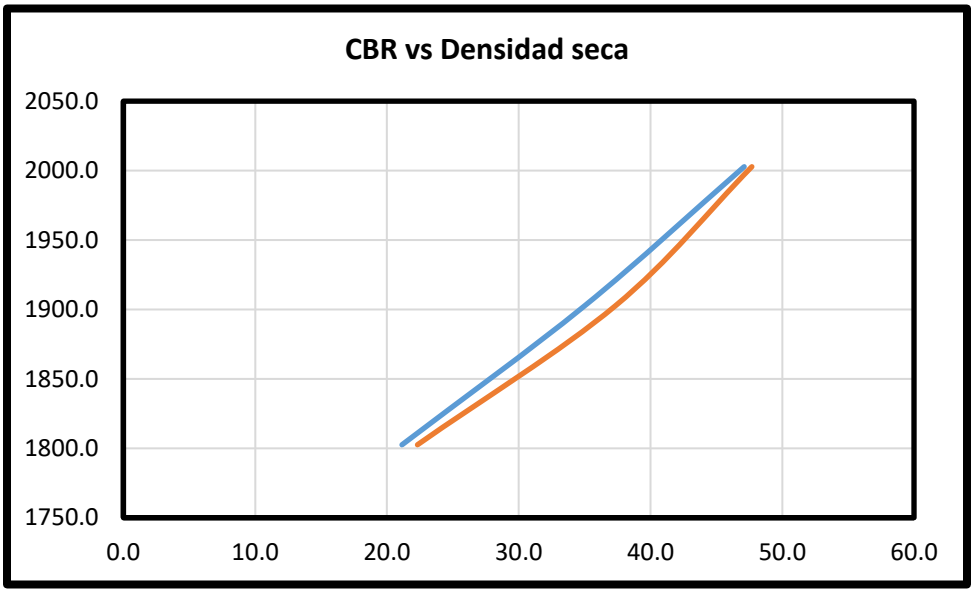


Fuente: Elaboración propia

2.3.2.5. Relación soporte de california (CBR)

Mediante este ensaye se obtuvieron valores de CBR a 0.1” de 21.2%, 35.3% y 47.7% correspondientes al 90%, 95% y 100% de la densidad seca máxima respectivamente.

Gráfico N° 8: Densidad seca VS CBR



Fuente: Elaboración propia

2.3.2.6. Ensayo a la compresión simple

Mediante la realización de este ensaye se determinó que este material por sí solo posee poca resistencia a la compresión, ya que, posee un esfuerzo promedio de 3 kg/cm^2.

Tabla N° 4: Esfuerzo a la compresión simple

Espécimen N°	Carga (lbs)	Área (in2)	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
			PSI	kg/cm2	
1	569	12.57	45.27	3.18	3.0
2	550	12.57	43.75	3.08	
3	512	12.57	40.73	2.86	

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.7. Resumen de resultados

A continuación, se presentan de manera consolidada las principales características del material de sitio:

Tabla N° 5: Resumen de resultados

Banco	LL	LP	IP	PVSS	PVSC	Densidad Max	H. op	CBR			HRB
								90%	95%	100%	
Wasaquín	28	19	9	1282	1500	2002.8	9.5	21.2	35.3	47.7	A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III: DISEÑO DE MEZCLA SUELO CEMENTO

3.1. Generalidades

El suelo cemento es una mezcla simple y debidamente compactada de suelo, cemento y agua, previamente diseñada para diversas aplicaciones, obras geotécnicas y pavimentos.

Por otra parte, posee una variedad de aplicaciones que incluyen la mejora de la resistencia, el control de la erosión y la estabilización de proyectos de infraestructura vial. En particular, el cemento se usa cada vez más para la estabilización de suelos y agregados en la construcción de pavimentos debido a que la adición de pequeñas cantidades de cemento puede mejorar tanto la resistencia como la durabilidad de los materiales tratados. La introducción de cemento en estos materiales también puede reducir los costos de construcción al disminuir tanto la cantidad de excavación requerida como la cantidad de transporte de nuevos materiales adecuados para el proyecto dado.

El suelo-cemento adquiere fuerza a medida que se hidrata, mediante este proceso va formando enlaces entre el cemento circundante y las partículas del suelo. En su implementación la velocidad del proceso de hidratación depende en gran medida de factores ambientales como la velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa, ya que estos factores pueden aumentar o disminuir la velocidad de evaporación del agua presente en la mezcla y a consecuencia de esto se vería alterada la reacción química de hidratación del cemento.

3.2. Dosificación

Este proceso consiste en determinar la cantidad de cemento necesaria para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del material de sitio y del material de banco, con el fin de conocer dicha cantidad es necesario evaluar los resultados de los ensayes previamente realizados, de tal manera que, sean propuestas proporciones bastante acertadas en base a lo que se desea mejorar del material en estudio, en este caso, se pretende mejorar los criterios de resistencia y durabilidad de ambos materiales, habiendo dicho esto, se procede a reproducir en laboratorio mezclas con 3 distintas proporciones de cemento, las cuales son:

Tabla N° 6: Proporciones de cemento

% de cemento	2		5		10	
N° de especímenes	1	2	3	4	5	6

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las proporciones de cemento que serán utilizadas, se procede a proponer las cantidades de la mezcla suelo cemento mediante relaciones porcentuales del peso total de la muestra:

Tabla N° 7: Mezcla suelo-cemento

Suelo	**Cemento**
(%)	**(%)**
98	2
95	5
90	10

Fuente: Elaboración propia

3.3. Fabricación de especímenes

Para cada material en estudio se fabricarán 2 especímenes de suelo estabilizado por cada dosificación de cemento, posterior a su fabricación serán sometidos a un proceso de curado de 7 días para luego ser ensayados con la finalidad de determinar su resistencia a la compresión.

Por otra parte, dichos especímenes serán fabricados bajo condiciones de humedad y compactación cuidadosamente controladas, tratando de replicar en un 100% el Proctor estándar y la humedad optima previamente calculada.

3.3.1. Procedimiento

- Tomar una determinada cantidad de la muestra de suelo recibida de campo e introducirla en un horno para ser secada a una temperatura constante de 110°C, hasta que se encuentre totalmente seca

- Sacar la muestra del horno y disgregar completamente los grumos, utilizando un taco de madera o un mazo de hule, de tal manera que, no se vea afectado el tamaño de las partículas presentes en la muestra.

- Reducir la muestra de suelo a una cantidad representativa ya sea por cuarteo manual o utilizando un cuarteador, de tal manera que nos quede cantidad suficiente para fabricar 2 especímenes.

- Cribar la muestra por el tamiz de ¾” y el tamiz N°4, según se estime conveniente.

Figura 8: Cribado de la muestra

Fuente: Elaboración propia

- Pesar 3 porciones de aproximadamente 5000 gr de material cada una.

Figura 9: Primera porción de material

Fuente: Elaboración propia

- Medir cuidadosamente el diámetro y la altura del molde que se utilizara, además, debe ser pesado con todo y su base

- En una charola depositar 5000gr de muestra y extenderla totalmente, de tal manera que cubra la superficie de la misma.

Figura 10: Muestra para fabricación de especímenes

Fuente: Elaboración propia

- Pesar y posteriormente agregar la primera proporción de cemento

Figura 11: Primera porción de cemento

Fuente: Elaboración propia

- Revolver constantemente hasta que la mezcla este totalmente homogénea

Figura 12: Mezcla suelo cemento

Fuente: Elaboración propia

- Pesar la cantidad optima de agua y agregarla cuidadosamente a la mezcla

- Mezclar de manera constante, tratando de no formar grumos hasta que se alcance un color uniforme y una consistencia homogénea.

Figura 13: Mezcla suelo cemento

Fuente: Elaboración propia

- Colocar el molde completo (con base y collarín) sobre la superficie del piso y comenzar a llenar el molde con el material. Debe ser llenado en 3 capas iguales, aplicando 25 golpes por cada capa, distribuidos uniformemente sobre la superficie del molde haciendo uso del martillo Proctor estándar de 2.495 kg.

Figura 14: Compactación de espécimen

Fuente: Elaboración propia

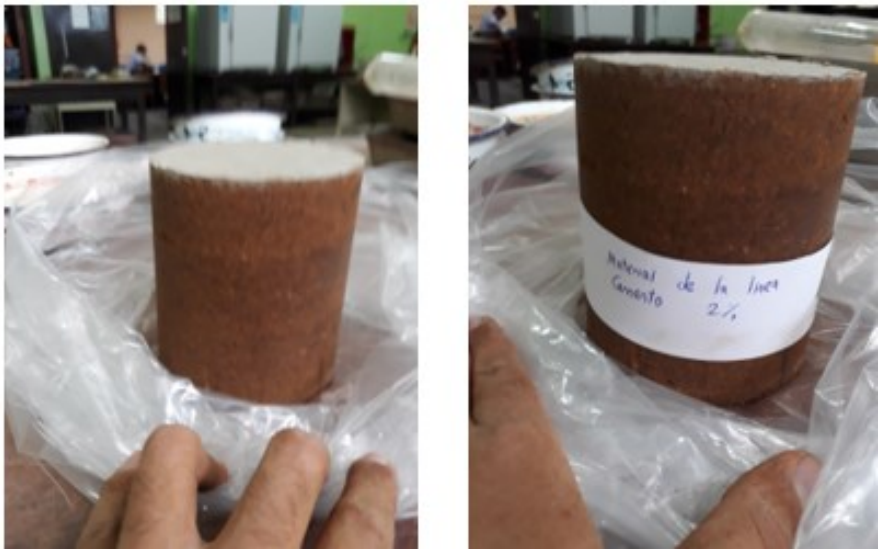
- Retirar el collarín del molde y enrazar cuidadosamente con la regla enrasadora. Posteriormente pesar el molde enrasado con todo y la base.

Figura 15: Espécimen enrazado

Fuente: Elaboración propia

- Extraer el espécimen con ayuda de un extractor, para luego envolverlo en una bolsa plástica calibre 200 y rotularlos debidamente.

Figura 16: Envoltura y rotulación de espécimen



Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente sumergirlo en agua durante 7 días, procurando que durante el periodo de curado no se le introduzca agua a la bolsa.

Figura 17: Proceso de curado

Fuente: Elaboración propia

- Cumplidos los 7 días de curado, se procede extraer los especímenes de las bolsas y posteriormente ensayarlos en la máquina de CBR.

Figura 18: Proceso de curado

Fuente: Elaboración propia

- Repetir los pasos anteriormente mencionados para la fabricación de los demás especímenes.

3.4. Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactados

Los especímenes de material mezclado con cemento deberán cumplir con la resistencia mínima a la compresión a los 7 días de curado de 30 kg/cm^2, estipulada por la normativa nacional vigente NIC-2019, por ende, se seleccionará como material ideal al que con la menor dosificación de cemento alcance la resistencia mínima previamente estipulada.

En el caso de los especímenes fabricados con el material de sitio mezclado con cemento se obtuvo una resistencia máxima a la compresión de 9.6 kg/cm^2, por otra parte, los que fueron fabricados con material de banco y cemento obtuvieron una resistencia máxima a la compresión de 48 kg/cm^2.

Tabla N° 8: Material de sitio con 2% de cemento

Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7.0	7.0		
Diámetro del espécimen (in)	4.0	4.0		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	529.5	794.3		
Área (in2)	12.6	12.6		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	3.0	4.4		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	3.7			

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 9: Material de sitio con 5% de cemento

Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7.0	7.0		
Diámetro del espécimen (in)	4.0	4.0		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	1164.9	1376.7		
Área (in2)	12.6	12.6		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	6.5	7.7		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	7.1			

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10: Material de sitio con 10% de cemento

Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7.0	7.0		
Diámetro del espécimen (in)	4.0	4.0		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	1535.6	1906.2		
Área (in2)	12.6	12.6		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	8.6	10.7		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	9.6			

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11: Material de banco con 2% de cemento

Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7	7		
Diámetro del espécimen (in)	4	4		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	1853.25	2118.00		
Área (in2)	12.57	12.57		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	10.37	11.85		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	11.1			

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12: Material de banco con 5% de cemento

Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7	7		
Diámetro del espécimen (in)	4	4		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	4659.60	4871.40		
Área (in2)	12.57	12.57		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	26.07	27.25		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	26.7			

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Material de banco con 10% de cemento

Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7	7		
Diámetro del espécimen (in)	4	4		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	8736.75	8472.00		
Área (in2)	12.57	12.57		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	48.88	47.40		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	48			

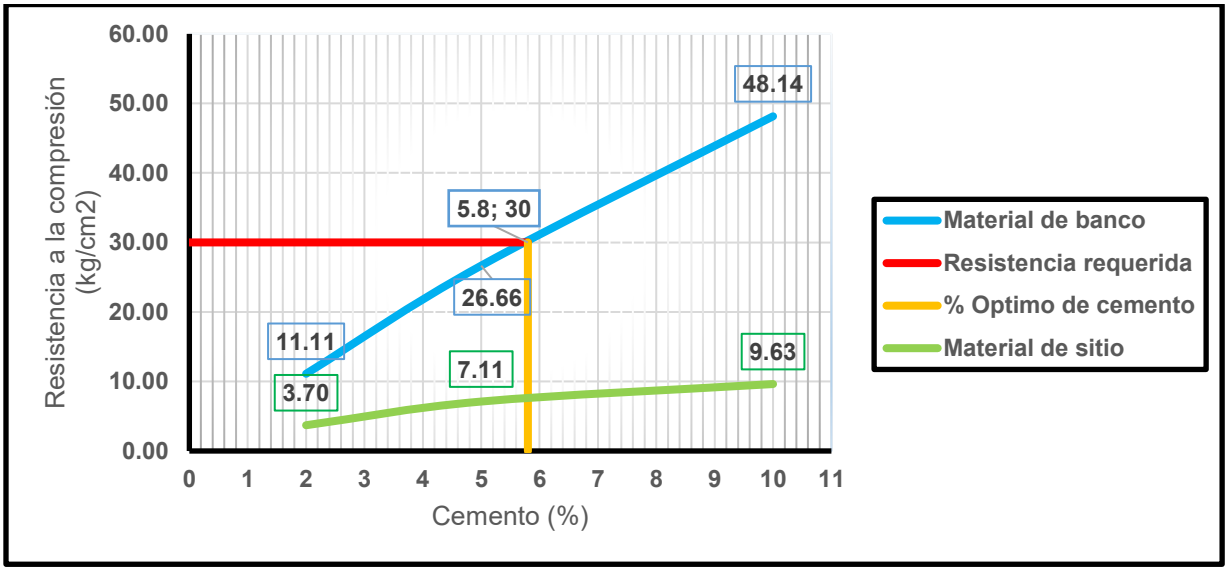
Fuente: Elaboración propia

3.5. Análisis y comparación de resultados

De acuerdo a los resultados planteados anteriormente podemos notar que el material de la línea no presenta el desempeño esperado, ya que, este requiere grandes cantidades de cemento para alcanzar una determinada resistencia, por ejemplo, dicho material al ser mezclado con 10% de cemento alcanzó en promedio una resistencia máxima a la compresión de 9.7 kg/cm^2, lo cual representa aproximadamente un 32.3% de la resistencia a la compresión requerida para esta mezcla.

Por otra parte, el material de banco por las propiedades físicas y mecánicas que posee obtuvo un excelente desempeño al ser mezclado con cemento, alcanzando en promedio una resistencia máxima a la compresión de 48 kg/cm^2, lo cual está muy por encima de la resistencia a la compresión requerida, esto es debido a la cantidad de material granular que posee, la presencia de grava en la mezcla le brinda cuerpo y una mayor resistencia a los especímenes, ya que, las partículas del suelo al entrar en contacto con el cemento y el agua, cohesionan generando enlaces más fuertes entre las mismas.

Gráfico N° 9: Material de banco vs Material de sitio



Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la gráfica, a medida que se le adiciona mayor cantidad de cemento a las mezclas, los especímenes van adquiriendo mayor resistencia, llegando a alcanzar casi el doble que la proporción anterior, cabe mencionar que, ambos materiales se comportan de manera diferente, el material de banco por su parte adquiere mayor resistencia en comparación al material de sitio, esto es debido a las propiedades físicas y mecánicas características de cada uno de los materiales

A simple vista podemos determinar que el material de banco cumple en su totalidad con los requerimientos de diseño para la mezcla previamente estipulada, ya que, dicho material con tan solo 5.8% de cemento (1.75 bolsas de cemento) cumple exactamente con la resistencia mínima a la compresión requerida de 30 kg/cm^2.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

En base a los objetivos planteados inicialmente se puede concluir que:

El material de sitio extraído mediante los sondeos manuales, es un suelo arcilloso, mayormente compuesto por arena y material fino (limos y arcillas), posee mediana plasticidad, requiere altos contenidos de humedad para alcanzar su grado máximo de compactación. Mediante los resultados obtenidos del ensayo CBR se determina que este suelo no es apto para ser utilizado como subrasante bajo el criterio de pavimentos, ya que calificar como una sub rasante mala.

Por otra parte, el material extraído del banco es un suelo gravo arenoso con arcilla, posee baja plasticidad, su distribución granulométrica esta mayormente compuesta por grava y arena con una pequeña porción de arcilla, además, es un material muy denso. Según los resultados del ensaye CBR, este material es apto para ser usado para la capa de sub base en el tramo en estudio.

Suelo arcilloso mejorado con cemento

Según los resultados de los especímenes de suelo arcilloso con cemento compactados, se determina que este material requiere una dosificación mayor al 10% de cemento para alcanzar la resistencia a la compresión mínima requerida para ser usado en la construcción del tramo, lo cual no es viable puesto a que si se usan dosificaciones mayores al 10% incrementaría exponencialmente los costos de ejecución del proyecto.

Material de banco mejorado con cemento

De acuerdo con los especímenes ensayados con diferentes porciones de cemento, se concluye que el suelo gravó arenoso con arcilla del banco de materiales "El Wasaquín", se debe estabilizar agregándole cemento CEMEX tipo GU al 5.8% (1.75 bolsas/m^3) arrojando una resistencia a la compresión simple a los 7 días de edad de 30 kg/cm2.

4.2. Recomendaciones

- De acuerdo a los resultados de laboratorio es recomendable utilizar el material de banco en estado natural para la capa de sub base del tramo.

- Se propone utilizar el material de banco estabilizado con una dosificación del 6.5% de cemento para la capa de base, debido a que, se debe trabajar un poco por encima de la resistencia mínima requerida.

- Verificar la calidad de la compactación del material estabilizado, mediante pruebas de compactación in situ, utilizando densímetro nuclear.

- Ejecutar un buen sistema de drenaje que garantice el correcto escurrimiento de las aguas superficiales, para evitar futuros daños a la estructura propuesta.

- Establecer acciones de mantenimiento rutinario al tramo estabilizado con cemento, de tal manera que permita identificar cualquier problemática de manera temprana.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- Badillo, J., & Rodriguez, R. (2005). "Mecanica de Suelos" TOMO 1. México: Limusa.
- Bañón, L., & Beviá, J. F. (Enero de 2000). "Manual de carreteras, Volumen II". Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/
- MATUS LAZO, I., & LINDO O`CONNOR, S. (2019). GUIA DE LABORATORIO DE "MECANICA DE SUELOS I". Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos. Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2002). Especificaciones generales para la construccion de caminos, calles y puentes (NIC 2000). Managua.
- Portland Cement Association. (Octubre de 2014). Guide to Cement Based Integrated Pavement Solutions. PCA: Cement.org
- Yepes, V. (22 de FEBRERO de 2021). "Estabilización de suelos con cemento". victoryepes.blogs.upv.es: https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/02/22/estabilizacion-de-suelos-con-cemento/

ANEXOS

Anexo A: ENSAYES DE LABORATORIO

Material de sitio

Anexo N° 1: Lavado de muestra para granulometría chica

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 2: Pesos volumétricos

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 3: Limites de consistencia

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 4: Proctor estándar

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 5: CBR

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 6: Elaboración de especímenes de suelo cemento

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 7: Ruptura de especímenes de suelo cemento

Fuente: Elaboración propia

Material de banco

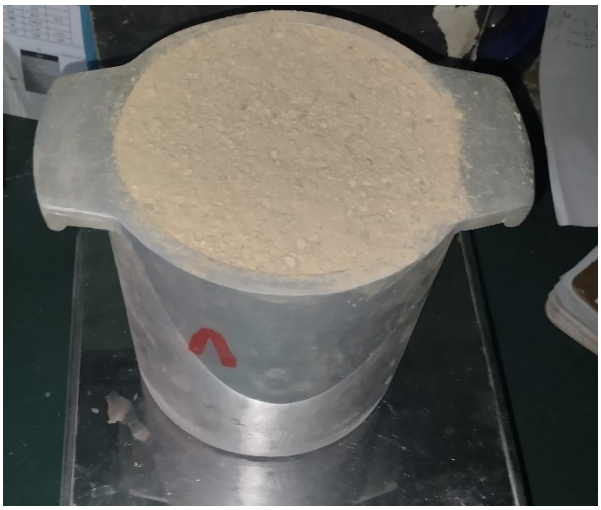
Anexo N° 8: Muestra saturada para lavado

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 9: Tamizado de partículas finas

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 10: Pesos volumétricos



Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 11: Limites de consistencia

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 12: Proctor estándar

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 13: CBR

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 14: Elaboración de especímenes de suelo cemento

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 15: Ruptura de especímenes de suelo cemento

Fuente: Elaboración propia,

Anexo B: FORMATOS DE PRESENTACION DE RESULTADOS

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Humedad natural

Material de la línea	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)
Procedencia:	SM-1

Masa inicial (gr)	1000
Profundidad (m)	0.00-1.50

Ensayo N°	Tara N°	Peso tara (gr)	Peso tara + muestra húmeda (gr)	Peso tara + muestra seca (gr)	Contenido de humedad (%)
1	BM-1	133	361	305	32
2	PJ	135	268	233	36
3	B-12	115	296	248	37

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Humedad natural (ASTM 2216)

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)
Procedencia:	El Wasaquín

Masa inicial (gr)	1000

Ensayo N°	Tara N°	Peso tara (gr)	Peso tara + muestra húmeda (gr)	Peso tara + muestra seca (gr)	Contenido de humedad (%)
1	A-1	131	313	299	8
2	M-E	139	327	313	9
3	M-8	135	316	305	7

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Pesos volumétricos (ASTM C-29)

Material de la línea	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)
Procedencia:	SM-1

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.00275
Peso molde (kg)	2.11

Peso volumétrico seco suelto (PVSS)				
Ensaye N°	**Peso del molde + material suelto (kg)**	**Peso del material suelto (kg)**	**Peso volumétrico seco suelto (kg/m3)**	**PVSS promedio (kg/m3)**
1	5.268	3.158	1148.4	1148.0
2	5.274	3.164	1150.5	
3	5.259	3.149	1145.1	

Peso volumétrico seco compacto (PVSC)				
Ensaye N°	**Peso del molde + material compacto (kg)**	**Peso del material compacto (kg)**	**Peso volumétrico seco compacto (kg/m3)**	**PVSC promedio (kg/m3)**
1	5.715	3.605	1310.9	1305.6
2	5.699	3.589	1305.1	
3	5.687	3.577	1300.7	

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Pesos volumétricos (ASTM C-29)

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)
Procedencia:	El Wasaquín

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.00275
Peso molde (kg)	2.11

Peso volumétrico seco suelto (PVSS)				
Ensaye N°	**Peso del molde + material suelto (kg)**	**Peso del material suelto (kg)**	**Peso volumétrico seco suelto (kg/m3)**	**PVSS promedio (kg/m3)**
1	5.628	3.518	1279.3	1281.5
2	5.634	3.524	1281.5	
3	5.64	3.53	1283.6	

Peso volumétrico seco compacto (PVSC)				
Ensaye N°	**Peso del molde + material compacto (kg)**	**Peso del material compacto (kg)**	**Peso volumétrico seco compacto (kg/m3)**	**PVSC promedio (kg/m3)**
1	6.229	4.119	1497.8	1500.4
2	6.235	4.125	1500.0	
3	6.244	4.134	1503.3	

Proyecto:	Estabilizacion de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana Maria”, en el municipio de Rosita, Region Autonoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Analisis Granulometrico de agregados gruesos y finos (ASTM D-422)

Material de linea	
Clasificacion H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)

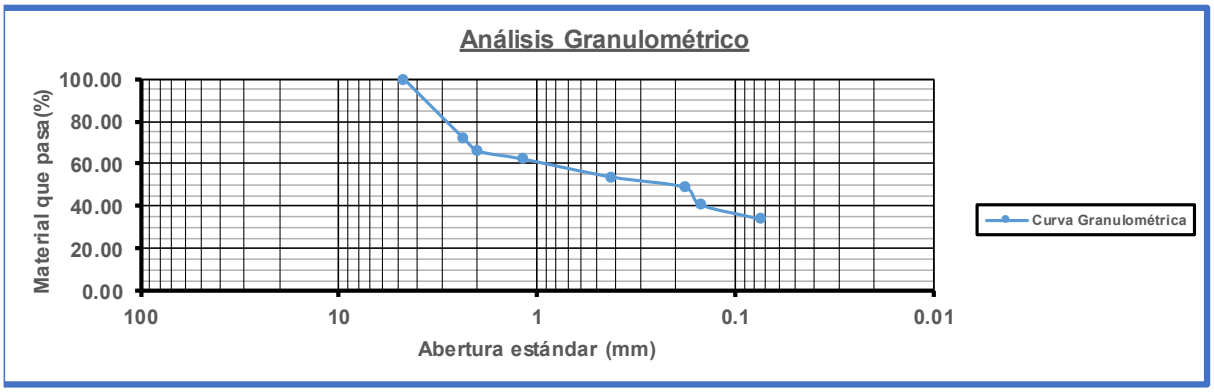
Masa inicial (gr)	4000

Humedad	
No. Tara	A-1
Masa Humeda (gr)	250
Masa seca (gr)	243
Humedad (%)	2.9

Material menor a 0.075 mm	
Masa lavada (gr)	70
M. lavada menor a 0.075 mm (gr)	31.9
M. tamizada menor a 0.075 mm (gr)	1
Masa total corregida (gr)	68.0

Granulometria					
Tamiz N°	**Abertura**	**Peso retenido**	**Peso retenido parcial**	**Peso retenido acumulado**	**Material que pasa**
in	**mm**	**gr**	**%**	**%**	**%**
1 1/2	37.5	0.0	0.00	0.00	100.00
1	25	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4	19.1	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8	12.7	0.0	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	0.0	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.36	1121.2	28.03	28.03	71.97
N° 10	2	235.6	5.89	33.92	66.08
Pasa N°10		2643.2	66.08		

Granulometria Chica					
Tamiz N°	**Abertura**	**Peso retenido**	**Peso retenido parcial**	**Peso retenido acumulado**	**Material que pasa**
in	**mm**	gr	%	**%**	**%**
N° 16	1.18	3.9	3.8	37.7	62.3
N° 40	0.425	8.6	8.4	46.1	53.9
N° 80	0.18	5.0	4.9	50.9	49.1
N° 100	0.15	8.4	8.2	59.1	40.9
N° 200	0.075	6.9	6.7	65.8	34.2
Pasa N°200		1.0			



Proyecto:	Estabilizacion de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana Maria”, en el municipio de Rosita, Region Autonoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Analisis Granulometrico de agregados gruesos y finos (ASTM D-422)

Material de banco	
Clasificacion H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)

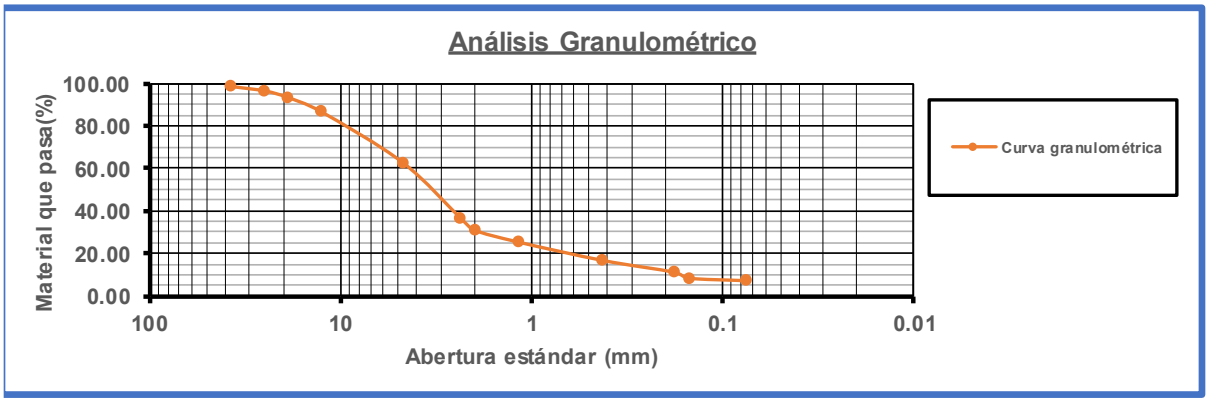
Masa inicial (gr)	4330.3

Humedad	
No. Tara	A-1
Masa Humeda (gr)	250
Masa seca (gr)	245
Humedad (%)	2.0

Material menor a 0.075 mm	
Masa lavada (gr)	121.1
M. lavada menor a 0.075 mm (gr)	26.3
M. tamizada menor a 0.075 mm (gr)	1
Masa total corregida (gr)	118.7

Granulometria					
Tamiz N°	**Abertura**	**Peso retenido**	**Peso retenido parcial**	**Peso retenido acumulado**	**Material que pasa**
in	**mm**	**gr**	**%**	**%**	**%**
1 1/2	37.5	54.2	1.25	1.25	98.75
1	25	91.6	2.12	3.37	95.38
3/4	19.1	129.3	2.99	6.35	89.03
3/8	12.7	292.8	6.76	13.11	82.27
N° 4	4.75	1036.9	23.95	37.06	58.32
N° 8	2.36	1137.6	26.27	63.33	32.05
N° 10	2	241.9	5.59	68.92	26.46
Pasa N°10		1346.0	31.08		

Granulometria Chica					
Tamiz N°	**Abertura**	**Peso retenido**	**Peso retenido parcial**	**Peso retenido acumulado**	**Material que pasa**
in	**mm**	gr	%	**%**	**%**
N° 16	1.18	34.3	7.6	76.6	23.4
N° 40	0.425	33.2	7.4	84.0	16.0
N° 80	0.18	21.1	4.7	88.7	11.3
N° 100	0.15	10.9	2.4	91.1	8.9
N° 200	0.075	4.4	1.0	92.1	7.9
Pasa N°200		1.0			

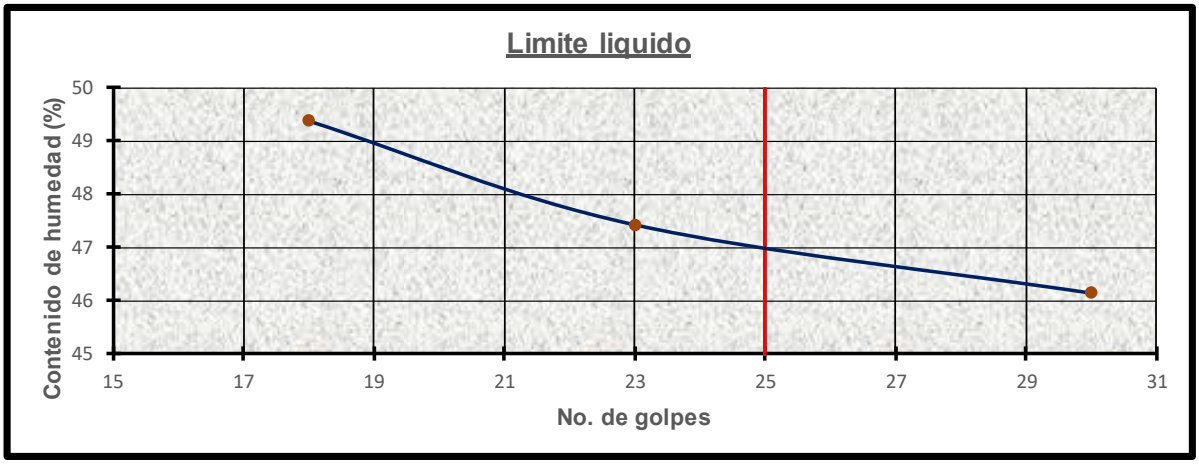


Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Limite liquido, Limite plástico y el índice de plasticidad de los suelos (ASTM D-423 Y ASTM D-424)

Material de la línea	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)

Masa inicial (gr)	250

Limite liquido			
Ensaye N°	**1**	**2**	**3**
Numero de golpes	18	23	30
Tara N°	A-47	R-131	R-129
Peso tara (gramos)	22	21.2	21.9
Peso muestra húmeda + tara (gramos)	34.1	32.7	35.2
Peso muestra seca + tara (gramos)	30.1	29	31
Peso de agua (gramos)	4	3.7	4.2
Peso seco (gramos)	8.1	7.8	9.1
Contenido de humedad (%)	49.4	47.4	46.2



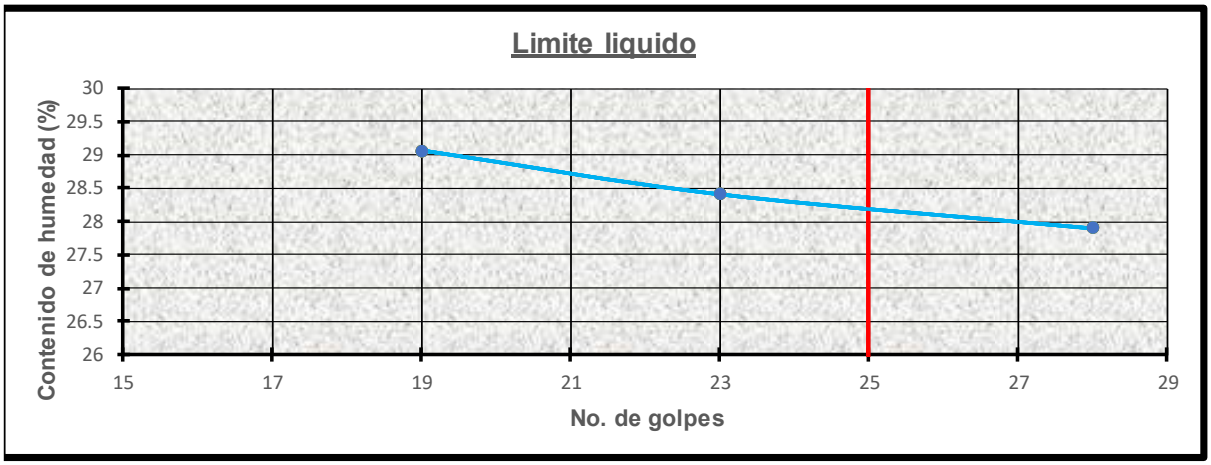
Limite plástico			**Índice de plasticidad**		
Ensaye N°	**1**	**2**	**Limite**	**Método**	**Valor**
Tara N°	M-102	H-18	**LL**	A	47.0
Peso tara (gr)	21.5	22	**LP**	Manual	31.2
Peso muestra húmeda + tara (gr)	27.5	28.6	**IP**	ASTM D-4318	15.8
Peso muestra seca + tara (gr)	26.1	27			
Peso de agua (gr)	1.4	1.6			
Peso seco (gr)	4.6	5			
Contenido de humedad (%)	30.43	32.00			

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Limite liquido, Limite plástico y el índice de plasticidad de los suelos (ASTM D-423 Y ASTM D-424)

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)

Masa inicial (gr)	250

Limite liquido			
Ensaye N°	**1**	**2**	**3**
Numero de golpes	19	23	28
Tara N°	H-001	B-04	B-06
Peso tara (gramos)	22.3	21.7	21.9
Peso muestra húmeda + tara (gramos)	37	37.7	38.4
Peso muestra seca + tara (gramos)	33.69	34.16	34.8
Peso de agua (gramos)	3.31	3.54	3.6
Peso seco (gramos)	11.39	12.46	12.9
Contenido de humedad (%)	29.1	28.4	27.9



Limite plástico			**Índice de plasticidad**		
Ensaye N°	**1**	**2**	**Limite**	**Método**	**Valor**
Tara N°	A-20	A-13	**LL**	A	28.2
Peso tara (gr)	22.6	21.9	**LP**	Manual	19.09
Peso muestra húmeda + tara (gr)	28.7	30.2	**IP**	ASTM D-4318	9.1
Peso muestra seca + tara (gr)	27.7	28.9			
Peso de agua (gr)	1	1.3			
Peso seco (gr)	5.1	7			
Contenido de humedad (%)	19.61	18.57			

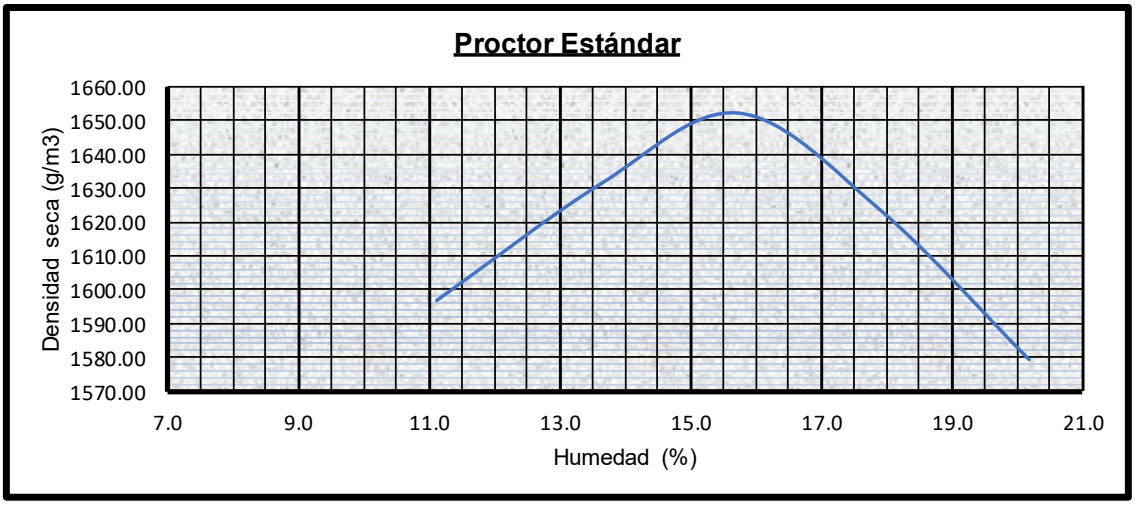
Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Compactación de suelos, método Proctor estándar (ASTM D 698)

Material de la línea	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)

Peso muestra (gr)	3000
Volumen molde (m3)	0.000943
Peso molde (kg)	4.304

Compactación					
Ensaye No	1	2	3	4	5
Peso del suelo húmedo + el molde (kg)	5.977	6.052	6.107	6.109	6.094
Densidad húmeda (kg/m3)	1774.13	1853.66	1911.98	1914.10	1898.20
Densidad seca (kg/m3)	1596.71	1631.22	1651.95	1623.16	1579.30

Humedad					
Peso del suelo húmedo (gr)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
Peso del suelo seco (gr)	225	220	216	212	208
Humedad (%)	11.1	13.6	15.7	17.9	20.2



Densidad seca máxima (kg/m3)	1653
Humedad optima (%)	15.7

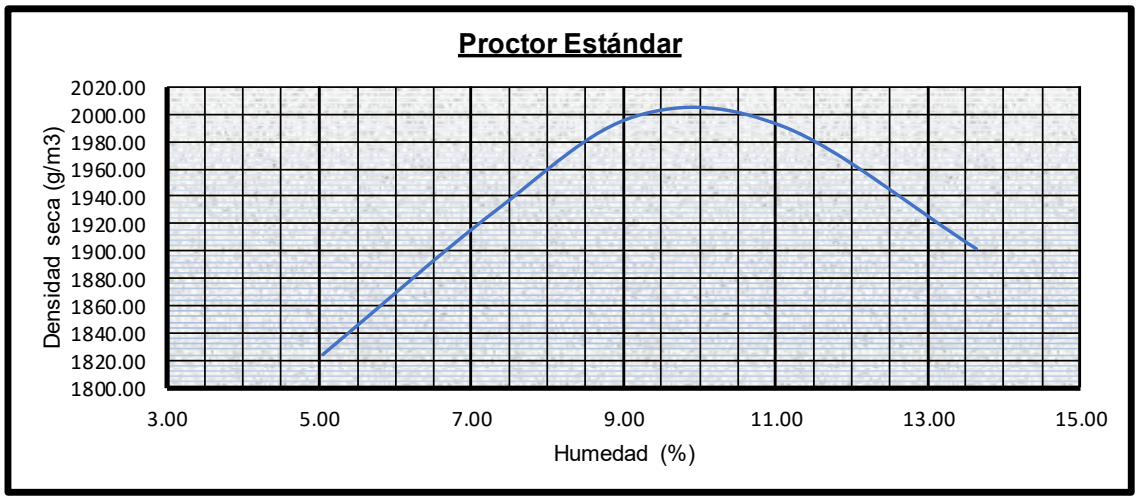
Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Compactación de suelos, método Proctor estándar (ASTM D 698)

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)

Peso muestra (gr)	3000
Volumen molde (m3)	0.00094
Peso molde (kg)	4.049

Compactación					
Ensaye No	1	2	3	4	5
Peso del suelo húmedo + el molde (kg)	5.85	5.99	6.10	6.13	6.08
Densidad húmeda (kg/m3)	1915.96	2069.15	2181.91	2211.70	2160.64
Densidad seca (kg/m3)	1823.99	1928.45	1998.63	1990.53	1901.36

Humedad					
Peso del suelo húmedo (gr)	250	250	250	250	250
Peso del suelo seco (gr)	238	233	229	225	220
Humedad (%)	5.04	7.30	9.17	11.11	13.64



Densidad seca máxima (kg/m3)	2002.8
Humedad optima (%)	9.5

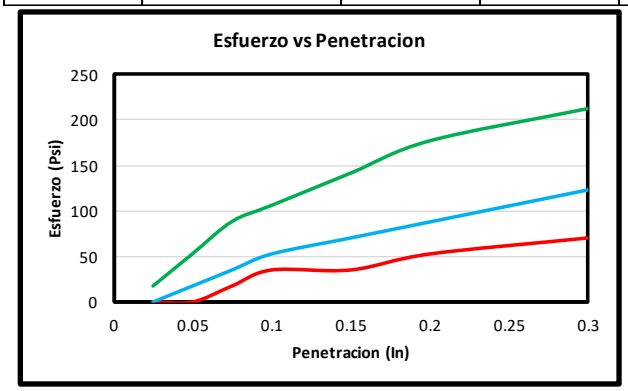
Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Relación Soporte de California (ASTM D 1883)

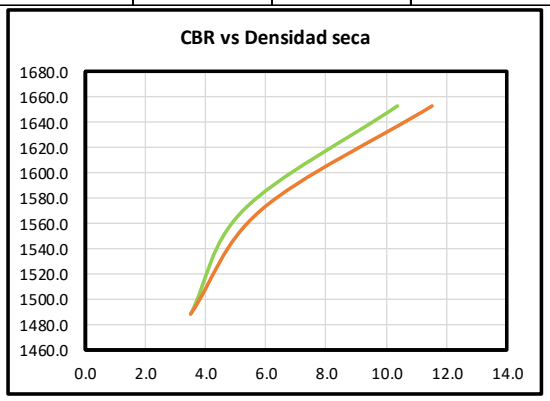
Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)
Volumen molde (m3)	0.00211

Densidad seca maxima (kg/m3)	1653
Humedad optima (%)	15.7
Peso molde (kg)	7.11

Compactación							
No Golpes	**Humedad reproducida (%)**	**Peso del Material + Molde, (g)**	**Peso del Material, (g)**	**Densidad húmeda (kg/m3)**	**Densidad seca (kg/m3)**	**Compactación reproducida (%)**	**Hinchamiento (%)**
12	15.5	10.8	3.6	1726.2	1492.0	90.3	3.00
25	15.7	11.0	3.8	1824.0	1576.5	95.4	2.80
56	15.6	11.2	4.1	1950.7	1686.0	102.0	2.00

Esfuerzo de penetracion							
No. de Golpes / Capa	**0.025**	**0.05**	**0.075**	**0.1**	**0.15**	**0.2**	**0.3**
12	0	0	17.65	35.3	35.3	52.95	70.6
25	0	17.65	35.3	52.95	70.6	88.25	123.55
56	17.65	52.95	88.25	105.9	141.2	176.5	211.8





Compactación	Densidad	CBR		Compactación corregida	Densidad corregida	CBR corregido	
(%)	**(kg/m3)**	**0.1"**	**0.2"**	**(%)**	**(kg/m3)**	**0.1"**	**0.2"**
90.3	1492.0	3.5	3.5	90	1487.7	3.5	3.5
95.4	1576.5	5.3	5.9	95	1570.4	5.3	5.9
102.0	1686.0	10.6	11.8	100	1653.0	10.4	11.5

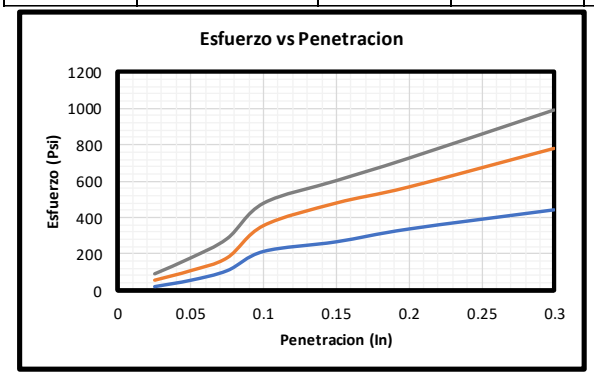
Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Relación Soporte de California (ASTM D 1883)

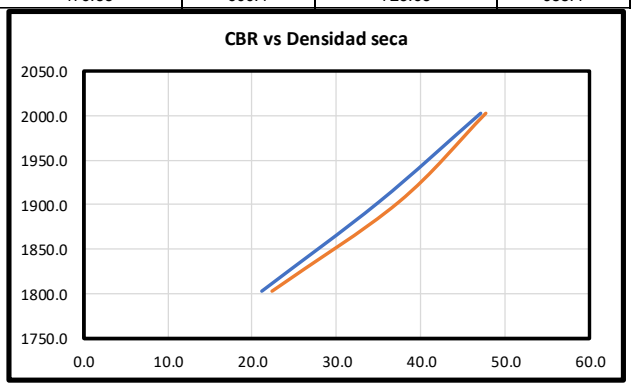
Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)
Volumen molde (m3)	0.00211

Densidad seca maxima (kg/m3)	2002.8
Humedad optima (%)	9.5
Peso molde (kg)	7.31

Compactación							
No Golpes	**Humedad reproducida (%)**	**Peso del Material + Molde, (g)**	**Peso del Material, (g)**	**Densidad húmeda (kg/m3)**	**Densidad seca (kg/m3)**	**Compactación reproducida (%)**	**Hinchamiento (%)**
12	9.3	11.5	4.2	1977.3	1805.7	90.2	0.26
25	9.5	11.7	4.4	2100.7	1918.4	95.8	0.52
56	9.7	12.0	4.7	2218.4	2025.9	101.2	0.69

Esfuerzo de penetracion							
No. de Golpes / Capa	**0.025**	**0.05**	**0.075**	**0.1**	**0.15**	**0.2**	**0.3**
12	17.65	52.95	105.9	211.8	264.75	335.35	441.25
25	52.95	105.9	176.5	353	476.55	564.8	776.6
56	88.25	176.5	282.4	476.55	600.1	723.65	988.4





Compactación	Densidad	CBR		Compactación corregida	Densidad corregida	CBR corregido	
(%)	**(kg/m3)**	**0.1"**	**0.2"**	**(%)**	**(kg/m3)**	**0.1"**	**0.2"**
90.2	1805.7	21.2	22.4	90	1802.5	21.1	22.3
95.8	1918.4	35.3	37.7	95	1902.7	35.0	37.3
101.2	2025.9	47.7	48.2	100	2002.8	47.1	47.7

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de sitio	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Densidad seca máxima (kg/m3)	1653
Humedad optima (%)	15.7

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.000913

Compactación				
% de cemento	2			
Espécimen N°	1	2		
Peso molde (kg)	4.18	4.27		
Peso molde + muestra (kg)	6.29	6.37		
Peso volumétrico húmedo (kg/m3)	1946.98	1958.64		
Peso volumétrico seco (kg/m3)	1682.78	1692.86		
Compactación reproducida (%)	101.80	102.41		
Contenido de humedad				
Peso del suelo húmedo (gr)	250	250		
Peso del suelo seco (gr)	218	217		
Humedad (%)	14.7	15.2		
Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7.0	7.0		
Diámetro del espécimen (in)	4.0	4.0		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	529.5	794.3		
Área (in2)	12.6	12.6		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	3.0	4.4		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	3.7			

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de sitio	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Densidad seca máxima (kg/m3)	1653
Humedad optima (%)	15.7

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.000913

Compactación				
% de cemento	5			
Espécimen N°	3	4		
Peso molde (kg)	4.45	4.18		
Peso molde + muestra (kg)	6.31	6.04		
Peso volumétrico húmedo (kg/m3)	1973.49	1968.19		
Peso volumétrico seco (kg/m3)	1705.69	1701.11		
Compactación reproducida (%)	103.19	102.91		
Contenido de humedad				
Peso del suelo húmedo (gr)	250	250		
Peso del suelo seco (gr)	216.6	217.5		
Humedad (%)	15.4	14.9		
Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7.0	7.0		
Diámetro del espécimen (in)	4.0	4.0		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	1164.9	1376.7		
Área (in2)	12.6	12.6		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	6.5	7.7		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	7.1			

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de sitio	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Densidad seca máxima (kg/m3)	1653
Humedad optima (%)	15.7

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.000913

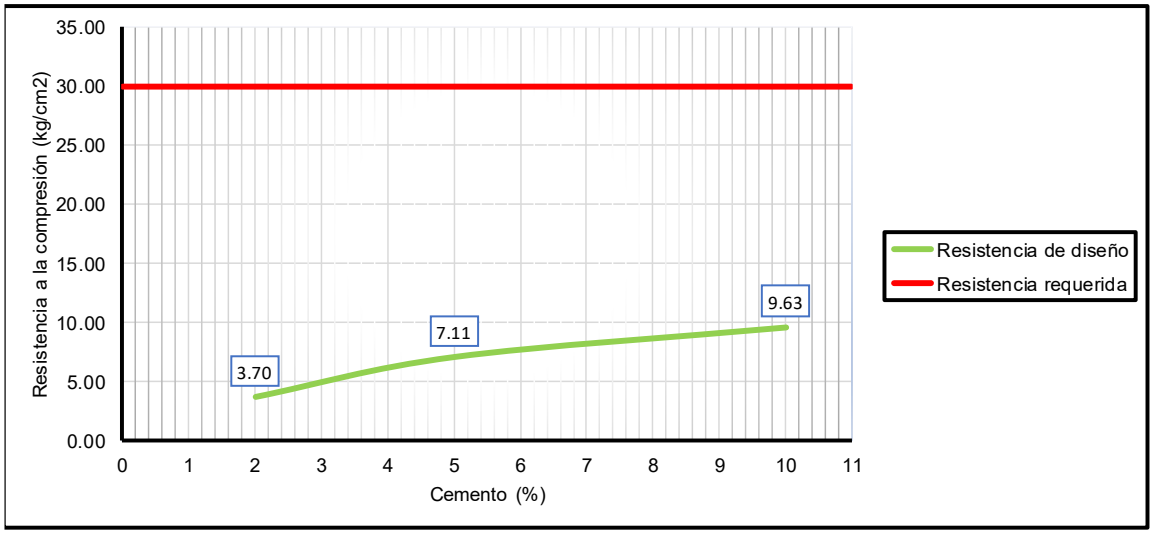
Compactación				
% de cemento	10			
Espécimen N°	5	6		
Peso molde (kg)	4.30	4.45		
Peso molde + muestra (kg)	6.11	6.29		
Peso volumétrico húmedo (kg/m3)	1915.16	1952.28		
Peso volumétrico seco (kg/m3)	1655.28	1687.36		
Compactación reproducida (%)	100.14	102.08		
Contenido de humedad				
Peso del suelo húmedo (gr)	250	250		
Peso del suelo seco (gr)	217.3	216.9		
Humedad (%)	15.0	15.3		
Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7.0	7.0		
Diámetro del espécimen (in)	4.0	4.0		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	1535.6	1906.2		
Área (in2)	12.6	12.6		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	8.6	10.7		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	9.6			

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de sitio	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-7 (1)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Resistencia a la compresión				
% de cemento	2	5	10	
Espécimen N°	1,2	3,4	5,6	
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022	24/6/2022	
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022	1/7/2022	
Edad	7	7	7	
Diámetro del espécimen (in)	4	4	4	
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5	11.5	
Carga (Lb)	661.88	1270.80	1720.88	
Área (in2)	12.57	12.57	12.57	
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	3.70	7.11	9.63	
Bolsas de cemento por m3	0.54	1.35	2.70	



Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Densidad seca máxima (kg/m3)	2002.8
Humedad optima (%)	9.5

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.000913

Compactación				
% de cemento	2			
Espécimen N°	1	2		
Peso molde (kg)	4.18	4.27		
Peso molde + muestra (kg)	6.29	6.37		
Peso volumétrico húmedo (kg/m3)	2240.43	2230.85		
Peso volumétrico seco (kg/m3)	2046.05	2037.31		
Compactación reproducida (%)	102.16	101.72		
Contenido de humedad				
Peso del suelo húmedo (gr)	250	250		
Peso del suelo seco (gr)	229.2	228.9		
Humedad (%)	9.1	9.2		
Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7	7		
Diámetro del espécimen (in)	4	4		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	1853.25	2118.00		
Área (in2)	12.57	12.57		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	10.37	11.85		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	11.1			

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Densidad seca máxima (kg/m3)	2002.8
Humedad optima (%)	9.5

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.000913

Compactación				
% de cemento	5			
Espécimen N°	3	4		
Peso molde (kg)	4.449	4.184		
Peso molde + muestra (kg)	6.59	6.33		
Peso volumétrico húmedo (kg/m3)	2345.02	2350.49		
Peso volumétrico seco (kg/m3)	2037.31	2080.05		
Compactación reproducida (%)	101.72	103.86		
Contenido de humedad				
Peso del suelo húmedo (gr)	250	250		
Peso del suelo seco (gr)	229.3	229		
Humedad (%)	9.0	9.2		
Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7	7		
Diámetro del espécimen (in)	4	4		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	4659.60	4871.40		
Área (in2)	12.57	12.57		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	26.07	27.25		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	26.7			

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Densidad seca máxima (kg/m3)	2002.8
Humedad optima (%)	9.5

Peso muestra (gr)	5000
Volumen molde (m3)	0.000913

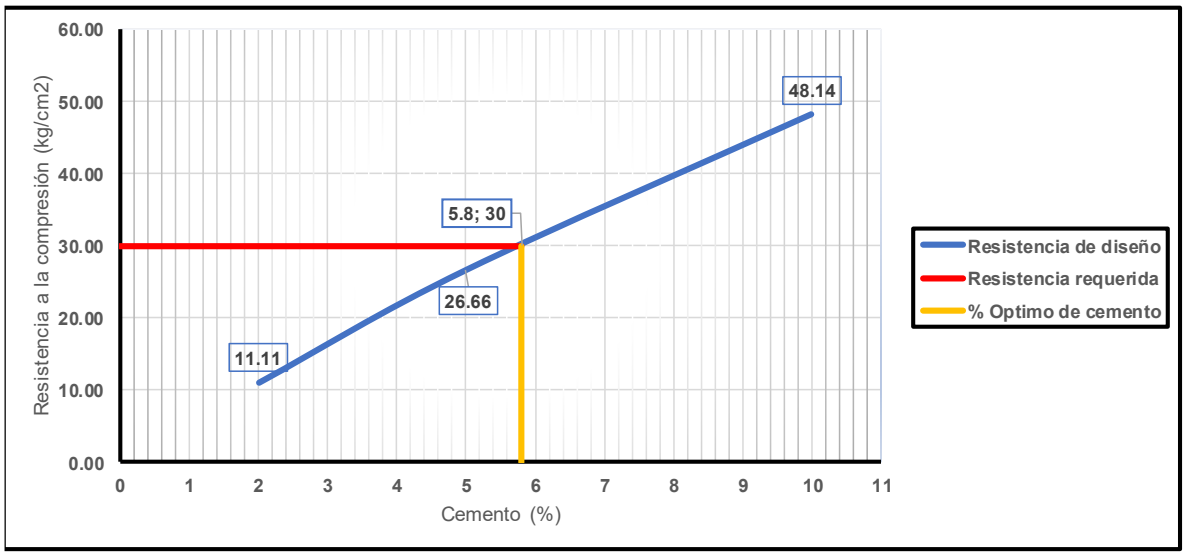
Compactación				
% de cemento	10			
Espécimen N°	5	6		
Peso molde (kg)	4.304	4.449		
Peso molde + muestra (kg)	6.42	6.57		
Peso volumétrico húmedo (kg/m3)	2317.63	2323.11		
Peso volumétrico seco (kg/m3)	2116.56	2121.56		
Compactación reproducida (%)	102.65	102.89		
Contenido de humedad				
Peso del suelo húmedo (gr)	250	250		
Peso del suelo seco (gr)	229.2	229.3		
Humedad (%)	9.1	9.0		
Resistencia a la compresión				
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022		
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022		
Edad	7	7		
Diámetro del espécimen (in)	4	4		
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5		
Carga (Lb)	8736.75	8472.00		
Área (in2)	12.57	12.57		
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	48.88	47.40		
Resistencia promedio (Kg/cm2)	48			

Proyecto:	Estabilización de suelos del proyecto “Mejoramiento vial de 350 ml de calle en el barrio Ana María”, en el municipio de Rosita, Region Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN)
Ensaye:	Resistencia a la compresión de especímenes de suelo cemento compactado

Material de banco	
Clasificación H.R.B. (AASHTO M-1445)	A-2-4 (0)

Resistencia (kg/m3)	30
Cemento tipo	CEMEX GU

Resistencia a la compresión				
% de cemento	2	5	10	
Espécimen N°	1,2	3,4	5,6	
Fecha de fabricación	24/6/2022	24/6/2022	24/6/2022	
Fecha de ensaye	1/7/2022	1/7/2022	1/7/2022	
Edad	7	7	7	
Diámetro del espécimen (in)	4	4	4	
Altura del espécimen (cm)	11.5	11.5	11.5	
Carga (Lb)	1985.63	4765.50	8604.38	
Área (in2)	12.57	12.57	12.57	
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	11.11	26.66	48.14	
Bolsas de cemento por m3	0.60	1.51	3.02	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2023

No. Recibo 23196 No. Inscripción 446

NOMBRES Y APELLIDOS: Jason Danilo Aguinaga Artola

CARRERA: INGENIERIA CIVIL **CARNET:** 2017-0036u **TURNO:**

PLAN DE ESTUDIO: 2015 **SEMESTRE:** PRIMER SEMESTRE 2023 **FECHA:** 17/02/2023

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1						
	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

CMPEREZ

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

FIRMA DEL ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 17-feb.-2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

AGUINAGA ARTOLA JASON DANILO

Carné: **2017-0036U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL,** y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de marzo del año dos mil veinte y tres.

Atentamente,

MSc. Ana Rosa López Olivas
Secretario de Facultad

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 06-mar.-2023