



Universidad Científica del Perú - UCP
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E
INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO
DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE CON CEMENTO PÓRTLAND
Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, EN EL
CAMINO VECINAL, MORALES - POLVORAICO, EN EL DISTRITO DE
MORALES, PROVINCIA Y REGIÓN SAN MARTÍN – 2020**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR (es):

**RAMIREZ PINCHI, Perseo
GUERRA SÁNCHEZ, Epifanio Felimón**

ASESOR:

M.Sc. RÍOS VARGAS, Caleb

TARAPOTO – SAN MARTÍN – 2021

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por darnos salud, fortaleza y vida en todo momento, a nuestros padres, por el apoyo incondicional que nos brindan, a los profesionales que formaron parte de nuestra formación profesional para concretizar la meta trazada.

AGRADECIMIENTO

A: Dios

Por tener el control de nuestras vidas e iluminar nuestro camino en todo momento y superar obstáculos.

A: Mis Padres y Familiares

Por el apoyo incondicional brindado en todo el trayecto para lograr nuestros metas.

A: Mi Alma Mater

Universidad Científica del Perú,
por darnos la oportunidad de crecer académicamente, y formar profesionales pegados a la ciencia y la investigación.

A: Mi Asesor M.Sc. Ing. Caleb Ríos Vargas

Por su asesoramiento y guía para realizar el trabajo de investigación.

¡Este logro es gracias a ustedes!

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 179-2020-UCP-FCEI del 09 de marzo de 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Enrique Napoleon Martinez Quiroz, M. Sc. | Presidente |
| • Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M. Sc. | Miembro |
| • Ing. Joel Padilla Maldonado, M. Sc. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Caleb Rios Vargas, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 20:00 horas del día 03 de agosto del 2021, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis “ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE CON CEMENTO PÓRTLAND Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, EN EL CAMINO VECINAL, MORALES - POLVORAICO, EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y REGIÓN SAN MARTÍN – 2020”.

Presentado por los sustentantes:

PERSEO RAMÍREZ PINCHI Y EPIFANIO FELIMÓN GUERRA SÁNCHEZ

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR UNANIMIDAD CON LA NOTA DE DIESEISES (16)**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

Urkund Analysis Result

Analysed Document: UCP_INGENIERIA
 CIVIL_2021_PERSEORAMIREZ_EPIFANIOGUERRA_V1.pdf..pdf
 (D107915271)

Submitted: 6/4/2021 8:08:00 PM

Submitted By: revision.antiplagio@ucp.edu.pe

Significance: 17 %

Sources included in the report:

UCP_INGENIERIA CIVIL_2021_ROSVERCIEZA KELLYMARIN_V1.pdf.pdf (D98657521)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TERMINADO (ÚLTIMO).docx (D54926256)

UCP_ingenieriacivil_2020_Tesis_MariselvaAngulo_CintiaZavaleta_V1.pdf (D90481757)

UCP_INGENIERIA_2019_TSP_DICKLEONARDOJARAMILLO_VF.pdf (D55250174)

TFM LETICIA LÓPEZ LÓPEZ_ FEBRERO 2021.pdf (D95412427)

TESIS.docx (D57406016)

TESIS PATRICIA MONSERRATH MANZANO ORTIZ.pdf (D94994765)

UNC_CIVIL_2021_AGIP JOSE KEVINS JOSÉ KEVINS.pdf (D96667436)

GRAMATOLOGÍA SUBRASANTE 14052019 - URKUND 2.docx (D52141129)

ad931893-5d38-4472-8e96-22a2d6c98e31

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/3156/Cliver_Tesis%20Licenciatura_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/UNAP/13319/4/Atencio_Huanacuni_Lidia_Luz.pdf.txt

<https://docplayer.es/83423108-Pontificia-universidad-catolica-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-escuela-de-civil-disertacion-previa-a-la-obtencion-del-titulo-de-ingeniero-civil.html>

<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2534/INFORME%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://docplayer.es/96561750-Facultad-de-ingenieria.html>

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13798/Castillo%20Brice%C3%B1o%2C%20Paola%20Emperatriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instances where selected sources appear:

79

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

"ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE CON CEMENTO PÓRTLAND Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, EN EL CAMINO VECINAL, MORALES - POLVORAICO, EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y REGIÓN SAN MARTÍN – 2020"

De los alumnos: **RAMIREZ PINCHI PERSEO Y GUERRA SÁNCHEZ EPIFANIO FELIMÓN**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **17% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 16 de junio del 2021.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
HOJA DE ANTIPLAGIO	iii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	14
1.1. Antecedentes del Estudio	14
1.2. Bases teóricas	18
1.2.1. Geología	19
1.2.2. Topografía	19
1.2.3. Clima	19
1.2.4. Factor Suelo	19
1.2.5. Pavimento	31
1.2.6. Diseño del Pavimento Flexible	36
1.3. Definición de terminos Básicos	39
CAPITULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	41
2.1. Descripción del Problema	41
2.2. Formulación del Problema	43
2.2.1. Problema General	43
2.2.2. Problemas Específicos	43
2.3. Objetivos	44
2.3.1. Objetivo General	44
2.3.2. Objetivos Específicos	44
2.4. Hipótesis	44
2.4.1. Hipótesis general	44
2.4.2. Hipótesis específicas	44
2.5. Variables	45
2.5.1. Identificación de variables	45
2.5.2. Definición Conceptual y Operacionalidad de las Variables ..	45

2.5.3. Operacionalización de las Variables	46
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	48
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	48
3.1.1. Tipo de Investigación	48
3.1.2. Diseño de investigación	48
3.2. Población y muestra	49
3.2.1. La población.....	49
3.2.2. Muestra	50
3.2.3. Ámbito geográfico	50
3.3. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos	52
3.3.1. Técnicas de Recolección de datos.....	52
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos.....	53
3.3.3. Procedimiento de Recolección de Datos.....	53
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	69
4.1. Propiedades para la caracterización de los suelos en estado	
natural.....	69
4.1.1. Trabajo de investigación de campo.....	69
4.1.2. Trabajo experimental de laboratorio.....	73
4.2. Estabilización del suelo de la subrasante	87
4.2.1. Determinación del porcentaje de cemento	87
4.2.2. Propiedades de los suelos estabilizados con cemento	89
4.3. Diseño de pavimento flexible	94
4.3.1. Variables de diseño.....	94
4.3.2. Diseño de espesores.....	101
CAPITULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
.....	107
Referencias bibliográficas.....	110
Anexos.....	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de un suelo según tamaño de partículas	21
Tabla 2: Clasificación de los suelos según el Índice de Plasticidad	22
Tabla 3: Consistencia de un suelo en función de su índice de consistencia	24
Tabla 4: Clasificación de suelos para subrasante según Índice de Grupo	25
Tabla 5: Correlación de tipos de suelos SUCS vs AASHTO	26
Tabla 6: Categorías de Subrasante en función del CBR%	27
Tabla 7: Cantidad de cemento en % del peso de los suelos	29
Tabla 8: Cantidad de cemento requerido por volumen para estabilizar suelos	30
Tabla 9: Requerimiento de ensayos especiales	33
Tabla 10: Requerimientos del huso de granulometría - subbase granular	34
Tabla 11: Requerimientos de granulometría - base granular	35
Tabla 12: Relación de Soporte California en la franja utilizada	35
Tabla 13: Requerimiento de agregado grueso para la base granular	35
Tabla 14: Requerimiento de agregado fino que pasa la malla N°4, para la base granular	36
Tabla 15: Definición Conceptual y Operacionalidad de las Variables	46
Tabla 16: Operacionalización de las Variables	47
Tabla 17: Instrumentos de Recolección de datos, fichas según normas .	53
Tabla 18: Valores para el factor de corrección	57
Tabla 19: Datos de precipitación total mensual (mm)	71
Tabla 20: Ubicación de las calicatas	72
Tabla 21: Contenido de Humedad	73
Tabla 22: Resultado de Análisis Granulométrico de las 05 calicatas	75
Tabla 23: Resumen de ensayo de límite de Atterberg en las calicatas	77
Tabla 24: Resumen de la clasificación de suelos Km 0+000 al 4+000	80
Tabla 25 : Peso Específico Relativo de Sólidos	81
Tabla 26: Resumen de ensayo Proctor Modificado Km 0+000 al Km 4+000	84

Tabla 27: Resumen de ensayo de CBR Km 0+000 al Km 4+000	86
Tabla 28: Cantidad de cemento para el ensayo de compactación según Rocha	88
Tabla 29: Cantidad de cemento para el ensayo de compactación MTC ..	88
Tabla 30: Resultado del ensayo del Límites de Consistencia con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%.....	89
Tabla 31: Resultado del ensayo de Proctor Modificado con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%.....	91
Tabla 32: Resultado del ensayo CBR con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%.....	93
Tabla 33: Valores recomendados de confiabilidad (R)	95
Tabla 34: Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Zr) .	95
Tabla 35: Calidad de drenaje	100
Tabla 36: Valores recomendados del coeficiente de drenaje	100
Tabla 37: Espesores mínimos (pulgadas) de carpeta asfáltica y base .	102
Tabla 38: Número estructural (S _{Ni}) asociado al módulo de resiliencia (M _r) de la base, subbase y subrasante	103
Tabla 39: Resultado de los espesores de las capas en pulgadas	104
Tabla 40: Alternativas de espesores según la guía AASHTO.....	105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño de la investigación: tratamiento de las variables.....	49
Figura 2: Mapa político del Perú - Departamento San Martín	50
Figura 3: Mapa político del distrito de Morales.....	51
Figura 4: Mapa de Ubicación del tramo de la carretera Polvoraico.....	51
Figura 5: Técnicas de observación en la investigación	52
Figura 6: Contenido de Humedad	74
Figura 7: Clasificación de suelos según su tamaño de las 05 calicatas... 75	
Figura 8: Análisis de resultado de índice de consistencia de las 05 calicatas.....	78
Figura 9: Resumen de ensayo de Límite de Atterberg de las 05 calicatas	79
Figura 10: Análisis de los Pesos Específico de los suelos las 05 calicatas	81
Figura 11: Perfil estratigráfico de la Progresiva Km 0+000 al Km 4+000. 82	
Figura 12: Resumen de ensayo Proctor Modificado Km 0+000 al Km 4+000.....	85
Figura 13: Resumen de ensayo Proctor Modificado Km 0+000 al Km 4+000.....	86
Figura 14: Análisis del resultado de ensayo del Límites de Consistencia con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%.....	90
Figura 15: Análisis del resultado de ensayo de Proctor Modificado con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%.	92
Figura 16: Análisis del ensayo CBR con adición de cemento de 0%, 4%, 8% Y 12%	93
Figura 17: Coeficiente estructural a1 en función del módulo elástico del concreto asfáltico.	97
Figura 18: Coeficiente estructural a2 en función de diferentes parámetros de fuerza de la base	98
Figura 19: Coeficiente estructural a3 en función de diferentes parámetros de fuerza de la subbase.....	99

Figura 20: Procedimiento de diseño de los espesores de las capas 104

Figura 21: Figura: Sección transversal del pavimento flexible – AASHTO
..... 106

RESUMEN

En nuestra investigación se logró identificar las características y propiedades físicas y mecánicas del terreno de fundación de la carretera sector Morales – Polvoraico. Así mismo se realizó la estabilización de las muestras obtenidas con cemento portland, con el objetivo de conocer la dosificación necesaria para alcanzar el CBR óptimo de la carretera, que exige el MTC.

La finalidad del estudio es obtener valores adecuados de las propiedades del suelo natural que conforma la subrasante de la carretera Morales – Polvoraico, que es de bajo tránsito y no pavimentada, aplicándose proporciones de 4%, 6% y 8% de cemento portland.

Asimismo, se realizaron los ensayos de laboratorio: Análisis Granulométrico, límites de consistencia, determinación del peso específico máximo y humedad óptima (Proctor), y el Valor Relativo de Soporte (CBR), del material en estado natural; y del mismo modo estabilizado con cemento portland.

Los resultados de los ensayos de CBR, en estado natural del suelo es de 22.60%, y aplicando la técnica de suelo-cemento en proporción 4%, 6% y 8% es de 7.70%, 13.90% y 22.50% respectivamente; estos resultados obtenidos son satisfactorios, pues los porcentajes de 4%, 6% y 8% de cemento portland adicionado al suelo natural logró obtener valores altos; en consecuencia, se ha logrado un buen material para la subrasante que además puede ser usado como base del pavimento.

Palabras claves – Estabilización de suelos, dosificación, CBR, cemento, subrasante.

ABSTRACT

In our investigation, it was possible to identify the characteristics and physical and mechanical properties of the foundation ground of the Morales-Polvoraico sector highway. Likewise, the stabilization of the samples obtained with portland cement was carried out, in order to know the dosage necessary to achieve the optimal CBR of the road, which is required by the MTC.

The purpose of the study is to obtain adequate values of the properties of the natural soil that makes up the subgrade of the Morales - Polvoraico highway, which is low-traffic and unpaved, applying proportions of 4%, 6% and 8% of portland cement.

Likewise, laboratory tests were carried out: Granulometric Analysis, consistency limits, determination of the maximum specific weight and optimum humidity (Proctor), and the Relative Support Value (CBR) of the material in its natural state; and similarly stabilized with portland cement. The results of the CBR tests, in the natural state of the soil is 22.60%, and applying the soil-cement technique in proportion 4%, 6% and 8% is 7.70%, 13.90% and 22.50% respectively; These results obtained are satisfactory, since the percentages of 4%, 6% and 8% of portland cement added to the natural soil managed to obtain high values; consequently, a good material has been achieved for the subgrade that can also be used as the base of the pavement.

Keywords - Soil stabilization, dosage, CBR, cement, subgrade.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas para la construcción es la inestabilidad del suelo, como consecuencia se percibe hundimientos, expansiones y colapsos de distintas obras civiles; lo cual genera gastos extraordinarios para su restauración, para ello es necesario realizar investigaciones que puedan mitigar los problemas frecuentes mencionados.

En nuestra investigación se logró identificar las propiedades físicas y mecánicas del suelo del terreno de fundación del sector Morales-Polvoraico. Además, se realizó el estudio del comportamiento del suelo estabilizado con Cemento Portland.

En un sentido más amplio, Sowers, GB y Sowers, GF (1972), indican que la estabilización incluye la compactación, el drenaje, la pre consolidación y la protección de la superficie contra la erosión o la infiltración de la humedad; sin embargo, al término estabilización se le va restringiendo gradualmente su alcance a un solo aspecto de mejoramiento: la modificación del propio material que constituye el suelo.

En toda obra de construcción civil, se necesita realizar el estudio de Mecánica de Suelos, para conocer todas las características necesarias del terreno de fundación, para su mejoramiento y de acuerdo a ello realizar el diseño de la infraestructura.

Por lo tanto, en la presente investigación nos planteamos el objetivo de resolver el problema, mediante la determinación de la influencia de la estabilización de la subrasante con cemento Portland.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes del Estudio

Antecedentes Internacionales

Alzate, A et all (2019), en su investigación *“Mejoramiento de la Subrasante en vías de Tercer Orden”*, presentada a la Universidad Libre Seccional Pereira de Colombia, en cuyo objetivo se plantean, Evaluar el cemento como aditivo estabilizante en la capa de subrasante para la vía Llano Grande, jurisdicción del municipio de Pereira-Risaralda, (Alzate, A et all, 2009, pág. 21)

Concluyendo que, se obtuvo una mejora de más del cien por ciento en los cuatro estratos trabajados, agregando el 13 % de cemento, con un contenido de humedad de 45 % para el Sondeo 2 (k0+400) a una profundidad de 0.25 m hasta 1.50 m, un contenido de humedad de 40 % para el Sondeo 3 (k0+600), a una profundidad de 0.00 m hasta 1.00 m, humedad del 40 %, un contenido de humedad de 30 % para el Sondeo 3 (k0+600) a una profundidad de 1.00 m hasta 1.50 m y para el Sondeo 4 (k0+800) a una profundidad de 0.15 m hasta 0.66 m, (Alzate, A et all, 2009, pág. 128)

En la presente investigación se investigó la influencia en el comportamiento del terreno de fundación o subrasante, para lo cual debemos seleccionar las muestras que cumplan con las características físicas, en este caso se evaluó la cantidad de cemento Pórtland, y que mediante un diseño apropiado, permita obtener una resistencia adecuada e interpretar sus resultados, si tenemos que la norma considera los diferentes tipos de suelos y el aditivo que mejor se adecue al suelo existente, (Braja M. Das 2007, pág. 764).

Gavilanes Bayas, E. (2015), en su tesis *“Estabilización y Mejoramiento de Sub-Rasante Mediante Cal y Cemento Para Una Obra Vial en el Sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur”*, presentada ante

la Universidad Internacional del Ecuador, en su objetivo general se propone investigar. Mediante la observación que se obtiene la mejora de la resistencia del suelo natural medido mediante el CBR, que el terreno natural siendo inadecuado para resistir cargas y que, mediante el uso de aditivos, mejora sustancialmente estos valores y permite que el diseño del pavimento sea más económico. En sus conclusiones considera que, el uso de cemento para estabilizar el suelo es ventajoso, puesto que, se logra disminuir el espesor, en relación a su estado natural. En el aspecto constructivo esto nos favorece en una disminución de los costos de construcción. Los suelos tratados con cemento incrementan su capacidad de soporte de cargas a valores mayores que permiten ser más eficientes, (Gavilanes Bayas, E. 2015, pág. 76)

Se han realizado varios estudios indicando que los suelos granulares y los suelos blandos con baja plasticidad son los que mejor se comportan y estableciendo que son los más adecuados para la estabilización con cemento. También se ha reportado que las arcillas cálcicas se estabilizan con mayor facilidad con el uso de la concentración de cemento y las arcillas expansivas tienen mejor respuesta a la estabilización con el uso de cal, en consecuencia, tiene gran importancia la determinación de las características físicas del suelo que conforma el terreno de fundación, por lo que en la presente investigación se realizó la selección del material estabilizante, (Braja M. Das 2007, pág. 765).

Cedeño Plaza D. (2013), en su trabajo de graduación *“Investigación de la Estabilización de Suelos con Enzima Aplicado a la sub-rasante de la Avenida Quitumbe - Ñan, Cantón Quito”*, se plantea mejorar las propiedades físico – mecánicas del suelo en carreteras, con suelos de fundación de matriz limosa o arcillosa, mediante la aplicación de estabilizante de suelo a base de enzimas orgánicas. Llegando a los resultados: De los ensayos CBR realizados en el suelo en estudio se puede observar que existe variación en la capacidad de soporte, así en el caso del suelo natural sin ninguna modificación se obtiene un valor CBR de 9.5%,

sin embargo con adición de concentración de cemento, se llega a los resultados de la resistencia máxima a la compresión simple sin confinar que puede alcanzar el suelo estabilizado con cemento es de 30 Kg/cm^2 al ser compactado con una humedad óptima de 19% para el suelo ensayado. Este valor máximo de resistencia a la compresión del suelo estabilizado se alcanza con el 12% de adición de cemento con respecto al suelo seco en peso. Y Concluye que la estabilización realizada mejora sustancialmente las características mecánicas que inicialmente tenía una resistencia del terreno de fundación medido mediante el CRR era del 9.5% y mediante la estabilización llega al 15.8%, (Cedeño Plaza D. 2013, pág. 195).

Antecedentes nacionales

Velásquez, C. (2018), en su tesis *“Influencia del Cemento Portland Tipo I en la Estabilización del Suelo Arcilloso de la Subrasante de la Avenida Dinamarca, Sector la Molina”*, presentada ante la Universidad Nacional de Cajamarca. En su objetivo plantea: Evaluar la influencia del cemento Portland Tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina.

Llega a concluir que, la influencia del cemento Portland Tipo I, en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina, se reflejó en la reducción de su índice de plasticidad e índice de contracción y en el incremento del índice CBR%, que siendo el suelo natural desfavorable como terreno de fundación con $CBR\% = 1.3\%$ y luego de la estabilización con cemento, se observa que para el 5%, se obtiene un CBR del 13.75%, al 95% de la densidad seca máxima (DSM), (Velásquez, C. 2018, pág. 87).

Mamani, W. (2018). En su tesis *“Análisis de estabilización de suelos con cemento, en componentes estructurales para diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles en vías de bajo volumen de tránsito”*, presentada ante la Universidad Peruana Unión de Juliaca. En cuyos resultados obtiene que: Según los estudios obtenidos, de la

caracterización de subrasante, o suelo de fundación, se tiene un CBR de diseño de 12.79%, clasificada como “subrasante buena”. Por lo tanto, como lo indicó en su objetivo está centrado a establecer cómo influye la adición de concentración de cemento en la subbase y base que es parte de la estructura del pavimento considerada como cimiento. Para el diseño de la subbase granular, manifiesta que: Según la clasificación AASHTO el suelo quedó clasificado como $A - 1 - a (0)$ y el porcentaje de cemento en peso del 5%, debiendo ensayarse a compresión simple a los 7 días, superando los 1.8 Mpa , o 18 Kg/cm^2 especificados por la AASHTO, siendo los resultados obtenidos, de 17.7 Kg/cm^2 , 17.8 Kg/cm^2 y 10.2 Kg/cm^2 , este resultado final se omite, por ser muy diferente a los dos anteriores y toma el resultado promedio, fue de 17.75 Kg/cm^2 ensayado a los 7 días, por ser próximo a valor de las especificaciones, se da por aceptado el diseño. Para el diseño de la base tratada con adición de cemento, manifiesta que: Según la clasificación AASHTO se clasifico a la mezcla de suelo como $A - 1 - a (0)$, se obtuvo un porcentaje de cemento en peso de 5%, debiendo ensayarse a compresión simple a los 7 días, superando los 1.8 Mpa , o 18 Kg/cm^2 . Los resultados obtenidos, en laboratorio fueron de 19.2 Kg/cm^2 , 19.6 Kg/cm^2 y 19.3 Kg/cm^2 . Siendo el el resultado promedio de 19.4 Kg/cm^2 ensayado a los 7 días, dicho resultado cumple con las especificaciones correspondientes, por lo tanto, se da por aceptado el diseño. Y concluye que: La estabilización de suelo con cemento, a nivel de componentes estructurales (base y sub base granular), incrementa la resistencia, medido en valor relativo de soporte (CBR), con ello aumenta el coeficiente estructural, para el diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO, (Mamani, W. 2018, pág. 90).

Antecedentes Regionales

Alata, Jhank y Vásquez, Roque (2019), en su tesis “Estudio Exploratorio de Estabilización con Cemento Portland de Subrasante de Suelo Areno-Arcilloso en Carretera no Pavimentada el Paujil, Loreto. Iquitos, 2019. En

sus resultados manifiesta que el suelo en su estado natural al ser compactado se obtiene una relación de Máxima Densidad Seca (MDS) de 1.878 gr/cm^3 versus Óptimo contenido de Humedad (OCH) igual a 12.44%. observando que no hay mayor variación con la concentración de cemento al 4%, 6% y 8% en cuanto a los valores de la MDS vs OCH. Sin embargo, el suelo en estado natural presenta un $CBR\% = 22.6\%$ al 95% de la MDS, con la adición de cemento del 4% el $CBR = 138.00\%$, al 95 % MDS. Con la adición de cemento del 6% el $CBR = 148.00\%$, al 95 % MDS. En la adición de cemento del 8% el $CBR = 258.00\%$, al 95 % MDS. En su investigación concluye que, se obtuvo resultados satisfactorios, pues los porcentajes de 4%, 6% y 8% de cemento portland lograron obtener valores de CBR elevados mayores a los esperados, (Alata, J. y Vásquez, R. 2019, pág. 76)

1.2. Bases teóricas

En el contexto nos planteamos determinar las características físicas y mecánicas en primer lugar, del suelo en su estado natural obtenido mediante muestras representativas y sometidas a ensayos de laboratorio en concordancia con las normas técnicas peruanas e internacionales, En segundo lugar de la mezcla estabilizada del suelo con la concentración de cemento Portland, y luego se ensayarán en el laboratorio y observar la variación con respecto a las características mecánicas del suelo en su estado natural.

En la presente investigación la principal atención estará en la determinación de los factores intervinientes, así como de las características físicas y mecánicas del suelo estabilizado con la concentración de cemento en porcentaje requerido y su influencia en el diseño estructural del pavimento flexible que es el planteamiento del tema central; para realizar la investigación nos basaremos en el estado de la ciencia y en los métodos pertinentes ya establecidos. Así mencionaremos:

1.2.1. Geología

Las características geológicas nos permiten conocer, las unidades geomorfológicas del área de estudio y su comportamiento e influencia, analizar los fenómenos geológico climáticos, establecer las características estructurales del área de emplazamiento del proyecto, (M. Royo Ochoa et all. 2014, pág. 11).

1.2.2. Topografía

Formular la clasificación de los materiales sujetos a los procesos constructivos, excavación, corte y relleno, entendiendo desde el punto de vista de una zonificación topográfica y la necesidad de la obra en la obtención de las pendientes de diseño.

1.2.3. Clima

Los factores que tienen gran influencia en el diseño y comportamiento del pavimento, es la temperatura y las precipitaciones y que en esta región San Martín tienen marcada presencia generalmente todo el año. Es conocido que la Selva, de naturaleza tropical con temperaturas bastante altas y lluvias muy fuertes, siendo de vital importancia determinar el promedio mensual de las precipitaciones de las estaciones meteorológicas, de la zona de estudio, (MTC. 2013, pág. 91).

1.2.4. Factor Suelo

El suelo que, siendo la parte superficial de la corteza terrestre, viene hacer el material sobre el cual el hombre edifica sus construcciones verticales como edificios, puentes y las obras horizontales que, podríamos considerar a los pavimentos, líneas férreas, etc.

Así el suelo como material de fundación de estructuras debe ser capaz de resistir las cargas impuestas por el peso de la estructura y carga viva, las mismas que son transmitir las a las capas más inferiores hasta que estas lleguen a disiparse, en tal razón al suelo

hay que estudiarlo hasta esa profundidad. Así entonces en esta investigación estudiaremos sus características físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo (en su estado natural) de la subrasante o capa superior del terreno de fundación, siendo esta la que reciba la carga de la estructura del pavimento y la que transmitan los vehículos, (Juárez B. y Rodríguez, R. 2005- T-I pág. 34).

Los suelos deberán cumplir los requerimientos especificados y para su aplicación se determinarán las características siguientes:

1.2.4.1. Características físicas

1.2.4.1.1. La granulometría de los suelos

En la naturaleza los tamaños de las partículas de los suelos, juegan una enorme importancia como indicador de su comportamiento mecánico, entonces es necesario conocer y determinar mediante el análisis granulométrico por el método del tamizado en seco, con un juego de tamices en tamaño descendente desde las de 75 mm hasta todo lo que sea retenido por la malla de 0.075 mm, se denomina material granular con o sin finos, si más del 50% pasa la malla de 0.075 mm serán los suelos blandos y su granulometría será determinada por el método de sedimentación, materiales en los cuales tiene gran influencia la presencia de humedad natural y/o si están sumergidos por la presencia del nivel freático, como el caso de los limos y arcillas cuyo tamaño de partículas son menores a 2 micras, (Juárez, B. y Rodríguez R. 2005, pág. 97).

Siendo el ensayo del análisis granulométrico una prueba, para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo, se realiza mediante las normas técnicas NTP.339.128, ASTM D422, MTC E 107.

Según el MTC (2013), establece que el análisis granulométrico de un suelo luego de ser determinado a través de los ensayos de laboratorio, sirve para determinar la proporción de sus diferentes tamaños de partículas constituyentes, con lo cual son clasificados en tamaños con denominación de gravas, arena y material blando, que viene hacer los limos y las arcillas indicadas en la tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de un suelo según tamaño de partículas

Tipo de material		Tamaño de partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena	Gruesa	4.75 mm - 2.00 mm
	Media	2.00 mm - 0.425 mm
	Fina	0.425 mm - 0.075 mm
Material blando	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: MTC (2013, pág. 35)

1.2.4.1.2. Límites de plasticidad

La plasticidad de los suelos es la capacidad que presenta para ser moldeables o capaz de presentar cierta trabajabilidad, la cual depende directamente de la cantidad de arcilla que se lo conoce como material ligante o de cohesión ente las partículas y del contenido de humedad, (Juárez, B. y Rodríguez, R. 2005, pág. 127).

Siendo los más conocidos y utilizados en la clasificación de los suelos los siguientes:

Límite Líquido (LL)

Según Das, B. (2007 pág. 5) Un suelo, de acuerdo al contenido de humedad y dependiendo del lugar se puede encontrar en los cinco estados de la materia, pasando por el estado, líquido, líquido viscoso, plástico, semisólido y sólido. Cuando el material suelo tiene pues un determinado de humedad

en la cual no puede ser moldeable, este tendrá la apariencia de un estado semilíquido o la apariencia de un líquido viscoso, en la naturaleza como un lodo fácil de ser transportado pendiente abajo, pero conforme va disminuyendo el agua o se va deshidratando, va llegando el momento en el cual el material adquiere una consistencia trabajable, en este instante se dice que ha pasado al estado plástico y se determina mediante las normas NTP339.129 ASTM D4318, MTC E 110.

Límite plástico (LP)

Según Das, B. (2007 pág. 5), Si el suelo en el tiempo continua con su deshidratación, mediante un procedimiento de rolar sobre un bloque de vidrio limpio, llegará un momento en que el material ya deja de ser trabajable y presentará rajaduras o se cuartea al seguir moldeándolo, podemos decir que el suelo ha pasado a un estado semisólido y se termina mediante las normas NTP339.129 ASTM D4318, MTC E 111.

Índice plástico.

Es un parámetro característico y que nos indica el grado de plasticidad al hacer una correlación con los valores del Límite Líquido (LL) (tabla 2), cuyo valor queda definido por la sustracción del Límite líquido menos el Límite Plástico, (Das, B. 2007 pág. 5) y se define en la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP \dots \dots \dots (1)$$

Tabla 2: Clasificación de los suelos según el IP

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	NP (No plástico)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: MTC (2013, pág. 37)

1.2.4.1.3. Contenido de humedad

En los laboratorios de mecánica de suelos es determinable el peso de la muestra húmeda y seca respectivamente y la sustracción es el peso del agua. Por lo tanto, el contenido de humedad del suelo en el tiempo y espacio, se lo expresa como un porcentaje del peso del agua entre el peso de los sólidos y es determinable mediante las normas, NTP 339.127, ASTM D2216, MTC E 108, (MTC. 2013, pág. 38).

1.2.4.1.4. Índice de cohesión

Establece una relación que nos permite calificar al suelo desde el punto de vista del estado en que se puede encontrar en el tiempo y espacio, (apuntes de clase del Ing. Martínez, E. 2017) y se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$I_{\omega} = \frac{LL - \omega}{IP} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde: I_{ω} : es el índice de cohesión, LL : es Límite líquido, ω : es el contenido de humedad natural, IP : es el índice plástico.

Crespo, C. (2004, pág. 79), Manifiesta que los índices de consistencia cuando tienden a cero los suelos tienen como resultado esfuerzos a ruptura por compresión axial no confinada (q_u) comprendido entre 0.25 y 1 kg/cm². Si la consistencia relativa es aproximadamente igual a 1, el q_u puede estar comprendido entre 1 y 5 kg/cm². Asimismo, el esfuerzo de corte de un suelo crece a medida que el índice de consistencia relativa varía de 0 a 1.

Tabla 3: Consistencia de un suelo en función de su índice de consistencia

Ítem	Intervalo	Grado de consistencia
1	$I_{\omega} < 0$	Consistencia líquida
2	$0 < I_{\omega} < 0.50$	Consistencia viscosa
3	$0.50 < I_{\omega} < 0.75$	Consistencia suave
4	$0.75 < I_{\omega} < 1$	Consistencia Plástica
5	$I_{\omega} > 1$	Consistencia dura sólida

Fuente: Apuntes de clase Ing. Martínez, E. (2017, pág. 89)

1.2.4.1.5. Gravedad específica

La gravedad específica de un suelo (G_s) se define como el cociente entre el peso al aire de las partículas sólidas y el peso al aire de un volumen igual de agua destilada, considerando a igual temperatura y el mismo volumen, (Bowles, J. 1978, pág. 61).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\frac{W_{\omega}}{V_{\omega}}} = \frac{W_s}{W_{\omega}} \dots \dots \dots (3)$$

Dónde: G_s , es la gravedad específica de los sólidos (gr/cm^3), γ_0 : Peso específico del agua destilada a 4°C (gr/cm^3) y concordancia al segundo principio de Arquímedes $V_s = V_{\omega}$ y queda determinada mediante la ASTM D 854-58.

1.2.4.1.6. Clasificación de suelos

La clasificación de los suelos queda determinada por el tamaño de las partículas, los cuales en la naturaleza se encuentran en forma combinada, tal como la mezcla de gravas, arenas, limos y arcillas. La determinación del rango de los tamaños de los granos se lo realiza mediante el análisis de los ensayos granulométricos y la respectiva carta de plasticidad, (Apuntes de clase del Ing. Martínez, E. 2018, pág. 93) y actualmente en uso tenemos los métodos siguientes:

El método SUCS, que, se basa en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales, la plasticidad y la agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción. Para la clasificación se toma en cuenta lo siguiente: Porcentaje de la fracción que pasa el tamiz N°200, Forma de la curva de distribución granulométrica y características de plasticidad y compresibilidad, (Apuntes de clase del Ing. Martínez, E. 2018, pág. 93).

El método AASHTO, mediante el cual se distingue entre 7 grupos básicos: El mejor suelo para sub rasante de carreteras viene clasificado como A - 1, le sigue en calidad el A - 2, siendo el A - 7 de peor calidad. Los siete grupos básicos se han dividido en sub grupos con un Índice de Grupo (**IG**), con el fin de aproximar dentro de las valorizaciones del grupo, los índices de grupo van de cero (0) para la mejor subrasante a 20 para las pésimas. Los incrementos de valor de los índices de grupo reflejan una reducción en la capacidad para soportar cargas, por el efecto combinado del LL el IP y disminución en el % de material grueso, (Apuntes de clase del Ing. Martínez, E. 2018, pág. 93).

El índice de grupo (IG), es un valor entero positivo, comprendido en el intervalo de 0 a 20 y sirve para reagrupar los suelos según sus características, un valor de $IG \geq 20$ no deben ser utilizados en caminos, (MTC. 2013, pág. 38).

Tabla 4: Clasificación de suelos para subrasante según Índice de Grupo

Índice de Grupo	Subrasante
$IG > 9$	Muy Pobre
$4 < IG < 9$	Pobre
$2 < IG < 4$	Regular
$1 < IG < 2$	Bueno
$0 < IG < 1$	Muy Bueno

Fuente: MTC (2013 pág. 38)

También es necesario establecer una relación entre los dos métodos de clasificación actualmente en uso, según se muestra en la tabla 5, (MTC. 2013, pág. 39).

Tabla 5: Correlación de tipos de suelos SUCS vs AASHTO

Clasificación SUCS ASTM-D-2487	Clasificación AASHTO M-145
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: MTC. 2013, pág. 39

1.2.4.2. Características mecánicas

1.2.4.2.1. Proctor modificado

MTC (2013) El objetivo de este ensayo es la determinación de la densidad seca máxima (MDS) versus el óptimo contenido humedad (OCH), este ensayo se determina en el laboratorio y debe compararse con la densidad seca obtenida en el campo, lográndose determinar el control de calidad, (Apuntes de clase del Ing. Martínez, E. 2018, pág. 93).

Con este método y mediante un procedimiento observamos la influencia del contenido de humedad, en consecuencia podemos observar la variación del contenido de humedad, en dos campos uno en el lado seco y otro en el lado húmedo de la curva, en la primera parte la humedad creciente hasta alcanzar la densidad la densidad seca máxima y luego en la segunda parte la humedad va en ascenso, sin embargo la densidad seca decrece, de tal manera que la MDS tendrá un contenido de humedad denominado OCH y determinamos mediante las normas ASTM D-968, MTC E 115.

1.2.4.2.2. Relación de Soporte California (CBR)

El índice CBR, es un valor empírico que sirve para determinar la resistencia de terrenos de fundación y/o cimentación de carreteras, aeropuertos, etc. Será determinado por la penetración de un pistón con velocidad de 1.27 mm/minuto, que penetra en una muestra compactada al contenido óptimo de humedad modificado (OCH), (MTC. 2013, pág. 39).

El índice CBR, se obtiene mediante un procedimiento especificado, es directamente proporcional al porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en el suelo que se ensaya, e inversamente al esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad en una muestra patrón compuesto de piedra triturada y compactada y determinable mediante las normas ASTM D-1883-73; AASHTO T-193-63, MTC E 132, (MTC. 2013, pág. 39).

Una vez determinado el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o tramo vial, según se muestra en la tabla 6, (MTC. 2013, pág. 39).

Tabla 6: Categorías de Subrasante en función del CBR%

Categorías de la subrasante	CBR
Subrasante inadecuada	CBR < 3%
Subrasante pobre	$3 \leq \text{CBR} < 6\%$
Sub rasante regular	$6 \leq \text{CBR} < 10\%$
Subrasante buena	$10 \leq \text{CBR} < 20\%$
Subrasante muy buena	$20 \leq \text{CBR} < 30\%$
Subrasante excelente	CBR $\geq 30\%$

Fuente: MTC 2013, pág. 40

1.2.4.2.3. Módulo Resiliente

El MTC (2013), considera que para obtener el Módulo Resiliente (M_r) a partir del CBR% de diseño del terreno de

fundación, se empleará la expresión matemática que correlaciona estos parámetros y recomienda utilizar la indicada por el método AASHTO – 2002. Considerando que esta expresión es de mejor aplicación a los suelos, (MTC. 2013, pág. 41).

$$M_r(\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.64} \dots \dots \dots (3)$$

1.2.4.3. Estabilización de Suelos

La estabilización de los suelos es un proceso que tiene por objeto aumentar su resistencia a la deformación, disminuir su sensibilidad al agua, controlar la erosión y los cambios de volumen. Con ello se puede aprovechar suelos de baja calidad e incluso inadecuados en el cimiento del pavimento, (Kraemer *et al.* 2004).

1.2.4.3.1. Estabilización de la Subrasante con Cemento

Según, MTC (2013, pág. 118), manifiesta que, la capa de subrasante de material por estabilizar con la concentración de cemento Pórtland, que podrá ser material el de afirmado existente de acuerdo al trazo y determinación del terreno de fundación o provenir de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de las excavaciones o zonas de préstamo, Agregados locales o Mezclas de estos. Cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado del concreto.

Define la estabilización de suelos como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos como el cemento. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuada o pobre, según las categorías de subrasante que se muestra en la Tabla 6. Así mismo se considera

que los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media, con $LL < 40$, $IP < 18$, (MTC. 2013, pág. 118).

También se dice que la resistencia a la compresión sin confinar de un espécimen del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su DSM y OCH aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. La concentración de cemento para la mezcla estará en función del tipo de suelo, según se muestra en la tabla 7, (MTC. 2013, pág. 118).

Tabla 7: Cantidad de cemento en % del peso de los suelos

Clasificación AASHTO	Porcentaje de Cemento por Volumen
A - 1 - a	3 - 5
A - 1 - b	5 - 8
A - 2	5 - 9
A - 3	7 - 11
A - 4	7 - 12
A - 5	8 - 13
A - 6	9 - 15
A - 7	10 - 16

Fuente: MTC (2013, pág. 118)

Rico y Del Castillo (2005) mencionan que en la naturaleza se puede encontrar suelos inadecuados, o sus características físicas no satisfacen su utilización para cumplir el objetivo; entonces se debe actuar con pericia y preguntándose, puedo aceptar el material suelo tal como se encuentra y si lo utilizo cómo influirá en el diseño, será económico utilizarlo (lo económico no debe significar más barato). Debo eliminar el material y sustituir por otro que cumpla los requerimientos y especificaciones técnicas. También podemos plantearnos si debemos modificar las características existentes de tal manera que, podamos utilizarlo con mayor eficiencia para cumplir el objetivo, con esta

posibilidad la estabilización de los suelos, es de importancia en la ingeniería haciendo uso del cemento.

Según, Das, M. (2007, pág. 814) manifiesta que el cemento actualmente viene siendo usado en obras civiles cada vez más, como estabilizador para los suelos y precisa que, con mayor aceptación en carreteras y presas de tierra, de manera general usándose para estabilizar suelos granulares y blandos, para los suelos arcillosos considera con gran eficiencia cuando el Límite Líquido es menor a 50% y el Índice Plástico menor a 25% y establece el volumen para estabilizar según se muestra en la tabla 8.

En el presente estudio de investigación, se determinarán las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla suelo – cemento y con dichos parámetros nos permitirá determinar su influencia en el diseño del pavimento flexible en el tramo propuesto.

Tabla 8: Cantidad de cemento requerido por volumen para estabilizar suelos

Tipo de Suelo		Porcentaje de Cemento por Volumen
SUCS	AASHTO	
GP, SP y SW	A – 2 y A – 3	6 - 10
CL, ML y MH	A – 4 y A – 5	8 - 12
CL, CH	A – 6 y A – 7	10 - 14

Fuente: Braja M. Das (2007 pág. 814)

Cemento Portland Tipo I

Según, el MTC (2013), considera que el cemento Portland Tipo I es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. Se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I con adición de yeso. Este tipo de cemento es un excelente material

conglomerante y es el más usado, en la industria de la construcción.

El cemento Portland Tipo I, generalmente, presenta las siguientes características:

- Logra alcanzar mayores resistencias iniciales.
- Posee menores tiempos de fraguado.

El cemento Portland Tipo I debe cumplir la Norma Técnica Peruana 334.009 y la Norma ASTM C 150.

1.2.5. Pavimento

Montejo, A. (2002) considera que un pavimento es una estructura conformada por capas superpuestas, guardando un comportamiento mecánico secuencial de menor a mayor, siguiendo el principio de estratificación, la de menor calidad en la parte inferior, sobre yaciendo las de mayor calidad y finalmente la capa de rodadura, las cuales obedecen a un diseño con el uso de materiales que deben cumplir especificaciones técnicas de calidad. Esta estructura recibe la carga del tránsito y transmite directamente al terreno de fundación el mismo en la parte superior queda delimitado con un nivel de superficie que se denomina subrasante, cuyo nivel se determinará en primer lugar por un movimiento de tierras y luego mediante las explanaciones que podrían ser cortes y rellenos correctamente nivelados y compactados. Todo el conjunto debe ser capaz de resistir las tensiones transmitidas durante el periodo que se diseñe.

1.2.5.1. Pavimento Flexible

Montejo, A. (2002) manifiesta que los pavimentos flexibles, son aquellos que en la parte superior tienen una capa de mezcla bituminosa, asentada sobre las capas de suelo granular debidamente compactado, llamadas base y subbase respectivamente. Dependiendo de la calidad del terreno de

fundación se puede no utilizar cualquiera de estas capas, en función de las características del diseño del proyecto. Por lo tanto, la estructura de un pavimento flexible quedará conformada con las características siguientes:

Terreno de Fundación.

Según el MTC (2013, pág. 23), es el material suelo que sustenta al pavimento, después de haber terminado el movimiento de tierras, correspondiente al corte, relleno y explanaciones correspondientes, finalmente se determina la conformación, compactación quedando definido el nivel de la subrasante. El terreno de fundación debe garantizar la estabilidad de la estructura, en tal sentido debe garantizar el soporte del tránsito, evitando presentar deformaciones, en este sentido deberá cumplir con las características físicas y mecánicas y finalmente evaluada a través de la Relación Soporte californiana CBR.

También considera que como materiales aptos para las capas del terreno de fundación y delimitada por el nivel de la subrasante, a suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso contrario se analizará las alternativas de solución como la de estabilizar los suelos en por lo menos 30 cm de la capa superior, siempre considerando lo más conveniente técnica y económica factible.

Kraemer et al. (2004) Manifiestan que el pavimento debe ser capaz de resistir las tensiones de diseño ocasionadas por el tráfico pesado, distribuyendo los esfuerzos verticales ejercidos por las cargas, y estos lleguen hasta una profundidad definida en el terreno de fundación aproximadamente en un 10% de la aplicada en la rasante de la capa bituminosa, profundidad a la cual el soporte será evaluado.

La capa de Subbase Granular

Montejo, A. (2002) Manifiesta que es la capa de material seleccionado, construida de una o más capas de suelos granulares, los cuales pueden ser obtenidos de forma natural o artificial y que se colocará sobre una superficie nivelada y compactada. Los materiales serán de calidad y tiene la función de recibir y transmitir cargas al terreno de fundación, así mismo deberá impedir la penetración de los materiales que constituyen la base y contaminarse con los de esta. También cumple una función de absorber las deformaciones que probablemente podría ocurrir en el terreno de fundación.

Según el MTC EG (2013), deben cumplir los requisitos de calidad (ver tabla 9) y estar comprendidos en los husos granulométricos indicados en la tabla 10.

Tabla 9: Requerimiento de ensayos especiales

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión de los Ángeles	E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (*)	E 132	D 1883	T 193	40% mín.	40% mín.
Límite Líquido	E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice Plástico	E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	E 114	D 4319	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	E 219	.-	.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	.-	D 4791	.-	20% máx.	20% máx.

Fuente: MTC EG (2013 pág.360), (*) referido al 100% de la DSM y a 0.5" de penetración

Tabla 10: Requerimientos del huso de granulometría - subbase granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100		
1"		75 - 95	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
N°4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
N°10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
N°40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
N°200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: MTC EG (2013) pág. 360), tomada del ASTM D 1241

La capa de Base Granular

Montejo, A. (2002), manifiesta que es la capa de material seleccionado, que se coloca sobre la subbase, afirmado o sobre el nivel de subrasante, cuyos materiales serán obtenidos de forma natural o artificial, que podría ser con adición de estabilizantes o material ligante, los que deberán cumplir explícitamente lo especificado y debidamente aprobados. Siendo la función fundamental de transmitir las cargas a la capa inmediatamente inferior.

Según MTC EG (2013), los materiales para la construcción de la base granular deberán cumplir las especificaciones técnicas indicados en la. Además, deberán ajustarse a las siguientes especificaciones de calidad y el cumplimiento del huso de granulometría que se indican en la tabla 11. Manifestando de manera expresa que para las zonas con altitud iguales o mayores a 3.000 msnm. Se deberá seleccionar la gradación "A". Además, deberá cumplir las características indicadas en la tabla 12, También se considera las características físicas para los materiales intervinientes en la mezcla entre agregado grueso (ver tabla 13) y agregado fino ver tabla 14.

La Capa de Rodadura

Montejo, A. (2002), dice viene hacer la capa que se coloca sobre la base y está formada por la mezcla bituminosa, la cual debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, la textura suave y el color característico negro, y está preparada para recibir los efectos abrasivos del tránsito, debe poseer una característica impermeable de protección evitando el desgaste o desintegración de la base, así mismo su resistencia a los esfuerzos complementa la capacidad de soporte del pavimento.

Tabla 11: Requerimientos de granulometría - base granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100		
1"		75 - 95	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
N° 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
N° 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
N° 40	Ago-20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
N° 200	02-Ago	May-15	May-15	Ago-15

Fuente: MTC EG (2013 pág. 370), tomada del ASTM D 1241

Tabla 12: Relación de Soporte California en la franja utilizada

Relación de Soporte California (CBR)*	Tráfico en ejes equivalentes (< 10)	Min. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (>= 10)	Min. 100%

Fuete: MTC EG (2013 pág. 370), * Referida al 100% de la DSM y a 0.5" de penetración

Tabla 13: Requerimiento de agregado grueso para la base granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	>3000 msnm
Abrasión de los Ángeles	E 207	C 131	T 96	40 % máx.	40 % máx.

Partículas con dos caras fracturadas	E 210	D 5821	T 193	40% mín.	50% máx.
Partículas con una cara fracturada	E 110	D5821	T 89	80% mín.	80% mín.
Durabilidad al sulfato de magnesio	E 209	C 88	T 104		18% máx.
Equivalente de Arena	E 114	D 4319	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% máx.
Partículas Chatas y Alargadas		D 4791		15% máx.	15% máx.

Fuente: MTC EG (2013 pág.371)

Tabla 14: Requerimiento de agregado fino que pasa la malla N°4, para la base granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Índice Plástico	E 111			4% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	E 114			35% mín.	45% mín.
Sales Solubles	E 219			0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	E 209				15%

Fuente: MTC EG (2013 pág.371)

1.2.6. Diseño del Pavimento Flexible

Montejo, A. (2002), Se identifica el tráfico de diseño, basado en el tipo de vehículo, el cómo se compone el tráfico, se determinará la carga de diseño, se analiza la capacidad de soporte del suelo de fundación, para que finalmente empleando el método AASHTO 93 se diseñe el pavimento. Este método sigue el siguiente procedimiento.

1.2.6.1 Cálculo del Tráfico de diseño

MTC (2013, pág. 73), manifiesta que el principal problema o punto de partida para el diseño de pavimentos debe ser la determinación del tráfico, como número de ejes equivalentes acumulados.

Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en Cargas equivalentes de un solo eje (ESALs), en 18-kip o 80-kN o 8.2 t, lo consideran como Ejes Equivalentes (EE). La sumatorias de ESALs durante el periodo de diseño es referida como (W_{18}) o ESALD y lo denominan Número de Repeticiones de EE en 8.2 t. Se debe considerar las categorías de los caminos de acuerdo al volumen del tráfico.

1.2.6.2 Parámetros de diseño

a.) Confiabilidad ($\%R$) y Desviación Estándar Normal (Z_r)

Tomar el criterio de confiabilidad representa la probabilidad de que una determinada estructura se comporte, durante el periodo de diseño, de acuerdo al objetivo. Se basa en criterios de servicio y no en mecanismos de falla, por lo tanto, a mayor se incrementará el espesor la estructura del pavimento. También la confiabilidad se basa en criterios estadísticos, en consecuencia, la Norma AASHTO, considera el coeficiente estadístico estándar, que representa la confianza de nuestro diseño, (Guía AASHTO-93).

b.) Desviación Estándar Combinada (S_0)

Es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la repetición del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento tales como la construcción, medio ambiente e incertidumbre del modelo, (Guía AASHTO-93).

c.) Variación del Índice de Serviciabilidad

Sobre la base del análisis de las condiciones climáticas de la zona se debe definir el coeficiente de drenaje, tanto para la base granular como para la subbase granular, considerando la calidad del drenaje y tiempo que permanece cercano a la saturación, (Guía AASHTO-93).

d.) Coeficiente de Drenaje

Este valor debe ser considerado dentro del diseño como un factor que afecta directamente el coeficiente de la capa y se estima en función del porcentaje de tiempo que la estructura esta próxima a la saturación y de acuerdo a la calidad del drenaje, (Guía AASHTO-93).

e.) Periodo de Diseño

El periodo de diseño que se empleará para el cálculo de la estructura del pavimento será de 20 años, este valor puede variar de acuerdo al criterio del responsable de diseño y la necesidad de la obra, (Guía AASHTO-93).

f.) Coeficiente de Aporte Estructural

Los coeficientes estructurales de capa serán empleados los que se indican en el Manual de suelos y pavimentos del MTC, 2013.

g.) Determinación del Módulo Resiliente de diseño

El módulo Resiliente queda determinado según la relación $CBR - Mr$, considerado en el manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

h.) Cálculo del Número Estructural

El cálculo de este valor queda determinado mediante lo especificado en el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

i.) Cálculo de los Espesores del Pavimento

Para diseñar los espesores del pavimento flexible se debe conocer los parámetros indicados líneas arriba y luego aplicando la ecuación siguiente, (Guía AASHTO-93).

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07 \dots (4)$$

Dónde: W_{18} : es el número de repeticiones de eje equivalente (ESAL), Z_R : es la confiabilidad, S_0 : es la variación estandar, SN : es el número estructural, ΔPSI : es la pérdida de serviciabilidad.

Finalmente conocido el número estructural (SN), se procede a determinar la estructura del pavimento conformado por las capas de subbase y base y así lo requiere, según la expresión siguiente, (Guía AASHTO-93).

$$SN = \sum_{i=0} a_i D_i m_i \dots \dots \dots (5)$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \dots \dots \dots (6)$$

Dónde: a_i : es el coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales, D_i : espesore, m_i : es el coeficiente de drenaje.

1.3. Definición de terminos Básicos

Mecánica de Suelos. - Es la Ciencia que se ocupa de determinar las fuerzas físicas que actúan en una masa, (Crespo, C. 2004, pág. 17).

Geotecnia en Suelos. - Es la aplicación de la ciencia y tecnología en los proyectos de estudios de suelos, (Das, B. 2007, pág. 01)

Permeabilidad en Suelos. - Es la capacidad de los suelos de dejar pasar el agua a través de sus vacíos, (Das, B. 2007, pág. 29)

Capilaridad en Suelos. - Es la propiedad intrínca de los suelos finos o blandos que permiten la ascensión capilar del agua, ((Das, B. 2007, pág. 35)

Absorción en Suelos. - Mide el porcentaje de agua que absorbe un material seco, (Crespo, C. 2004, pág. 45).

Agua. Sustancia líquida sin color, sabor y olor que se usa como elemento principal en la elaboración de la densidad seca máxima y el CBR, (Norma E 050, MS).

Agregados. Es un material granular (arena, grava, piedra chancada) usado para formar parte del terreno de fundación o cimiento de un pavimento. Se utiliza ya sea en su estado natural o triturado, de acuerdo a su uso, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma NTP 400.037, (Crespo, C. 2004, pág. 21).

ASTM (Asociación Estándar American of Materials), normas que regulan la conducta en lo que se refiere a su aplicación.

Cemento. Material de construcción elaborado de una sustancia en polvo que, al mezclarse con agua, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el aire al pasar el tiempo y que también sirve para estabilizar suelos, (Abanto C. F 2010 pg. 15).

Suelo. - Es la parte superficial de la corteza terrestre ocupada por partículas meteorizadas y o descompuestas y conforman una mezcla de sólidos, líquidos y aire, (Crespo, C. 2004, pág. 18).

Consistencia. - En suelos viene hacer los estados en la cual el material suelo puede estar en un tiempo geológico, (Das, B. 2007, pág. 16).

Granulometría. - Distribución de tamaños de las partículas de un agregado ya sea piedra o arena, determinado a través de tamices siguiendo las normas establecidas, (Crespo, C. 2004, pág. 45).

NTP. - Norma Técnica Peruana: Normas de conducta que tiene que seguir en los ensayos de laboratorio.

MTC. - (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).- Normas de conducta de aplicación en obras de transporte.

CAPITULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del Problema

Actualmente en el mundo, a nivel del territorio peruano y en particular en nuestra región San Martín así como en el Perú, se ha masificado el uso del pavimento asfáltico o de concreto rígido, ambos fabricados y colocados en obra según sus especificaciones, para uso masivo en las obras civiles del sector vial urbano y rural, o de viviendas en actividades como en los pisos internos, patios y elementos según el criterio del profesional, tanto en empresas públicas así como privadas; así pues sobre el suelo el hombre ejecuta sus obras, considerándolo como material de fundación o receptor de la carga de servicio.

Entonces sobre el suelo, se realizará el trabajo para conformar los elementos estructurales o cimiento de una estructura como el pavimento en él se usa masivamente el agregado grueso natural o artificial y cuando no hay presencia de estos en la zona de trabajo hay que transportarlos desde lugares alejados lo cual se encarece la obra, es allí donde de acuerdo al conocimiento y avance de la ciencia, el cemento que es material procesado químicamente en grandes hornos, nos permite utilizarlo para mejorar las condiciones de los terrenos de fundación de pavimentos estabilizando la capa de subrasante, subbase y base, se puede optar por el método de inyección de lechada de cemento hasta la profundidad donde se disipe la carga de servicio, Braja M. Das (2007 pág. 813).

Por lo tanto siendo el cemento Portland, un material comercial y fácilmente utilizado como aglutinante, se puede usar para el mejoramiento de las características físicas y mecánicas, de los suelos naturales que funcionarán como terreno de fundación, este proceso se conoce como estabilización de suelos, utilizándose en las proporciones de porcentaje en peso de la masa de suelo que se busca mejor el comportamiento mecánico y plantear una solución que permita Mejorar las características mecánicas de los suelos, MTC (2013, pág. 117).

El sector Polvoraico y alrededores presenta suelos de deficientes a buenos para soportar cargas, por la probable presencia de suelos arcillosos en los tramos de la vía vecinal que caracteriza a estos lugares, por ser una zona de presencia de este mineral, observándose en zonas de pendiente bastante irregular, los suelos presentan características jabonosa e impide el normal tránsito, en el sector se puede visualizar que se ha visto afectado por las intensas lluvias o fenómenos climáticos intensos, propios de la zona. Entre estos los presentados entre enero y lo que va de febrero 2020, periodo durante el cual esta zona está sujeta a inundaciones (SENAMI, 2020).

Bajo estas características en la presente investigación nos planteamos el objetivo de estabilizar los suelos de la subrasante de esta vía del sector Polvoraico, con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas como la Resistencia al Corte, así como la resistencia compresión sin confinar y la Relación Soporte California (CBR), con la finalidad de garantizar la estabilidad de las obras tanto de carácter horizontal como los pavimentos y obras de arte.

Según, Braja M. Das (2007), indica que en el presente siglo se ha masificado alrededor de todo el mundo el uso del cemento en la estabilización de suelos para la construcción de vías, presas de tierra logrando hacer inventarios a través de la estadística que ha permitido la estabilidad de grandes construcciones, siendo el cemento el aglutinante que mejora las características físicas y mecánicas en respuesta a estas afirmaciones pues ensayaremos con los suelos de la vía vecinal del sector Polvoraico, con la finalidad de aportar al desarrollo de la ciencia y garantizar la seguridad y confort en las obras pavimentadas.

Los ingenieros y constructores en general deben realizar el diseño y control de calidad en obra, por medio de testigos cilíndricos elaborados en el

laboratorio para corroborar si se cumple con la resistencia a la compresión sin confinar y/o del CBR para el control de la estabilidad de la obra. En nuestro Perú y por qué no decir en nuestra Región San Martín, existe el poco interés por el desarrollo de la investigación en los temas de estatización de suelos, es por tal motivo que nos proponemos el desarrollo de la investigación.

Por lo tanto, en la presente investigación se cuantificará entre otras cualidades del suelo sin concentración de cemento y se analizará la influencia de este producto en el suelo del sector a lo largo de toda la vía y garantizar la serviciabilidad y el tiempo de uso en óptimas condiciones cumpliendo el objetivo del diseño y evitar que luego de iniciada la obra o puesta en servicio, inmediatamente requiere la intervención del mantenimiento.

De acuerdo con lo descrito, el problema de investigación quedará formulado en la forma siguiente:

2.2. Formulación del Problema

2.2.1. Problema General

¿Cuánto influye la Estabilización de la Subrasante con cemento Pórtland en el Diseño del Pavimento Flexible, en el Camino Vecinal, Morales - Polvoraico, ¿en el distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020?

2.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál será el comportamiento mecánico del suelo estabilizado con cemento Portland del terreno de fundación en la vía vecinal del sector Polvoraico?
2. ¿Cuánto influye en el diseño del pavimento flexible, el comportamiento del suelo estabilizado con cemento Portland, en

la vía vecinal del sector Polvoraico?

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la Estabilización de la Subrasante con cemento Portland en el Diseño del Pavimento Flexible, en el Camino Vecinal, Morales - Polvoraico, en el distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020

2.3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar el comportamiento mecánico del suelo estabilizado con cemento Portland del terreno de fundación, en la vía vecinal del sector Polvoraico.
2. Determinar la influencia en el diseño del pavimento flexible, el comportamiento del suelo estabilizado con cemento Portland, en la vía vecinal del sector Polvoraico.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H_1 : La utilización del cemento Portland en la estabilización de los suelos de la subrasante causa el mejoramiento del comportamiento mecánico lo cual sí influirá en el Diseño del Pavimento Flexible, en el Camino Vecinal, Morales - Polvoraico, en el distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020.

H_0 : La utilización del cemento Portland en la estabilización de los suelos de la subrasante no causa el mejoramiento del comportamiento mecánico lo cual no influirá en el Diseño del Pavimento Flexible, en el Camino Vecinal, Morales - Polvoraico, en el distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020.

2.4.2. Hipótesis específicas

H_1 : El comportamiento mecánico del suelo estabilizado con cemento

Portland mejora la calidad del terreno de fundación en la vía vecinal del sector Polvoraico.

H_0 : El comportamiento mecánico del suelo estabilizado con cemento Portland no mejora la calidad del terreno de fundación en la vía vecinal del sector Polvoraico.

H_1 : El diseño del pavimento flexible si depende del comportamiento del suelo estabilizado con cemento Portland, en la vía vecinal del sector Polvoraico.

H_0 : El diseño del pavimento flexible no depende del comportamiento del suelo estabilizado con cemento Portland, en la vía vecinal del sector Polvoraico.

2.5. Variables

2.5.1. Identificación de variables

Variable Independiente (VI)

Comportamiento mecánico del suelo estabilizado con cemento Portland

Variable Dependiente (VD)

Diseño del pavimento flexible

2.5.2. Definición Conceptual y Operacionalidad de las Variables

En la presente investigación conceptualizaremos nuestras variables desde el punto de vista de los autores, para darle mayor rigurosidad, así mismo indicaremos la forma de medida de las variables susceptibles del análisis, mediante el desarrollo de ensayos de laboratorio, siguiendo las buenas prácticas de conducta expresadas en las normas con lo cual se obtendrá los resultados de calidad.

Tabla 15: Definición Conceptual y Operacionalidad de las Variables

Variable	Definición conceptual	Indicador
VI: Comportamiento mecánico del suelo estabilizado con cemento Portland.	El cemento es un excelente estabilizador para los suelos y con mayor aceptación en carreteras y presas de tierra, de manera general usándose para estabilizar suelos granulares y blandos, para los suelos arcillosos con gran eficiencia cuando el Límite Líquido es menor a 50% y el Índice Plástico menor a 25%, (Das, M. 2007, pág. 814).	EI CBR%
VD: Diseño del pavimento flexible	Se evalúa el tráfico de diseño, basado en el tipo de vehículo, el cómo se compone el tráfico, se determinará la carga de diseño, se analiza la capacidad de soporte del suelo de fundación, luego empleando el método AASHTO 93 se diseña el pavimento, (Montejo, A. 2002).	Espesor del pavimento

Fuente: Elaboración propia

2.5.3. Operacionalización de las Variables

Es la base para la investigación en la identificación de indicadores, con los cuales se puede determinar los instrumentos de observación.

Tabla 16: Operacionalización de las Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN TEÓRICA	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADOR
VARIABLE INDEPENDIENTE: comportamiento mecánico del suelo estabilizado con cemento Portland.	Partiendo de las características físicas de los suelos, que se obtienen mediante métodos estandarizados de ensayos de laboratorio, con los cuales se logra determinar el comportamiento de estos, en la estabilización de la Subrasante con cemento Portland en el Diseño del Pavimento Flexible (Das, M. 2007, pág. 814).	Se medirá determinando las propiedades físicas de los componentes, mediante los ensayos de laboratorio en aplicación y sujetos a las recomendaciones de las normas técnicas (NTP, MTC o ASTM).	Métodos estandarizados	Granulometría de los suelos
				Límites de consistencia
				Contenido de Humedad
				Gravedad específica
				Porcentaje de cemento en la estabilización
				Densidad Seca Máxima
			Relación de Soporte California	
			Objetivo	Influencia de la Estabilización de la Subrasante con cemento Portland en el Diseño de Pavimento Flexible
VARIABLE DEPENDIENTE: VD: Diseño del pavimento flexible	Se evalúa el tráfico de diseño basado en el tipo de vehículo, el cómo se compone el tráfico, se determinará la carga de diseño se analiza la capacidad de soporte del suelo de fundación luego empleando el método AASHTO 93 se diseñe el pavimento (Montejo, A. 2002).	Se diseña mediante el proceso metodológico establecido en la Guía AASHTO-93	Métodos estandarizados	Número estructural
			Objetivo	Espesor de pavimento

Fuente: Elaboración propia (2021)

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación será cualitativo, cuantitativo y experimental debido a que se realizará el estudio de las propiedades de los suelos de la subrasante en el tramo de la vía.

En el diseño de la investigación se desarrollara una modalidad que nos permita obtener en primer término los datos de campo, mediante la identificación, para conocer el origen y/o lugares de exploración y toma de las muestras como materia prima para el procesamiento artificial o tratamiento con concentración de cemento y los ensayos se realizarán en el laboratorio JHCD Contratistas S.A.C. en donde se cuantificará y se analizará de las propiedades de los suelos en forma natural y luego estabilizado.

Se investigarán todas las propiedades inherentes a la obtención de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas en estricto cumplimiento de lo especificado en las normas NTP. MTC, ASTM y AASHTO, las cuales contemplan los requisitos y tipos de ensayos siendo el tipo de suelo lo que condicione la concentración del cemento.

En nuestro trabajo evaluaremos el comportamiento del suelo a través de sus propiedades físicas y mecánicas, con los ensayos de DSM vs OCH y los valores del CBR, del suelo estabilizado.

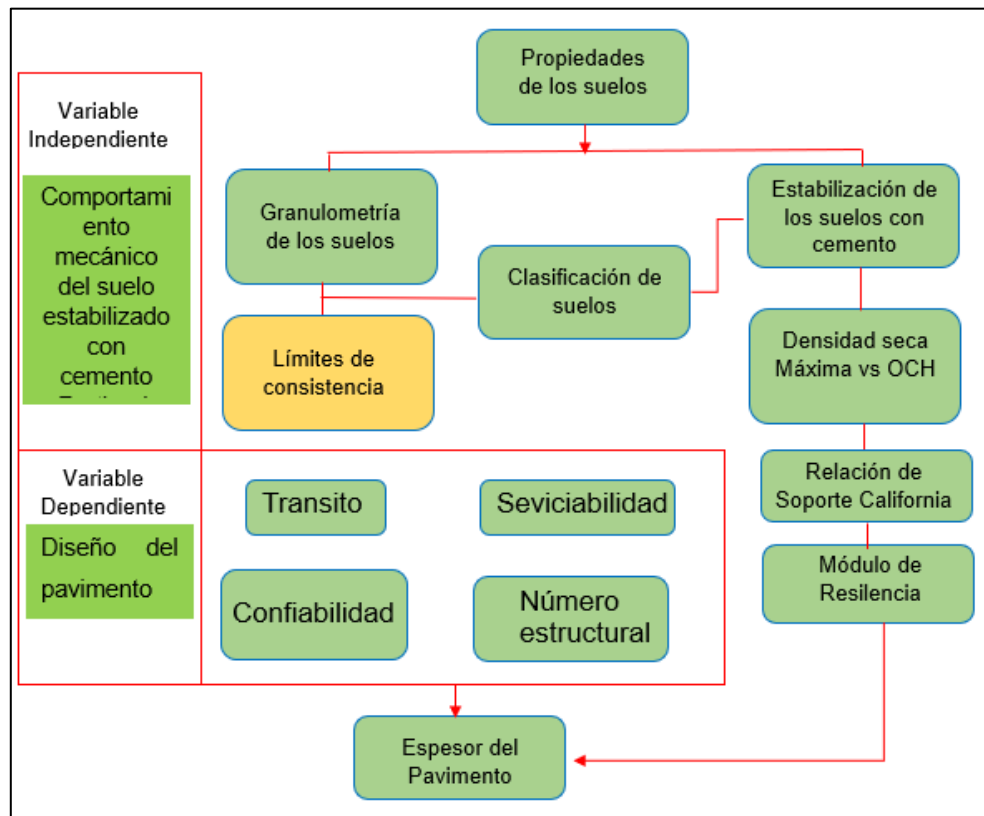
3.1.2. Diseño de investigación

En el diseño de investigación se usará una metodología experimental, que nos permita determinar la influencia que causa la estabilización de los suelos con el uso de cemento Portland en el diseño del pavimento flexible.

Si modificamos las características del suelo natural, mediante el método de estabilización química es decir utilizando el cemento como conglomerante que, tendrá incidencia en el diseño del pavimento.

En el diseño del pavimento flexible en la presente investigación, será siguiendo lo especificado en el Método AASHTO-93, que mediante un proceso experimental se hace uso de variables de confiabilidad, serviciabilidad, el tráfico y la calidad de la subrasante permitirá obtener el espesor del pavimento.

Figura 1: Diseño de la investigación: tratamiento de las variables



Fuente: Elaboración propia 2021

3.2. Población y muestra

3.2.1. La población

El Universo para la presente investigación se encuentra conformado por las observaciones de todos los suelos conformante de la subrasante en toda la longitud del tramo de la vía vecinal, en el sector Polvoraico.

3.2.2. Muestra

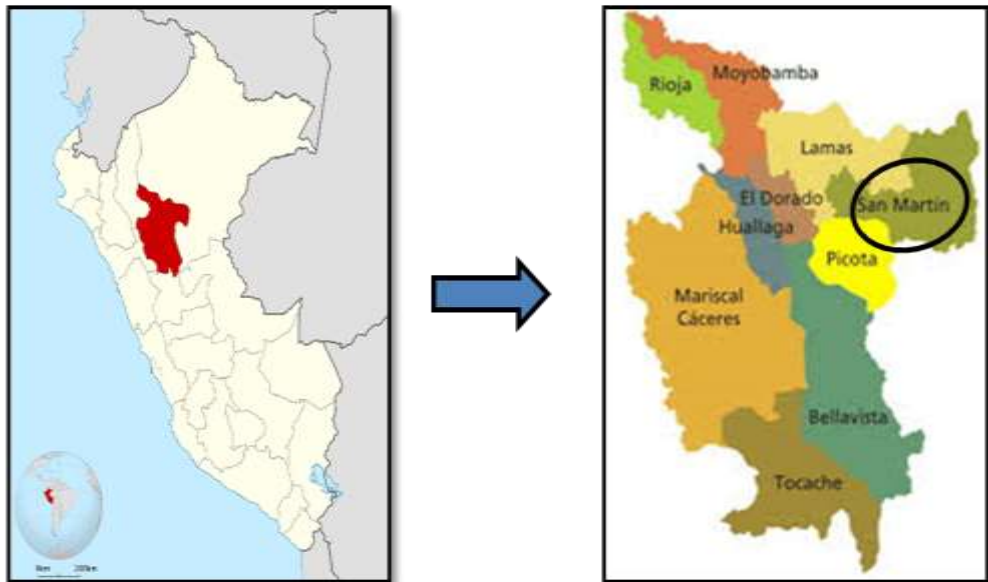
Para la elección de la muestra en nuestra investigación se tiene la población finita, la muestra se tomará de 06 calicatas excavadas a cielo abierto, en concordancia con las normas vigentes.

3.2.3. Ámbito geográfico

Ubicación política

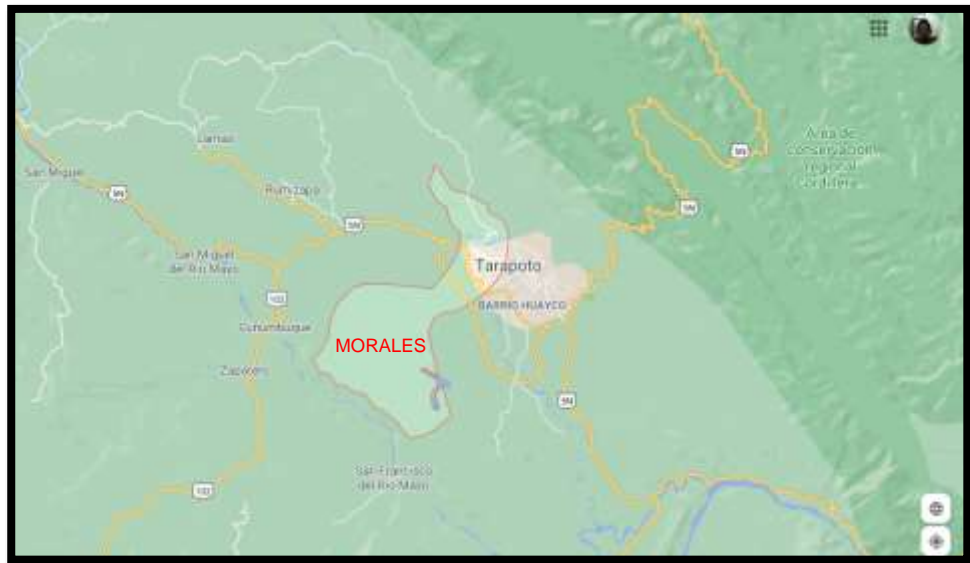
La investigación se realizará en la zona rural de Polvoraico, Distrito de Morales, Provincia y Región de San Martín

Figura 2: Mapa político del Perú - Departamento San Martín



Fuente: [www.google maps](http://www.google.com/maps)

Figura 3: Mapa político del distrito de Morales



Fuente: [www.google maps](http://www.google.com/maps)

El distrito de Morales se encuentra situada a 283 m.s.n.m. a 3 km al norte de Tarapoto, a $6^{\circ}36'15''$ de latitud sur y $76^{\circ}10'30''$ de longitud oeste.

Figura 4: Mapa de Ubicación del tramo de la carretera Polvoraico



Fuente: Google Earth

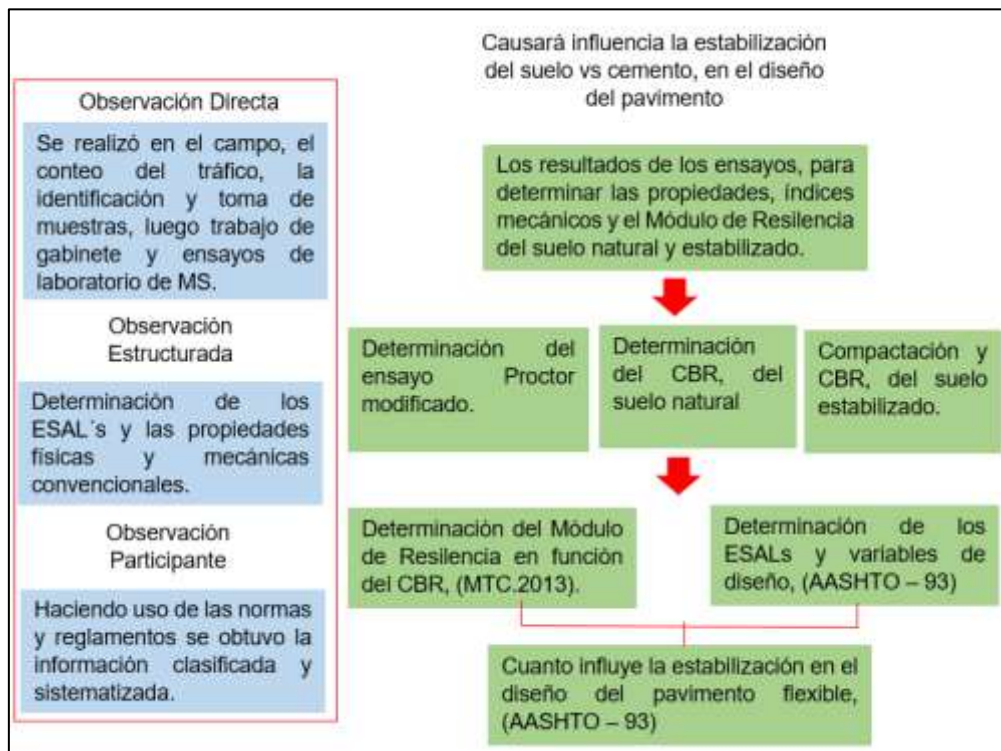
3.3. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de Recolección de datos

La técnica que se utilizó en esta investigación es la de observación, como información primaria, del campo y laboratorio, siguiendo un proceso científico, de planificación, control y comprobación, se plasmarán en registros o fichas técnicas aprobadas por las normas técnicas, como las NTP, las del ASTM, para luego procesarlos y sistematizarlos, (Lule, N. y Campos, G. 2012, pág. 8).

Como ya se dijo también es importante elaborar fichas, para poder registrar los datos en forma sistemática y valorar su utilidad, esto significa que debemos realizar una revisión consiente de los resultados observados y que guarden concordancia con las Normas Técnicas y se agrupará los datos por grupos en función del diseño, y siguiendo el tratamiento de las variables. (Lule, N. y Campos, G. 2012, pág. 8).

Figura 5: Técnicas de observación en la investigación



Fuente: Elaboración propia (2020)

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Se denomina instrumento de recolección de datos a cualquier recurso del que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información, en la presente utilizaremos las fichas técnicas, de acuerdo a las normas, para cada uno de los indicadores.

Tabla 17: Instrumentos de Recolección de datos, fichas según normas

ACTIVIDADES		INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS		
Investigación de campo	Identificación y Muestreo de suelos	ASTM D420-69	NTP 150	
Investigación de laboratorio	Propiedades físicas	Granulometría de los suelos	ASTM NTP 400.012	
		Límites Líquido y plástico	ASTM D4318 NTP339.129	
		Contenido de humedad	ASTM D2216 NTP 339.127	
		Peso específico relativo de sólidos	ASTM D854-58 NTP 400.022	
	Propiedades químicas	Acidez del suelo (pH)	ASTM D1017	
	Propiedades del suelo estabilizado	Límites de consistencia	ASTM D4318	NTP339.129
		Granulometría	ASTM	NTP 400.012
	Propiedades especiales	Proctor Modificado	MTC E 115	
		Relación soporte (CBR)		NTP 339.154

Fuente: Elaboración propia (2020)

3.3.3. Procedimiento de Recolección de Datos

Para la recolección de información en la determinación de las características mecánicas del suelo, es necesario primero conocer las propiedades o atributos cualitativos y cuantitativos de los materiales

que intervienen en la elaboración mediante un diseño de la mezcla, por lo tanto debemos recurrir a procedimientos establecidos en las normas técnicas, que como instrumentos y conjuntamente con las técnicas de observación, permitirá validar la recolección de datos para la caracterización y análisis de las muestras que se vayan a ensayar en el laboratorio, siguiendo procedimientos descritos en las normas indicadas en la tabla 17.

En esta investigación se cumplirá el siguiente procedimiento:

1. Revisión bibliográfica

Revisar los procedimientos de cada uno de los ensayos de identificación y toma de muestras, para la determinación de las propiedades de los materiales que intervienen en la elaboración del concreto, recurriendo a investigar en manuales, libros, reglamentos en concordancia con las normas establecidas, (Apuntes de clase del Ing. Martínez, E. 2017).

2. Investigación de campo

En esta fase de investigación corresponde la visita e inspección del sitio consiste en la planeación, para efectuar la exploración y recolección de muestras del suelo a los intervalos y profundidad deseados para la investigación del sitio y posteriormente se realizaron las respectivas pruebas de laboratorio, (Apuntes de clase del Ing. Martínez, E. 2017).

Se deberá establecer la profundidad mínima de 1.5 m, en aplicación al descrito en MTC-2013 en el manual de carreteras. La misma que puede ser cambiada durante la operación de excavación a cielo abierto, dependiendo de la estratigrafía del suelo encontrado, (MTC.2013, pág. 30).

El espaciamiento de las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas alteradas e inalteradas según el caso y así lo determine el consultor del proyecto,

en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado, (MTC.2013, pág. 30).

3. Investigación de laboratorio.

3.1. Contenido de humedad (Ref. NTP 339.127 - ASTM D-2616)

Según la NTP, es la cantidad de agua que contiene el material, con relación al peso de los sólidos en su estado natural.

Equipo utilizado. - Se utiliza recipientes apropiados para colocar la muestra y luego llevarlo horno con capacidad de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para el proceso de secado.

Procedimiento

1. Colocar una muestra representativa en los recipientes y pesar será el peso de la muestra húmeda y registrar.
2. Llevar al horno la muestra y luego de 24 horas, pesar a peso constante y registrar
3. Determinar el peso del agua
4. Calcular el contenido de humedad mediante la expresión siguiente:

$$\omega\% = \frac{W_{\omega}}{W_{\text{sólidos}}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

3.2. Peso específico relativo de los sólidos (ref. NTP 400.022)

El peso específico relativo a un suelo (S_s) se define como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C , el S_s se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\frac{W_{\omega}}{V_{\omega}}} = \frac{W_s}{W_{\omega}} \dots \dots \dots (2)$$

Objetivo:

Determinar el peso específico relativo de los suelos finos menores al tamaño de 4.75 mm.

Equipo utilizado.

Suministro de agua desaireada con temperatura estabilizada. Frasco volumétrico de 250 o 500 ml. Bomba de vacíos o aspirador para producir vacío. Mortero y mango para morterear. Balanza de precisión 0.1 gr. Termómetro. Desecador con un diámetro aproximado de 200 mm. Horno capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$

Procedimiento:

1. Mezclar de 100 a 120 gr. de suelo secado al aire o al horno con agua en un recipiente evaporador hasta formar una pasta cremosa.
2. Transferir la pasta al vaso mezclador eléctrico y añadir agua hasta formar una mezcla de cerca de 200ml de suelo-agua.
3. Se pesa el frasco vacío con tapa (W_f) y se registra, luego se llena con agua destilada sin aire (hasta la marca de 500 ml) y luego llenar hasta la marca de 500ml y registrar ($W_{f\omega} = \text{peso del frasco con agua}$), el cuello del frasco se debe secar con papel secante debidamente enrollado, se registra la $T^\circ\text{C}$ de modo que la mezcla agua suelo se encuentre con la misma temperatura en aproximadamente dentro de 1°C , esta operación puede hacerse mientras el suelo está siendo mezclado.
4. Conectar el frasco a la bomba de vacío por un tiempo de unos 10 minutos, durante este tiempo agitar suavemente la mezcla moviendo cuidadosamente el frasco.
5. Cuando el proceso de desaireamiento se haya completado, se afora el frasco hasta la marca de 500 ml, secar el cuello por encima de la marca con papel secante debidamente enrollado. Luego se pesa y se obtiene el peso del frasco con agua y muestra

($W_{f\omega s}$) asegúrese que la $T^{\circ}C$ esté dentro de $1^{\circ}C$ con respecto a la utilizada al medir ($W_{f\omega}$)

6. Cálculo del peso específico relativo de los solidos

Tabla 18: Valores para el factor de corrección

T ^o C	Corrección (α)	Densidad (γ en $\frac{gr}{cm^3}$)
16	1.00070	0.99897
18	1.00040	0.99862
20	1.00000	0.99823
22	0.99900	0.99780
24	0.99960	0.99732
26	0.99681	0.99681

Fuente:

3.3. Análisis Granulométrico por tamizado en seco (ref. NTP.339.128)

Equipo.

Un juego de tamices normalizados según la tabla anterior. Dos balanzas: con capacidades superiores a 20 kg. y 2000 gr. Y precisiones de 1gr. y 0,1gr. Respectivamente. Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ} \pm 5^{\circ} C$. Un vibrador mecánico.

Procedimiento

1. Se homogeniza cuidadosamente el total de la muestra en estado natural.
2. Se reduce por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la mínima recomendada según el tamaño máximo de partículas del suelo.
3. Se seca la muestra a una temperatura de $110^{\circ}C$. hasta conseguir pesadas consecutivas constantes en la muestra. Cuando esté seca, se obtiene la cantidad mínima recomendada.
4. Inmediatamente obtenido el tamaño de muestra a ensayar, se pesa y se lava con el fin de eliminar todo el material fino menor a

0,075 mm. El material retenido en la malla se deposita en una bandeja y se coloca en el horno y se pesa el W_s .

5. A continuación, se deposita el material en un juego de tamices, los que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente los mayores arriba hasta los diámetros inferiores abajo. El juego deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la inferior
6. Se hace vibrar el conjunto durante 5 a 10 minutos, después del cual se retira del vibrador y se registra el peso del material retenido en cada tamiz. Sumar estos pesos (W_f . peso final o después del ensayo columna 3 de la tabla) y comparar con el peso inicial o peso de la muestra seca después del lavado, con el cual se inició el zarandeo. Esta operación permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado. Si se tiene una pérdida de más del 2% con respecto al peso original, se considera que el experimento no es satisfactorio y por consiguiente debe repetirse.
7. Luego se grafica la curva granulométrica porcentaje que pasa vs diámetros de partículas. Si menos del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200, no se debe calcular el C_u y C_c .

3.4. Determinación del Limite Líquido (ref. NTP339.129)

Equipo:

Aparato del Límite Líquido (Copa de Casagrande), el que consiste en una taza (cuchara). Acanalador (Casagrande o ASTM). Plato de evaporación de porcelana de 120 mm de diámetro. Espátula de hoja flexible con 20 mm de ancho y 70 mm de largo. Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Balanza de precisión de 0,01gr.

Procedimiento:

1. Se debe secar una, para obtener una muestra representativa del material que pasa la malla N°40, aproximadamente de 250gr. En

seguida se pone a la muestra en el plato de evaporación agregándole suficiente cantidad de agua destilada, mezclando con la espátula hasta lograr una pasta homogénea.

2. Verificar que la altura de la máquina que va utilizar sea exactamente de 1cm. Para esta operación se puede utilizar la cabeza en forma de dado de 1cm en el extremo superior del ranurador patrón. Hacer la calibración con respecto a la marca de desgaste.
3. Preparar el material, cuando la mezcla obtenga una apariencia cremosa, si su estado es adecuado en general. Se debe continuar añadiendo pequeñas cantidades adicionales de agua y mezclando cada vez hasta obtener una mezcla homogénea. Cuando el suelo se encuentre en un punto de consistencia (pegosidad). se deposita en la copa unos 50 a 70 gr. del material preparado, para luego alisar la superficie con la espátula, de modo que la altura obtenida en el centro sea de 10mm. Una vez enrasado, se pasa el acanalador para dividir la pasta en dos partes, a través de un canal de 63 mm de longitud.
4. Cuando se tiene la ranura, se gira la manivela del aparato con una frecuencia de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre en 10 a 13 mm de longitud en el fondo de ella. Finalmente, se toman aproximadamente 10 gr del material que se junta del fondo del canal para determinar la humedad.
5. El material sobrante se traslada al plato de evaporación para mezclarlo nuevamente con agua destilada y repetir el procedimiento por lo menos 2 veces más, de modo que se debe obtener tres puntos que varíen en un rango de 15 a 35 golpes.
6. Construir un gráfico semi- logarítmico, donde la humedad será la ordenada y el número de golpes (N) en la abscisa. En el gráfico, dibujar los puntos correspondientes a cada una de las tres o más

pruebas y construir una recta llamada curva de flujo, pasando tan aproximadamente como sea posible por dichos puntos.

7. Expresar el límite líquido (LL) del suelo, como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la abscisa en 25 golpes.

3.5. Determinación del límite plástico según (ref. NTP339.129)

Equipo

Plato de evaporación de porcelana de 120mm de diámetro. Espátula hoja flexible 20mm de ancho y 70mm de largo. Placa de vidrio esmerilado o mármol como superficie de amasado. Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$. Patrón de comparación, puede usarse un alambre ó plástico de 3mm. de diámetro. Balanza de precisión de 0,01gr.

Procedimiento

1. La muestra de ensayo se prepara de manera idéntica a la descrita en el límite líquido, o bien puede usarse la misma muestra que se usó en ese ensayo, en la etapa en que la pasta de suelo se vuelva lo suficientemente plástica para moldearla como una esfera.
2. Se toma una porción de suelo de aproximadamente 1cm^3 , se amasa entre las manos y se hace rodar con la palma de la mano o la base del pulgar considerando la acción de 80 a 90 movimientos de la mano por minuto, por sobre la superficie de amasado, formando un cilindro, lo que se repite hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3 mm en trozos de tamaño de 0,5 a 1cm. de largo y no pueda ser reamasado.
3. El contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento representa el límite plástico, el cual se determina colocando las fracciones de suelo en un recipiente, secándolas al horno.

4. Se deben hacer tres determinaciones que no difieran entre sí en más de 2%, en caso contrario deberá repetirse el ensayo.

3.6. Clasificación de suelos mediante SUCS y AASHTO (Ref. ASTM D 2487 y AASHTO M 145)

Los diferentes tipos de suelos son definidos por el tamaño de las partículas, que con frecuencia son identificados en combinación de dos o más tipos diferentes de suelos, que pueden ser: arenas, limo, arcillas, limo arcilloso, areno arcilloso, etc. La determinación del tamaño de las partículas, gradación, textura. Los métodos que actualmente están en uso, son el SUCS el cual califica al suelo en 15 grupos identificando por nombre y símbolo y AASHTO que los identifica hasta en 7 grupos y los reagrupa mediante el Índice de Grupo (IG). Ambos métodos se basan en la granulometría y plasticidad.

3.7. Determinación de la acidez del suelo pH (Ref. ASTM D 1067)

Este método de prueba cubre la determinación del pH de los suelos para usos diferentes de la prueba de corrosión. Esta medida determina el grado de acidez o alcalinidad en materiales de suelo suspendidos en agua y en una solución de cloruro de calcio.

Equipo. - Para medir del pH, se usa el Potenciómetro equipado con un sistema de electrodos de vidrio. Se deben seguir las instrucciones dadas por el fabricante para el uso del medidor de pH elegido. Un sistema de electrodos de cloruro de plata, o similar, también es aceptable. También se puede usar, papel medidor de pH. Papel pH sensible a límites de pH entre 1 y 12, con resolución a dos décimas de pH.

Procedimiento

1. En el momento de tomar medidas con el electrodo de pH, se debe colocar el electrodo dentro de la suspensión parcialmente asentada para mitigar el efecto de la suspensión.

2. Para cualquiera de los métodos, la muestra de suelo debe secarse al aire previamente tamizado por el tamiz No. 10 (2mm) para retirar las fracciones gruesas del suelo.
3. El pH en agua destilada. Para ambos métodos, se pesan aproximadamente 10 g de suelo seco al aire. Se coloca el suelo en un recipiente de vidrio y se añaden aproximadamente 10 ml de agua. Se mezcla completamente y se deja reposar por 1 hora.
4. La lectura para uno de los métodos se lee el pH en el medidor de pH y para el otro método se lee el pH en papel de comparación del pH.

3.8. Ensayo Proctor Modificado (ref. MTC E 115, ASTM D 1557)

Debido al rápido crecimiento tecnológico y desenvolvimiento del equipo de compactación de campo comercialmente disponible, la energía de compactación ha aumentado y por eso, con el propósito de reproducir en el laboratorio las condiciones de compactación de campo, el ensayo se realiza mediante el Proctor Modificado.

Equipo. - Molde Proctor más collarín de 4" a 6" de diámetro dependerá de la granulometría de la muestra, Pisón o Martillo de 18 pulgadas y 4.5 kg, Extractor de Muestras, Una balanza de aproximación de 1 gramo, Horno de 110 ± 5 °C, Regla metálica, Tamices o Mallas de $\frac{3}{4}$ pulgadas y N° 4, conforme a los requisitos de las especificaciones ASTM E11.

Procedimiento

1. Tomar aproximadamente 20 kg, para los métodos "A" y "B", 35 kg para el método "C", de suelo y secado al aire.
2. Luego del secado al aire pulverizarlo.
3. Prepare cuatro especímenes con contenidos de agua, cercanos al óptimo, seleccionar los contenidos de agua de tal forma que dos puntos queden en el lado seco y dos en el lado húmedo, los cuales deben variar alrededor del 2%.

4. Medir el molde de compactación para determinar el volumen
5. Pesar el molde de compactación sin incluir el collar
6. Ensamble y asegure el molde y el collar.
7. Compactar el espécimen en cinco capas, después de la compactación cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor, antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme.
8. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto, de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
9. Después de compactar la última capa remover el collar. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
10. Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta la parte superior, formando una superficie plana.
11. Determine y registre el peso del molde más el suelo compactado
12. Remueva el material del molde y determine el contenido de humedad del suelo compactado, partiendo el espécimen por la mitad y tomar muestras de la parte superior, media e inferior de cada mitad, para seguir lo indicado en el cuadro de determinación del contenido de humedad.
13. Proseguir con tres muestras más variando el % de agua y dibujar una curva, con valores de humedad en el eje X, en el eje Y, los valores de la Densidad Seca.

3.9. Determinación del ensayo CBR (ref. MTC E 132, ASTM D 1883)

Representa la resistencia del terreno de fundación a la penetración de un pistón de área = 3 plg², representada en una muestra de suelo compactado al óptimo contenido de humedad.

Equipo. - Molde de compactación se acopla un collarín de 5 cm. Y una base perforada, Disco espaciador, Martillo o pisón de 10 libras con una altura de caída de 18" – según método AASHTO T-180. Plato y vástago, Trípode y extensómetro, para medir la expansión del material se emplea un extensómetro, con aproximación a 0.001", Pesas las cuales son de plomo y cada una pesa 5 libras. Un marco de carga equipado con pistón cilíndrico.

Procedimiento

1. Se ensambla el molde cilíndrico, se introduce el disco espaciador.
2. La muestra se humedece añadiendo el OCH, se mezcla bien el material.
3. Una vez preparada la muestra, con su correspondiente contenido de humedad, se la coloca dentro del molde y se compacta en 5 capas iguales, la briqueta compactada deberá tener un espesor aproximado de 5 pulgadas.
4. Una vez compactada la muestra, se quitará el collarín metálico, se volteará el molde, y se quitará la base metálica perforada y el disco espaciador.
5. Se pesará el molde con la muestra y se determinará la densidad y la humedad de aquella.
6. Una vez determinada la densidad y humedad de la muestra, se colocará un papel filtro grueso de 6" de diámetro sobre la superficie enrasada; se montará encima de esta superficie la base metálica perforado y se volteará el molde y asegurar el molde a la base de forma que el suelo quede en contacto con el papel filtro.
7. Sobre la superficie libre de la muestra se colocará un papel filtro grueso de 6" de diámetro y se montará el plato con él vástago graduable, luego sobre el plato se colocarán varias pesas de plomo. se colocará cuidadosamente el molde dentro de un tanque. Para permitir el libre acceso de agua por debajo de la muestra.
8. Colocado dentro del tanque con agua se monta el trípode con un extensómetro, y se toma y registra la lectura inicial y luego a las 24,

48, 72 y 96 horas.

9. Al cabo de 96 horas, o antes si el material es arenoso, se toma y anota la "lectura final" para calcular el hinchamiento o expansión del material, suelos orgánicos a algunos suelos cohesivos tienen expansiones muy grandes, generalmente mayores de 10%.
10. El molde con la muestra y la sobre carga, se colocan debajo de la prensa y se asienta el pistón sobre la primera, aplicando una carga de 10 libras (4.5 Kg.).
11. Una vez asentado el pistón, se coloca en (0) cero el extensómetro que mide la deformación. Sí para la aplicación de la carga se emplea un aparato con anillo calibrado, el extensómetro del anillo deberá también colocarse en cero.
12. Se hincan el pistón manteniendo una velocidad de 0.05 pulgadas por minuto (1.27mm/min.), y se leen las cargas totales necesarias para hincar el pistón en incrementos de 0.025, hasta alcanzar 0.5".
13. Hincando el pistón hasta 0.5 pulgadas (1.27 cm.), se suelta la carga lentamente se retira el molde de la prensa, y se quitan las pesas y la base metálica perforada.
14. Finalmente, se determina el contenido de humedad de la muestra, para el control de campo, bastará determinar el contenido de humedad de la parte superior de la muestra, pero en las pruebas de laboratorio se recomienda tomar el valor promedio de los diferentes contenidos de humedad obtenidos en los extremos y parte media de la muestra.
15. Dibujar una curva de resistencia a la penetración (la ordenada) en lbs/plg² contra la penetración en mm ó pulgadas, tanto para la muestra recién compactada como para la muestra saturada.
16. Obtener la resistencia a la penetración para 2.5 y 5 mm y calcular el C.B.R. (El C.B.R. De un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" de penetración expresada en por ciento de su respectivo "valor estándar", si los C.B.R. Para 0.1".

$$CBR\% = \frac{\sigma_{suelo\ ensayado}}{\sigma_{Patron\ o\ macadam}} \times 100$$

3.10. Ensayos para el suelo con adición de cemento (ref. MTC E 1101)

Siguiendo los procedimientos establecidos en las normas del MTC, siendo los ensayos para el suelo estabilizado los mismos realizados en los ensayos para el suelo arcilloso con adición de cemento al 0%, con la diferencia que las muestras fueron alteradas con la adición de cemento en sus diversos tratamientos. El aditivo estabilizador se selecciona, la cantidad de aditivo se selecciona luego de la determinación del pH del suelo.

3.11. Ensayo del hidrómetro (ref. NTP 339 124)

El ensayo se debe realizar con la muestra de suelo con su contenido de humedad natural.

En primer lugar, se determina la granulometría utilizando el procedimiento estándar del método del hidrómetro en el cual el espécimen de suelo es dispersado en agua destilada y se le proporciona una agitación mecánica muy intensa y se le adiciona un dispersante químico. En forma paralela se desarrolla el ensayo del hidrómetro a otra muestra del mismo suelo, pero sin agitación mecánica y sin dispersante químico.

Preparación de la muestra

El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro de 50 (Peso seco). El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo, el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.

Procedimiento

1. Determínese el peso específico de los sólidos (S_s).
2. Si el peso es secado al horno se debe obtener al principio del ensayo, séquese la muestra al horno, déjese enfriar y pésese con una aproximación de 0.1 g. Regístrese el valor obtenido. Vaciar la muestra en una cápsula de 250 ml previamente identificada con un número, agréguese agua destilada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Luego vaciar el agente dispersante de 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (40g/l). Déjese la muestra en remojo por una noche hasta que los grumos de suelo se hayan desintegrado.
3. Transfírase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión, lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada. Para lograr la dispersión se puede emplear también aire a presión en lugar del método mecánico del agitador.
4. En este caso, se coloca un manómetro entre el vaso y la válvula de control, la cual se abre inicialmente para obtener una presión de 0.07 kg/cm² (1 psi). Se transfiere la lechada de suelo-agua de la cazuela al vaso de dispersión, lavando con agua destilada el remanente de la cazuela, y rellenando si es necesario, con más agua destilada hasta el volumen de 250 ml. Se tapa el vaso y se abre la válvula de control hasta obtener una presión de 1.4 kg/cm² (20 psi).
5. Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 ml. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.
6. Un minuto antes de comenzar el ensayo, tómesese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítese la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. Continúese agitando hasta completar un minuto volteando el cilindro hacia arriba y hacia

abajo alternativamente.

7. Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre la mesa de trabajo. Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introdúzcase lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.
8. Obsérvense y anótense las dos primeras lecturas del hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extráigase cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro graduado con agua limpia. Si el hidrómetro se deja mucho tiempo en la suspensión, parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causando errores en las lecturas. Luego, introdúzcase nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los: 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1.440 minutos.
9. Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colóquese un termómetro en la suspensión, mídase la temperatura y anótese en la planilla con una aproximación de 0.5 °C (0.9 °F).
10. Si el peso de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lávese cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y determínese el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.

CAPITULO IV. RESULTADOS

En el presente capítulo trataremos sobre la exploración de campo y los experimentos mediante los ensayos de laboratorio que nos permiten en primer lugar determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Luego se estabiliza la subrasante con el uso de diferentes porcentajes de cemento Portland, con la finalidad de dar respuesta a los objetivos de nuestra investigación.

4.1. Propiedades para la caracterización de los suelos en estado natural

4.1.1. Trabajo de investigación de campo

Los trabajos de exploración de campo se realizaron en el mes de noviembre de 2020, por los tesistas, con el apoyo de nuestro asesor, realizando el recorrido y reconocimiento del lugar, para luego realizar la excavación de calicatas a cielo abierto.

4.1.1.1. Reconocimiento de campo

En esta actividad que conlleva a la observación In Situ en los lugares y luego de establecer los puntos de exploración, que se visualiza en el plano de ubicación de calicatas (Tabla 20). Así mismo en nuestro recorrido hasta llegar a la zona de investigación se observó la presencia de zanjas de medianamente profundas a profundas producidas por erosión.

4.1.1.2. Geología del lugar

Con respecto a la geología del sector Polvoraico que inicia desde el km 00+000 hasta el km 04.000 km de Longitud, tiene una topografía llana y poco ondulada. El tramo está constituido por depósitos aluviales incluidos de gravas y arcillas específicamente en el km 03+000 al km 03+500. Además, los depósitos residuales constituidos de gravas, arenas, arcillas y limos con fragmentos de formas angulosas, y las formaciones geológicas que se encuentran en el área de trabajo. En el área de estudio se evidencia la

presencia de arcilla, dichos resultados fueron ratificados con las manifestaciones de personas naturales de la zona.

Los suelos de fundación, en las Progresiva: 00+000 al 03+000, corresponden a suelos arcillosos, identificados en la clasificación SUCS como CL, y en la clasificación AASHTO como A-6 de baja humedad y no plásticos. El terreno de fundación de este tramo de la Progresiva: 03+000 al 03+500 corresponden a los identificados como: Grava Arcillosa y Grava Limosas, identificadas como GM y GC de acuerdo a la clasificación SUCS y A-2-7 según la clasificación AASHTO. Estos suelos presentan humedad baja y son no plásticos

4.1.1.3. Hidrología del lugar

Las lluvias en el Sector Polvoraico, originan los escurrimientos superficiales que hacen daño a la carretera generando dificultad para los agricultores y transeúntes del lugar; por esa razón se mide y registra en estaciones de control de precipitación para conocer el promedio de las precipitaciones. El registro y estudio de las máximas avenidas anuales permite determinar, bajo ciertos criterios, la probabilidad de ocurrencia de avenidas de una cierta magnitud (Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje 2018, pág. 19).

En la Tabla 19 se muestra los datos de la precipitaciones mensuales desde el año 1998 hasta el 2018; en la mencionada Tabla 19 se evidencia la precipitación media de los 20 años que equivale a 112.3 mm.

Tabla 19: Datos de precipitación total mensual (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1998	113.7	134.6	161.4	172.4	111.1	82.4	69.3	59	84	105.5	47.3	71.5	1212.2	101.0
1999	213.3	163.5	194.9	69.8	220.1	67.5	52	49.3	43.8	52.6	168.5	119.4	1414.7	117.9
2000	116.8	120.4	105	181.7	58.2	55.1	57.7	92.4	177	50.2	42.5	134.6	1191.6	99.3
2001	86.1	80.9	163.6	348.2	139.5	59.3	140.6	66	96.8	61.2	131	222.3	1595.5	133.0
2002	17.5	102.5	89	168.4	46.4	67.3	146.5	23.4	18.5	94.6	102.6	94.6	971.3	80.9
2003	169	166.7	178.1	131.2	106.2	99.7	36.7	41	70.2	155.4	97.7	200.6	1452.5	121.0
2004	24.8	154.3	82.9	64.8	137.6	89.3	84.5	104.4	70.9	100.5	124.4	169.4	1207.8	100.7
2005	56.2	153.1	145.7	184.6	45.7	118.9	35.2	15.9	77	147.5	231.4	21.9	1233.1	102.8
2006	152.5	134	119.3	152.1	54.9	58.1	144.1	14.8	41.4	144.5	193	84	1292.7	107.7
2007	122.1	34.4	287.4	119.3	138.7	21.8	91.5	104.2	106	104.9	207.3	50.1	1387.7	115.6
2008	96.8	192.8	155.6	100.7	81.3	103.5	19	40.5	103.4	83.5	80.3	54.9	1112.3	92.7
2009	154.5	156.8	170.5	226.4	135.1	127.4	54.7	95.7	132.5	99.3	108	101.4	1562.3	130.2
2010	71.7	156.2	113.7	254.3	104.1	64.7	17.9	70.2	43.9	100.8	206.6	117.1	1321.2	110.1
2011	84.4	53.3	270.7	134.8	125.5	135	137.5	16.4	78.7	89.3	184.3	164.8	1474.7	122.9
2012	193.7	125.1	175	288.9	134.9	86.8	59.4	14.3	95.5	137.3	53.4	218.9	1583.2	131.9
2013	151.1	144.1	168.2	77.9	111.9	100.1	49.7	128.4	105.3	65	209.7	93.1	1404.5	117.0
2014	154.7	125.6	293.8	140.3	145.1	50.4	81.1	51.8	82.7	196.8	102.2	85.5	1510.0	125.8
2015	134.6	211.8	116.6	271.3	145.7	72.2	43.9	70.1	28	116.8	90.7	281.1	1582.8	131.9
2016	47.6	212.5	143.1	237.1	120.4	53.7	49	15.9	70.92	136.1	59.8	128.5	1274.6	106.2
2017	113.7	62.2	112.4	61.9	107.5	133.5	47.8	82	171.8	43.6	129.7	156.2	1222.3	101.9
2018	113.7	142.1	142.1	233.4	62.7	84.51	36.72	82.81	65.8	130.6	61	128.5	1284.0	107.0
TOTAL	2388.5	2826.9	3389.0	3619.5	2332.6	1731.2	1454.8	1238.5	1764.1	2216.0	2631.4	2698.4	28291.0	2357.6
MEDIA	113.7	134.6	161.4	172.4	111.1	82.4	69.3	59.0	84.0	105.5	125.3	128.5	1347.2	112.3
DS	52.3	47.6	59.6	79.9	42.2	30.1	40.8	34.9	41.1	39.4	60.6	64.3	170.6	14.2

Fuente: SENAMI Tarapoto

4.1.1.4. Excavación de calicatas

En primer lugar, se establecieron los puntos de excavación, considerando un total de 05 calicatas, estableciéndose de forma aleatoria y considerando la homogeneidad de la formación geológica del sector Polvoraico, del Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín y luego fueron excavadas en forma manual, a una profundidad mínima de 1.5 m. En cada una de las calicatas se identificó y describió las características de los suelos que conforman mediante un registro de excavación de campo por calicata y finalmente se estableció el perfil estratigráfico de la zona, anotándose el tipo de suelo, humedad, plasticidad, compacidad, color, textura, coordenadas UTM, en concordancia con las normas establecidas, registrándose vistas fotográficas en cada calicata (MTC.SGGP.2014-pág. 29).

La información tomada en el campo se llevó al laboratorio para su registro y contrastación. De cada una de las calicatas se recogieron muestras representativas en cantidades suficientes para la ejecución de los ensayos de laboratorio necesarios para caracterizar las propiedades de los suelos, también se obtuvieron muestras para los ensayos de Proctor Modificado y CBR, a continuación, se presenta en la Tabla 20, la relación de calicatas excavadas, (MTC.SGGP.2014-pág. 29).

Ubicación de las calicatas

Calicata	Progresiva	Lado	Profundidad	Coordenadas	
				Este	Norte
C - 1	00+000	Izquierda	0.00 - 1.50	339525	9278131
C - 2	01+000	Derecha	0.10 - 1.50	341344	9278776
C - 3	02+000	Izquierda	0.00 - 1.50	340278	9277852
C - 4	03+000	Derecha	0.00 - 1.10	340348	9277952
C - 5	04+000	Izquierda	0.10 - 1.50	339249	9278410

Fuente: Elaboración propia 2021

4.1.2. Trabajo experimental de laboratorio

Los ensayos de laboratorio se ejecutaron de acuerdo a lo establecido en las normas técnicas peruanas (NTP), American Society for Materials Testing (ASTM), Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y American Association of Official Highway and Transportation Agencies (AASHTO).

4.1.2.1. Propiedades Físicas

a) Contenido de humedad (ω)

Se determinó el contenido de humedad de las muestras que nos permite indicar la cantidad de agua contenida en los poros de la masa del suelo, la misma que se expresa en porciento del peso de agua entre el peso del suelo seco, considerándose un valor relativo y dependiente de los factores, geológicos, climáticos, los cuales en nuestra región son variables. Además, la muestra ha sido conservada y transportada convenientemente hasta el laboratorio e inmediatamente ser ensayadas para evitar los cambios de humedad, (MTC.SGGP.2014-pág. 35).

Tabla 20: Contenido de Humedad

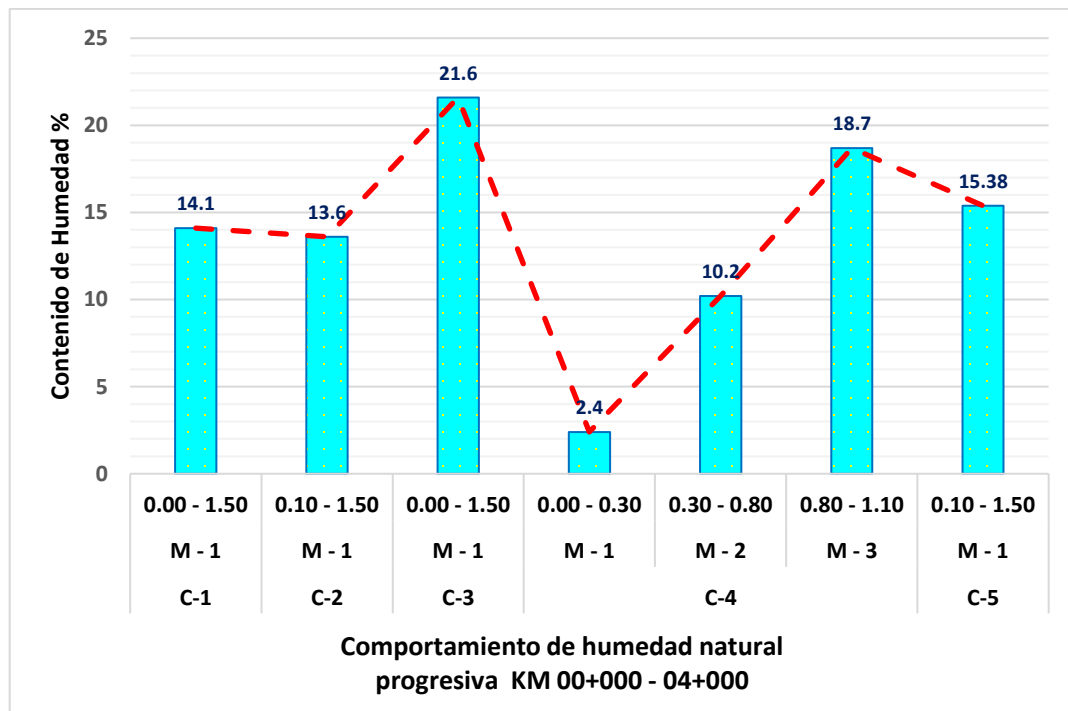
Calicata	Progresiva	Lado	Muestra	Profundidad	Contenido de humedad (%)
C-1	00+000	Izquierda	M - 1	0.00 - 1.50	14.1
C-2	01+000	Derecha	M - 1	0.10 - 1.50	13.6
C-3	02+000	Izquierda	M - 1	0.00 - 1.50	21.6
C-4	03+000	Derecha	M - 1	0.00 - 0.30	2.4
	03+000	Derecha	M - 2	0.30 - 0.80	10.2
	03+000	Derecha	M - 3	0.80 - 1.10	18.7
C-5	04+000	Izquierda	M - 1	0.10 - 1.50	15.38

Fuente: Elaboración propia 2021

El contenido de humedad en la calicata C-1 (km. 00+000), C-2 (km. 01+000), C-3 (km. 02+000) y en la C-5 (km. 04+000) nos muestra un porcentaje de humedad 14.1%, 13.6%, 21.6% y 15.38% respectivamente;

mientras que en la C-4 (km. 03+000) existe la presencia de nivel freático entre 1.10m de profundidad, lo cual nos indica que a una profundidad media del suelo se encuentra altamente saturada, a continuación, podemos ilustrar en la siguiente Figura 6.

Figura 6: Contenido de Humedad



Fuente: Elaboración propia 2021

b) Granulometría de los suelos

Este ensayo se realizó con la finalidad de conocer el tamaño de los granos del suelo y determinado mediante el tamizado mecánico de las muestras secas y lavadas mediante la malla N° 200 (0,075mm de abertura), luego se hizo pasar dicha muestra entre la malla N° 4 (4.75mm), colocadas en forma descendente, con su respectiva cazoleta y tapa respectivamente y agitadas por un lapso de 10 minutos en el equipo de vibración mecánica y luego pesar los pesos retenidos en cada malla y procesados hasta obtener una curva representativa y dibujada en el eje X en escala logarítmica los granos del material y en el eje Y el porcentaje que pasa que pasa en cada malla correspondiente, (MTC.SGGP.2014-pág. 33).

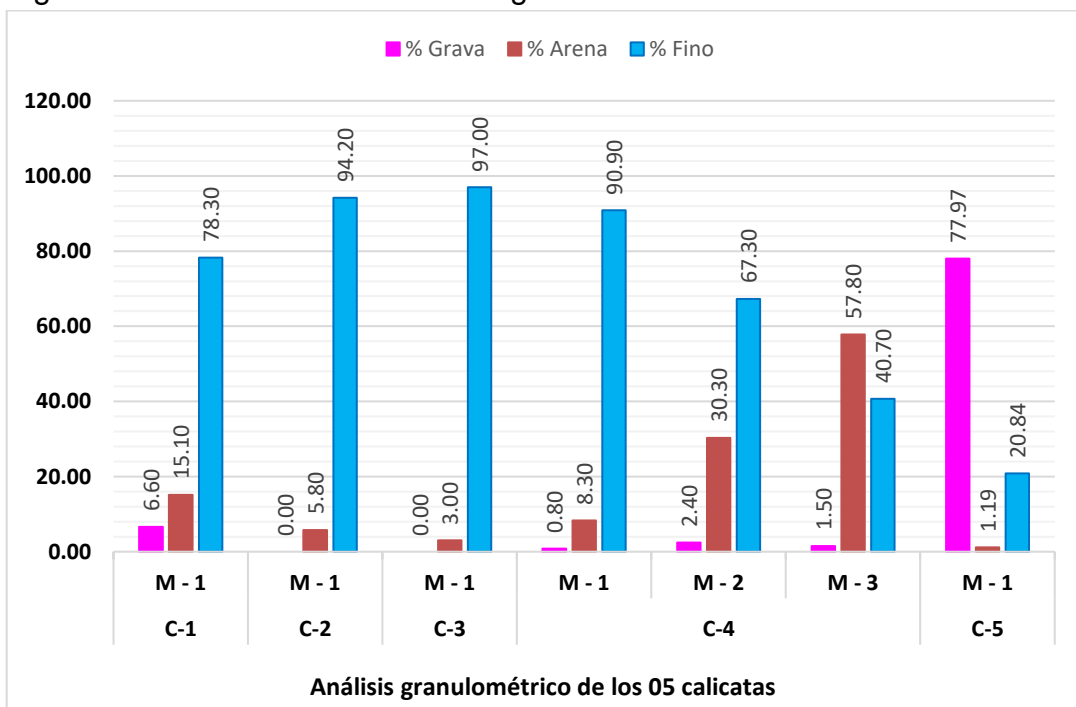
Tabla 21: Resultado de Análisis Granulométrico de las 05 calicatas

Calicata	Km.	Lado	Muestra	Profundidad	Análisis Granulométrico		
					% Grava	% Arena	% Fino
C-1	00+000	Izquierda	M - 1	0.00 - 1.50	6.60	15.10	78.30
C-2	01+000	Derecha	M - 1	0.10 - 1.50	0.00	5.80	94.20
C-3	02+000	Izquierda	M - 1	0.00 - 1.50	0.00	3.00	97.00
C-4	03+000	Derecha	M - 1	0.00 - 0.30	0.80	8.30	90.90
	03+000	Derecha	M - 2	0.30 - 0.80	2.40	30.30	67.30
	03+000	Derecha	M - 3	0.80 - 1.10	1.50	57.80	40.70
C-5	04+000	Izquierda	M - 1	0.10 - 1.50	77.97	1.19	20.84

Fuente: Elaboración propia 2021

La determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo es fundamental para conocer el porcentaje de grava, arena y finos que cuenta el suelo.

Figura 7: Clasificación de suelos según su tamaño de las 05 calicatas



Fuente: Elaboración propia 2021

La determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo es fundamental para conocer el porcentaje de grava, arena y finos que cuenta el suelo.

En la Figura 07, se percibe que la calicata 05 (C-05) cuenta con un 77.97% de grava, 1.19% de arena y 77.97% de fino que pasa por el tamiz N° 200. De acuerdo al análisis de la C-05 se puede definir que es un suelo grava limosa con presencia de arcilla y con mezcla de arena. Asimismo, se observa que la calicata 04 (C-04) en la M-1 el 0.80% de grava, 8.30% de arena y 90.90% de material fino que pasa por el tamiz N° 200, en la M-2 y M3 se evidencia una gran cantidad de arena y fino. Las calicatas 02 y 03 (C-02, C-03) no contiene grava, un 5.80% es arena en la C-03 y 3.00% en la C-04; mientras el 94.20% y 97.00% respectivamente es suelo fino. En la calicata 01 (C-01) el 6.60% es grava, 15.10% de arena y 78.30% de material blando.

El Cu y Cc no se determinaron por que el porcentaje de fino que pasa por el tamiz N° 200 supera al 12%. Además, el peso perdido en el proceso del tamizado de las cinco calicatas es inferiores al 2%.

c) Límite Líquido (LL)

Se determinó para observar los estados dependientes del contenido de humedad, los cuales representan una gran importancia en las obras de ingeniería civil, puesto que en el caso de suelos arcillosos el contenido de humedad, hace que disminuya la capacidad de resistir cargas. En estas condiciones el suelo puede pasar desde la apariencia de un estado líquido, líquido viscoso, plástico, semisólido y sólido (seco). Siendo determinado mediante el equipo de la copa de Casagrande, (MTC.SGGP.2014-pág. 33).

d) Límite Plástico (LP)

Se determinó el límite plástico en y que observando al suelo en el instante que se encuentra entre el estado plástico y semisólido, observándose como el suelo pierde sus características de trabajable y en este estado empieza a presentar fisuras en la estructura del suelo,

presentándonos una respuesta que en la interacción suelo estructura, se observaría consecuencias inesperadas, (MTC.SGGP.2014-pág. 33).

e) Índice Plástico (IP)

Es el resultado de la plasticidad del suelo y se lo identifica como índice de plasticidad de los suelos y se obtiene del conocimiento experimental de los límites líquido y plástico, (MTC.SGGP.2014-pág. 33). Determinándose mediante la expresión:

$$IP = LL - LP$$

f) Índice de Consistencia (I_c)

Es el número que se determinó y nos permite ubicar a los suelos arcillosos en los estados en los que puede pasar en su vida geológica, (Martínez, E. 2015.pág. 89)

$$I_c = \frac{LL - \omega}{IP}$$

Los resultados obtenidos en el laboratorio, se muestra en el cuadro (Tabla 23) de resumen de la ubicación del tipo de suelo y las características antes mencionadas.

Tabla 22: Resumen de ensayo de límite de Atterberg en las calicatas

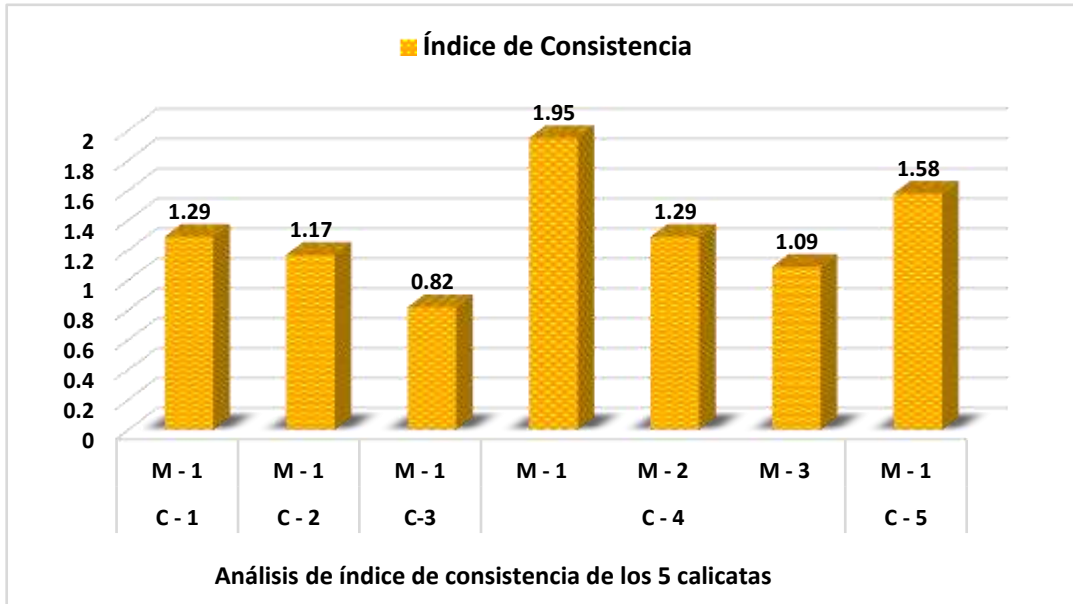
Calicata	Km.	Capa	Profundidad	ω (%)	Límite de consistencia			IC
					LL %	LP %	IP %	
C-1	00+000	M-1	0.00-1.50	14.10	20.02	15.43	4.59	1.29
C-2	01+000	M-1	0.10-1.50	13.60	31.46	16.13	15.33	1.17
C-3	02+000	M-1	0.00-1.50	21.60	36.28	18.3	17.98	0.82
C-4	03+000	M-1	0.00-0.30	2.40	29.86	15.76	14.10	1.95
	03+000	M-2	0.30-0.80	10.20	28.38	14.24	14.14	1.29
	03+000	M-3	0.80-0.10	18.70	40.05	20.42	19.63	1.09

C-5	04+000	M-1	0.10-1.50	15.38	26.31	19.4	6.91	1.58
------------	--------	-----	-----------	-------	-------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia 2021

El límite de Atterberg está constituido por el Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP).

Figura 8: Análisis de resultado de índice de consistencia de las 05 calicatas



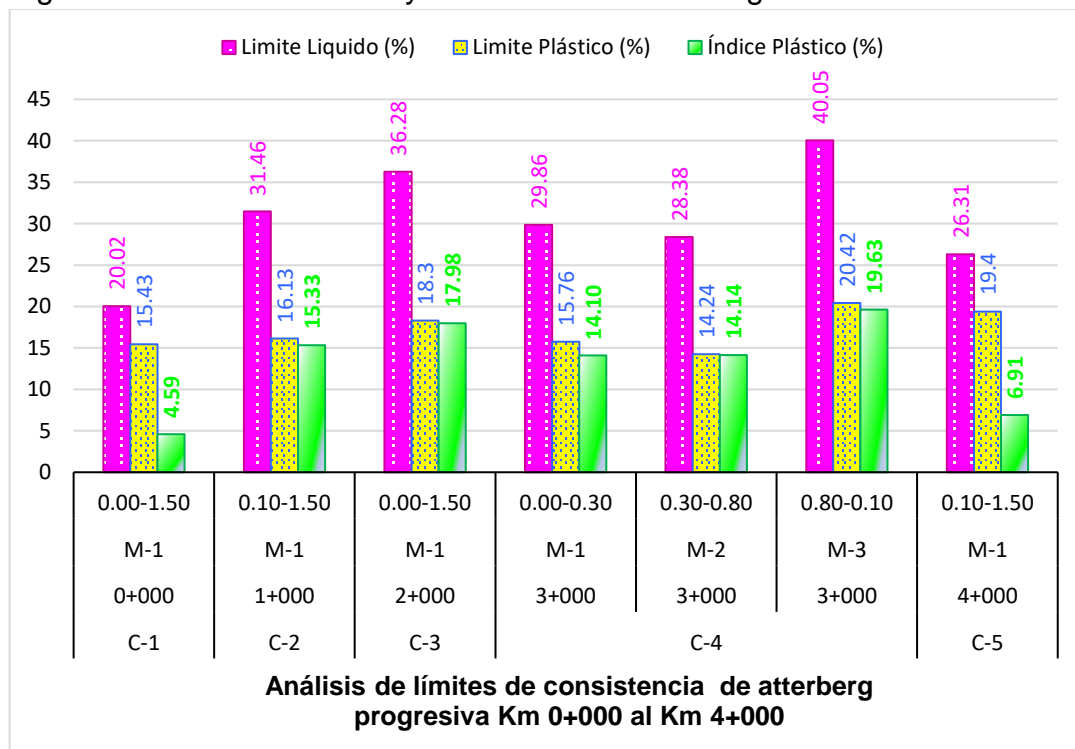
Fuente: Elaboración propia 2021

Con respecto al índice de consistencia la C-1, C-2, C-4 y C-1 presentan valores superiores a 1, quiere decir que son suelos es compacto; mientras la C-3 muestra ser un suelo de consistencia plástica (semirrígida) de 0.82 (Figura 8).

En la figura 9 se observa que la C-1 presenta un Límite Líquido de 20.02%, Límite Plástico 15.43% y Índice de Plasticidad 4.59%. Por otra parte, en la Calicata 02 (C-2) se evidencia el Límite Líquido de 31.46%, Límite Plástico 16.13% y Índice de Plasticidad 15.33%. Además, el Límite Líquido en la calicata 03 es 36.28%, Límite Plástico 18.3% y Índice de Plasticidad 17.98%. De otro lado, la calicata 4 (C-4) en la M-1. M-2 y M-3 tiene el Límite Líquido de 29.86%, 28.38% y 40.05% respectivamente; Límite Plástico 15.76%, 14.24 y 20.42% respectivamente y Índice de Plasticidad 14.10%, 14.14% y 19.63. Mientras, que la calicata 05 (C-5) se evidencia que tiene un

Límite Líquido de 26.31%, Límite Plástico 19.4% y Índice de Plasticidad 6.91%.

Figura 9: Resumen de ensayo de Límite de Atterberg de las 05 calicatas



Fuente: Elaboración propia 2021

En cuanto a la plasticidad de las calicatas que concluye que: C-1 y C-5 su índice de plasticidad es inferior a 7, que representa plasticidad baja quiere decir que el suelo es poco arcilloso; mientras, C-2, C-3 y C-4 se encuentran el rango de $7 < IP > 20$, con plasticidad media quiere decir que los suelos son arcillosos (MTC, 2013)

g) Clasificación de suelos

Se determinó para observar como este valor nos permite reagrupar el suelo mediante sus características de tamaño de partículas y su plasticidad, haciendo uso de los dos métodos aplicables a una orientación práctica del ingeniero en el comportamiento del suelo, (MTC.SGGP.2014-pág. 32).

Los diferentes tipos de suelo son definidos por el tamaño de las partículas, que el sistema de clasificación de los suelos (SUCS), clasifica a los suelos en 15 grupos identificado en término simbólico; a continuación, se muestra en la Tabla 24 el cuadro de resumen de los ensayos y la calificación de los suelos según la norma AASHTO y SUCS obtenidos de la las calicatas del km 0+000 al Km 4+000 del Sector Polvoraico.

Tabla 23: Resumen de la clasificación de suelos Km 0+000 al 4+000

Calicata	Km.	Lado	Capa	Profund.	Clasificación		Descripción del material
					AASHTO	SUCS	
C-1	0+000	Izq.	M-1	0.00-1.50	A-6 _[10]	CL	Arcilla con arena de baja plasticidad
C-2	1+000	Der.	M-1	0.10-1.50	A-6 _[10]	CL	Arcilla con arena de baja plasticidad
C-3	2+000	Izq.	M-1	0.00-1.50	A-6 _[11]	CL	Arcilla con arena de baja plasticidad
C-4	3+000	Der.	M-1	0.00-0.30	A-6 _[2]	SC	Arena arcillosa
	3+000	Der.	M-2	0.30-0.80	A-6 _[8]	CL	Arcilla de baja plasticidad
	3+000	Der.	M-3	0.80-0.10	A-6 _[12]	CL	Arcilla de baja plasticidad
C-5	4+000	Izq.	M-1	0.10-1.50	A-2-4 _[0]	GC-GM	Grava limo arcillosa

Fuente: Elaboración propia 2021

En la tabla 24 se muestra que los suelos de la progresiva Km 0+000 hasta el Km 2+000 el suelo es arcilla con arena de baja plasticidad (CL); además, que en el Km 3+000 hay presencia de arena arcillosa (SC) y arcilla de baja plasticidad (CL). Mientras que el Km 4+000 el suelo es grava limo arcillosa (GC-GM).

h) **Peso Específico Relativo de Sólidos**

El peso específico relativo de los sólidos o también conocida como gravedad específica se calculó utilizando la relación de peso del suelo (W_s),

con el peso del agua (W_w), considerando los mismos volúmenes, como se observa en la siguiente expresión:

$$S_s = \frac{W_s}{W_s + W_{f\omega} - W_{f\omega s}} = \frac{W_s}{W_w}$$

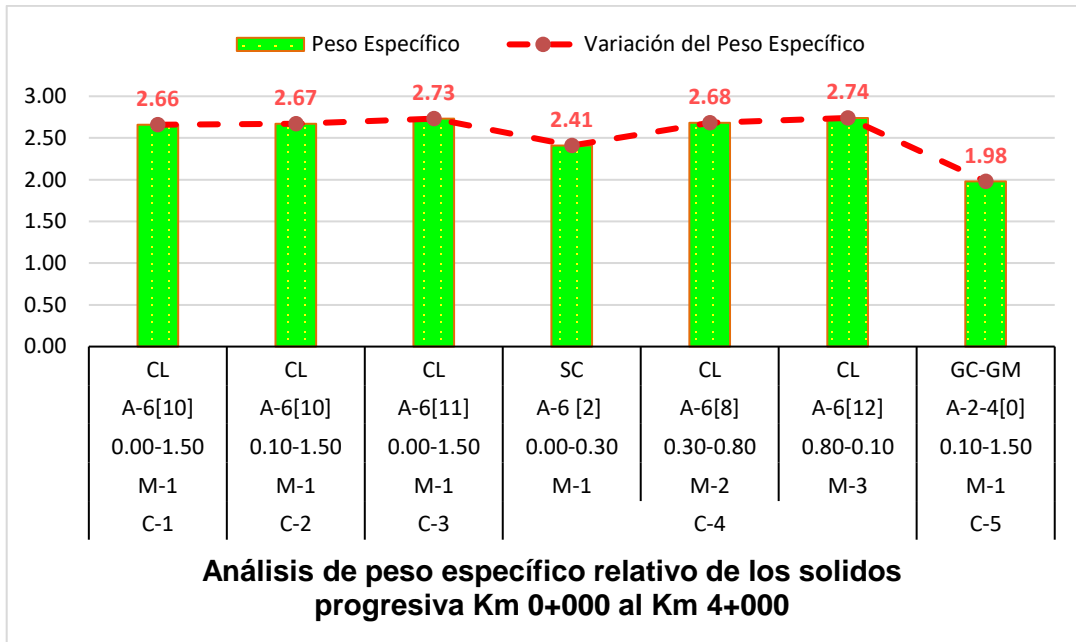
Tabla 24 : Peso Específico Relativo de Sólidos

Calicata	Km.	Lado	Capa	Profund.	Clasificación		Peso específico
					AASHTO	SUCS	
C-1	0+000	Izq.	M-1	0.00-1.50	A-6 _[10]	CL	2.66
C-2	1+000	Der.	M-1	0.10-1.50	A-6 _[10]	CL	2.67
C-3	2+000	Izq.	M-1	0.00-1.50	A-6 _[11]	CL	2.73
C-4	3+000	Der.	M-1	0.00-0.30	A-6 _[2]	SC	2.41
	3+000	Der.	M-2	0.30-0.80	A-6 _[8]	CL	2.68
	3+000	Der.	M-3	0.80-0.10	A-6 _[12]	CL	2.74
C-5	4+000	Izq.	M-1	0.10-1.50	A-2-4 _[0]	GC-GM	1.98

Fuente: Elaboración propia 2021

En la Tabla 25 se evidencia que el peso específico relativo de sólidos como se explica a continuación: en la C-1, C-2, C-3, C-4-M1, C-4-M2, C-4-M3 y C-5 el peso específico es 2.66, 2.67, 2.73, 2.41, 2.68, 2,74 y 1.98 respectivamente.

Figura 10: Análisis de los Pesos Específico de los suelos las 05 calicatas

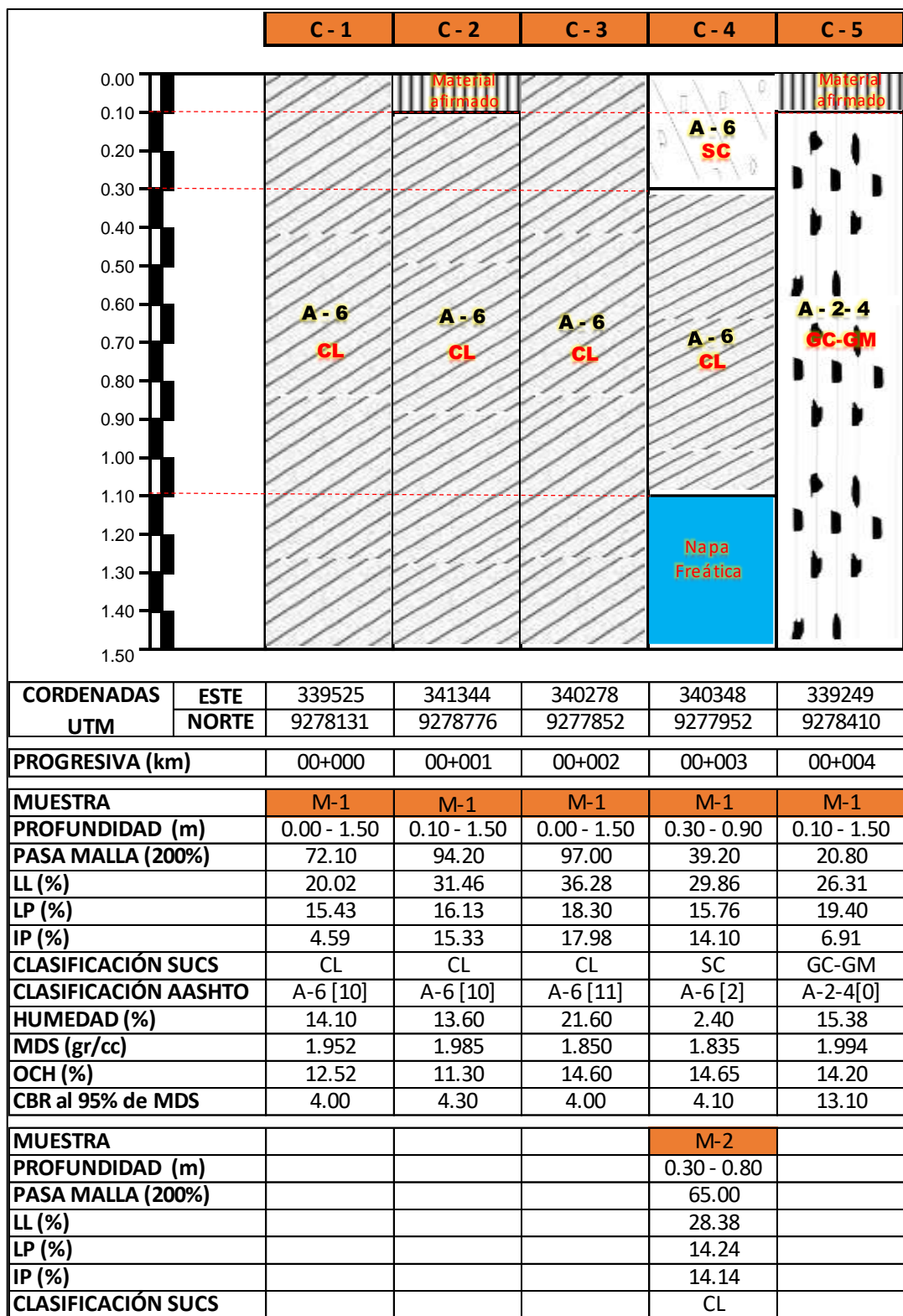


Fuente: Elaboración propia 2021

En la figura 10 se muestra la variación del peso específico de acuerdo a las características del suelo.

Perfil Estratigráfico del suelo

Figura 11: Perfil estratigráfico de la Progresiva Km 0+000 al Km 4+000



CLASIFICACIÓN AASHTO				A-6 [8]	
HUMEDAD (%)				10.20	
MDS (gr/cc)				1.835	
OCH (%)				14.65	
CBR al 95% de MDS				4.10	
MUESTRA				M-3	
PROFUNDIDAD (m)				0.80 - 1.10	
PASA MALLA (200%)				90.10	
LL (%)				40.05	
LP (%)				20.42	
IP (%)				19.63	
CLASIFICACIÓN SUCS				CL	
CLASIFICACIÓN AASHTO				A -6 [12]	
HUMEDAD (%)				18.60	
MDS (gr/cc)				1.835	
OCH (%)				14.65	
CBR al 95% de MDS				4.10	

Fuente: Elaboración propia 2021

En la figura 11 se muestra el perfil estratigráfico del suelo de las 05 calicatas analizados desde la progresiva Km 0+000 al Km 4+000.

4.1.2.2. Propiedades mecánicas

a) Compactación de suelos

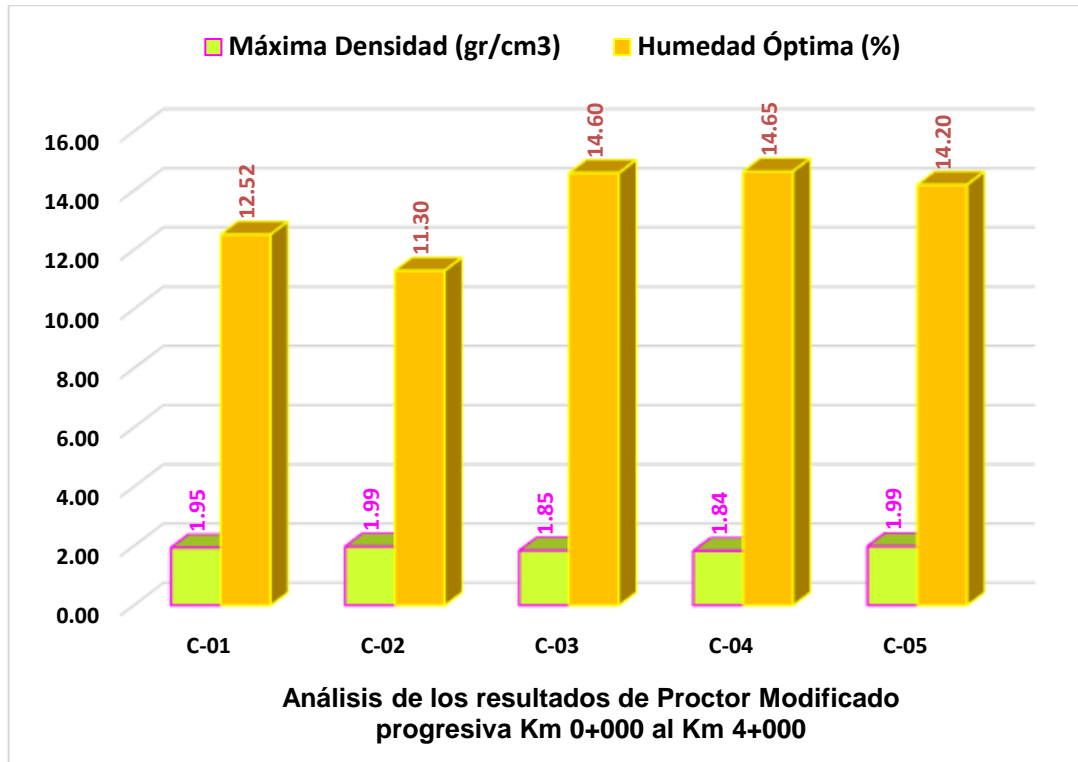
Se determinó haciendo uso del método de proctor modificado, cuyo objetivo de nuestra investigación es la determinación de la densidad seca máxima vs el óptimo contenido de humedad, parámetros que se utilizarán en la determinación del CBR, (MTC.SGGP.2014-pág. 32).

Tabla 25: Resumen de ensayo Proctor Modificado Km 0+000 al Km 4+000

Calicata	Km.	Capa	Profund.	Límite de consistencia			Proctor Modificado	
				LL (%)	LP (%)	IP (%)	DSM (gr/cm ³)	OCH (%)
C-1	0+000	M-1	0.00-1.50	20.02	15.43	4.59	1.952	12.52
C-2	1+000	M-1	0.10-1.50	31.46	16.13	15.33	1.985	11.30
C-3	2+000	M-1	0.00-1.50	36.28	18.30	17.98	1.850	14.60
C-4	3+000	M-1	0.00-0.30	29.86	15.76	14.10	1.835	14.65
	3+000	M-2	0.30-0.80	28.38	14.24	14.14		
	3+000	M-3	0.80-0.10	40.05	20.42	19.63		
C-5	4+000	M-1	0.10-1.50	26.31	19.4	6.91	1.994	14.20

Fuente: Elaboración propia 2021

Figura 12: Resumen de ensayo Proctor Modificado Km 0+000 al Km 4+000



Fuente: Elaboración propia 2021

En la Tabla 29 indica que la Máxima Densidad Seca de la C-1 es 1.95 gr/cm³, C-2y C-5 es 1.99 gr/cm³, C-3 es 1.85 gr/cm³ y C-4 es 1.84 gr/cm³. Con respecto al Optimo Contenido de Humedad la C-1 muestra un 12.52%, C-02 el OCH es 11.30%, C-3 es 14.60%, C-4 es 14.65% y en la C-5 para llegar a la MDS es necesario tener un OCH de 14.20%,

b) Relación Soporte California

Se determinó siguiendo los procedimientos normados y que nos orienta a la calidad del suelo, desde el punto de vista de la resistencia al corte de los suelos y su capacidad de resistir cargas externas, (MTC.SGGP.2014-pág. 32).

En la Tabla 27 muestra los resultados obtenidos en las cinco calicatas (C-1, C-2, C-3, C-4 y C-5) por el ensayo de CBR. Las calicatas C-2, C-3, C-4 y C-5 a un 95% de compactación se logra obtener una subrasante pobre 4%, 4.3%, 4% y 4.1% respectivamente (3% <= CBR < 6%); mientras C-5 un

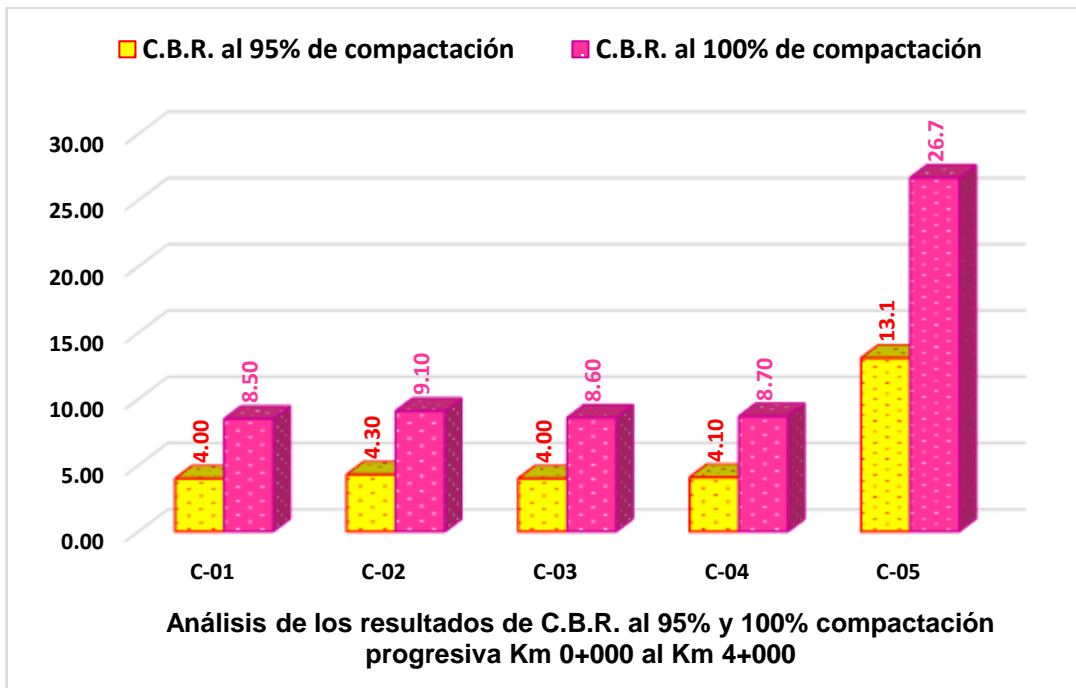
CBR de 13.1% que se encuentra en el rango de CBR buena (10% ≤ CBR < 20%).

Tabla 26: Resumen de ensayo de CBR Km 0+000 al Km 4+000

Calic.	Km.	Capa	Profund	Límite de consistencia			Proctor Modificado		CBR	
				LL (%)	LP (%)	IP (%)	DSM (gr/cm ³)	OCH (%)	95%	100%
C-1	0+000	M-1	0.00-1.50	20.02	15.43	4.59	1.952	12.52	4.00	8.50
C-2	1+000	M-1	0.10-1.50	31.46	16.13	15.33	1.985	11.30	4.30	9.10
C-3	2+000	M-1	0.00-1.50	36.28	18.3	17.98	1.850	14.60	4.00	8.60
C-4	3+000	M-1	0.00-0.30	29.86	15.76	14.10	1.835	14.65	4.10	8.70
	3+000	M-2	0.30-0.80	28.38	14.24	14.14				
	3+000	M-3	0.80-0.10	40.05	20.42	19.63				
C-5	4+000	M-1	0.10-1.50	26.31	19.4	6.91	1.994	14.20	13.10	26.70

Fuente: Elaboración propia 2021

Figura 13: Resumen de ensayo Proctor Modificado Km 0+000 al Km 4+000



Fuente: Elaboración propia 2021

En la Figura 13 se puede ratificar que los CBR a un 95% de compactación se encuentra en el rango de sub rasante pobre (3% ≤ CBR < 6%). Mientras que la C-5, presenta un CBR es 13.1%; lo que indica tener una sub rasante buena (10% ≤ CBR < 20%).

Finalmente, se puede concluir que el suelo de la investigación no es apto para las capas de la subrasante por presentar CBR menores al 6% (MTC 2013, pág. 40).

Los resultados obtenidos evidencian que debe mejorar la subrasante con la finalidad de aumentar la resistencia al agua en comparación al material existente en la vía. Asimismo, la mezcla de cemento con el suelo del sector Polvoraico mejorará la capacidad de soporte y estabilidad de la vía. La adecuada adherencia de cemento permite un buen desempeño estructural por periodos prolongados (MTC 2013, pág. 40).

4.2. Estabilización del suelo de la subrasante

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos naturales o sintéticos. Tales estabilizadores, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en ese caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos (MTC 2013, pág. 116).

El CBR de diseño de la subrasante se considera para el mejoramiento el valor más crítico de los resultados (4%). Asimismo, el estabilizador apropiado para la mejorar la subrasante es el cemento Portland (MTC.SGGP.2013, pág. 39, 40 y 117).

4.2.1. Determinación del porcentaje de cemento

La determinación de la cantidad adecuada de cemento se fundamenta en el análisis del comportamiento de las probetas de ensayo con diferentes cantidades de cemento. La mejor manera de fijar las cantidades de cemento para los ensayos es la comparación del suelo en estudio con otros ya ensayados, llevándose a consideraciones la granulometría, los índices de

consistencia, orígenes geológicos, la coloración, la región de donde proviene y profundidad de la muestra (Rocha, 2002).

Asimismo, se debe tomar en cuenta las normas estandarizadas en nuestro País.

Tabla 27: Cantidad de cemento para el ensayo de compactación según Rocha

Clasificación de suelo según la AASHTO (M 145)	Cantidad de cemento en peso (%)
A1 - a	5
A1 - b	6
A1	7
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fuente: Rocha 2002

De otro lado, el manual de Ministerio de Transportes y Comunicaciones considera el uso de Cemento Pórtland en los suelos arcillosos de baja plasticidad con Límite Líquido menor a 40% ($LL < 40\%$) y un Índice de Plasticidad menor o igual a 18% ($IP \leq 18\%$). Además, la determinación del porcentaje de Cemento Pórtland está basados en el manual del MTC 2013, pág.118, como se evidencia en la Tabla 29.

Tabla 28: Cantidad de cemento para el ensayo de compactación MTC

Tipo de estabilizador recomendado	Suelos	Dosificación	Curado (Apertura al tránsito)
Cemento	A - 1	2 - 12%	7 días
	A - 2		
	A - 3		
	A - 4		
	A - 5		
	A - 6		
	A - 7		

Fuente: MTC 2013

4.2.2. Propiedades de los suelos estabilizados con cemento

Límite Líquido (LL)

Se determinó para observar la variación de la plasticidad, haciendo uso del equipo de la copa de Casagrande, (MTC.SGGP.2013-pág. 33).

Límite Plástico (LP)

Se determinó el límite de plasticidad en y su variación con la adición de cemento (MTC.SGGP.2013-pág. 33).

Índice Plástico (IP)

Es el resultado de la plasticidad del suelo estabilizado y su variación en el índice plástico, (MTC.SGGP.2013-pág. 33).

Determinándose mediante la expresión:

$$IP = LL - LP$$

En la Tabla 30 se muestra la variación de los límites de consistencia en función al contenido de la humedad.

Tabla 29: Resultado del ensayo del Límites de Consistencia con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%

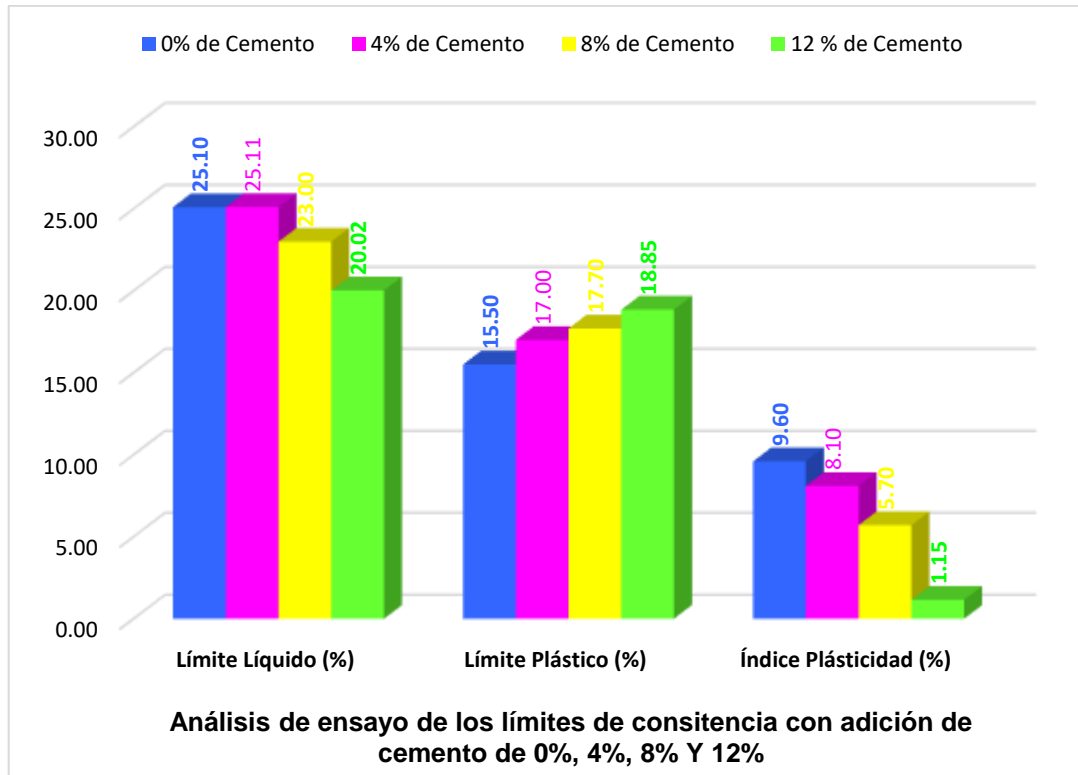
Porcentaje de Cemento (%)	Contenido de Humedad	Límites de Consistencia				
		LL (%)	LP (%)	IP (%)	Índice de consistencia	Índice de liquidez
0	21.60	25.10	15.50	9.60	0.36	0.64
4	11.76	25.11	17.00	8.10	1.65	-0.65
8	11.30	23.00	17.70	5.70	2.05	-1.12
12	10.90	20.02	18.85	1.15	7.93	-6.91

Fuente: Elaboración Propia 2021

Establecer las consideraciones técnicas mínimas, para el mejoramiento requerido de la resistencia de los suelos, se deberá controlar con ensayos

de granulometría, verificando que el límite líquido sea menor de 50% y el índice de plasticidad menor de 25% (Norma CE 0.20, pág. 10).

Figura 14: Análisis del resultado de ensayo del Límites de Consistencia con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%



Fuente: Elaboración propia 2021

En la Figura 14 se percibe que el suelo natural presenta un límite líquido de 25.10%, límite plástico 15.50% y un índice plástico de 9.60. Asimismo, al adicionar el 4% de cemento el límite líquido es 25.11%, límite plástico 17% y índice plástico 8.10%. además, al 8% de cemento el límite líquido es 23.00%, límite plástico 17.70% y índice plástico 5.70%. finalmente, con adición de 12% de cemento se obtiene un límite líquido de 20.02, límite plástico 18.85% y índice plástico 1.15%.

Por otro lado, en la **Figura 14** se observa que el porcentaje de índice de plasticidad y el Límite Líquido disminuye al agregar cemento y los valores

del Límite Plasticidad aumenta a mas porcentaje de cemento. (MTC 2013, pág. 118).

Propiedades Mecánicas de los suelos con adición de cemento

Compactación de suelos

Se determinó haciendo uso del método de proctor modificado, cuyo objetivo de nuestra investigación es la determinación de la densidad seca máxima vs el óptimo contenido de humedad, y su variación que muestra con la adición de cemento, (MTC.SGGP.2014-pág. 32).

Tabla 30:Resultado del ensayo de Proctor Modificado con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%

Porcentaje de Cemento (%)	Humedad natural (%)	Límites de Consistencia				DSM (gr/cm ³)	OCH (%)
		LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC		
0	21.60	25.10	15.50	9.60	0.36	1.890	13.5
4	21.60	25.11	17.00	8.10	1.65	1.920	11.9
8	21.60	23.00	17.70	5.70	2.05	1.955	11.3
12	21.60	20.02	18.85	1.15	7.93	2.200	10.9

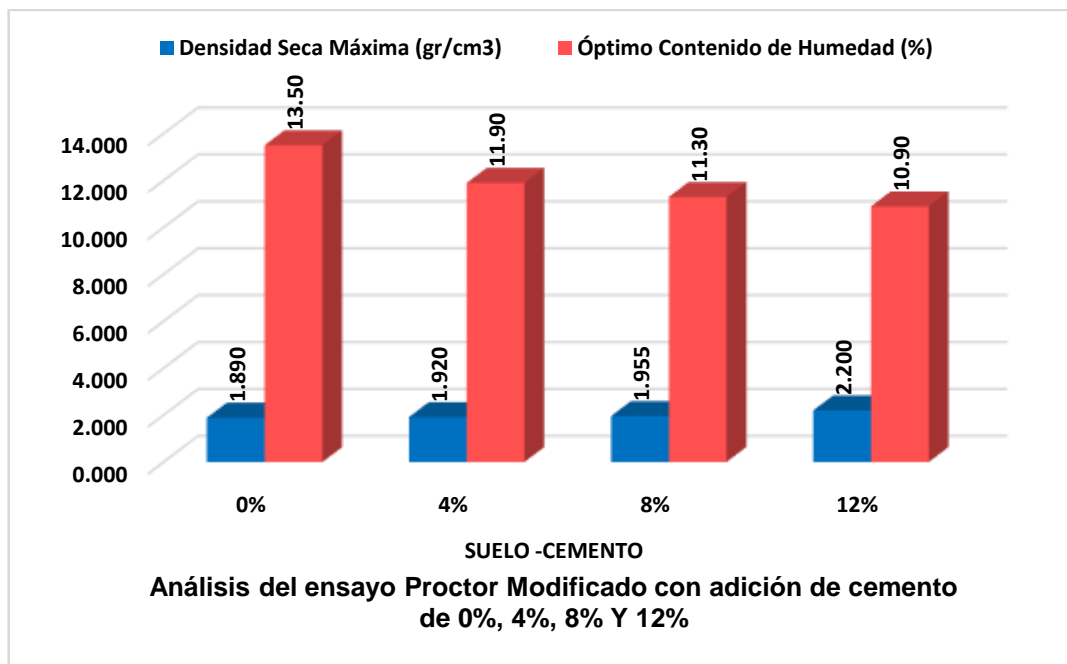
Fuente: Elaboración Propia 2021

Para conocer la variabilidad del porcentaje del contenido de humedad y la densidad seca máxima de compactación del suelo en las diferentes adiciones de cemento se desarrolló el ensayo de Proctor Modificado, cuyos resultados se muestra en la Tabla 31.

En la Figura 15, se percibe que la densidad del suelo seco al agregar al suelo el 0%, 4%, 8% y 12% los valores son: 1.890, 1.920, 1.955 y 2.200; lo que indica que a más proporción de cemento la Densidad Seca Máxima varía ascendentemente con respecto a la DSM del suelo en estado natural.

El OCH del suelo en estado natural es 13.50%, al adherir 4% de cemento es 11.90, al 8% es 11.30 y al 12% es 10.90%. lo que se concluye que el contenido de humedad optimo varia descendentemente referente a su estado natural.

Figura 15: Análisis del resultado de ensayo de Proctor Modificado con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%.



Fuente: Elaboración propia 2021

Relación soporte california

El CBR se determinó siguiendo los procedimientos normados y que nos orienta a la calidad del suelo, desde el punto de vista de la variación de la resistencia soporte y su variación con la adición de cemento, (MTC.SGGP.2014-pág. 32).

Los resultados de CBR realizado para suelo natural corresponde a la arcilla inorgánica de baja plasticidad "CL". Los resultados que corresponde a 4.20% (CBR al 95% de MDS) y 9% (CBR al 100% de MDS) se encuentra

en los valores de subrasante pobre ($3\% \leq \text{CBR} < 6\%$) y regular ($6\% \leq \text{CBR} < 10\%$) (MTC 2013, pág. 40).

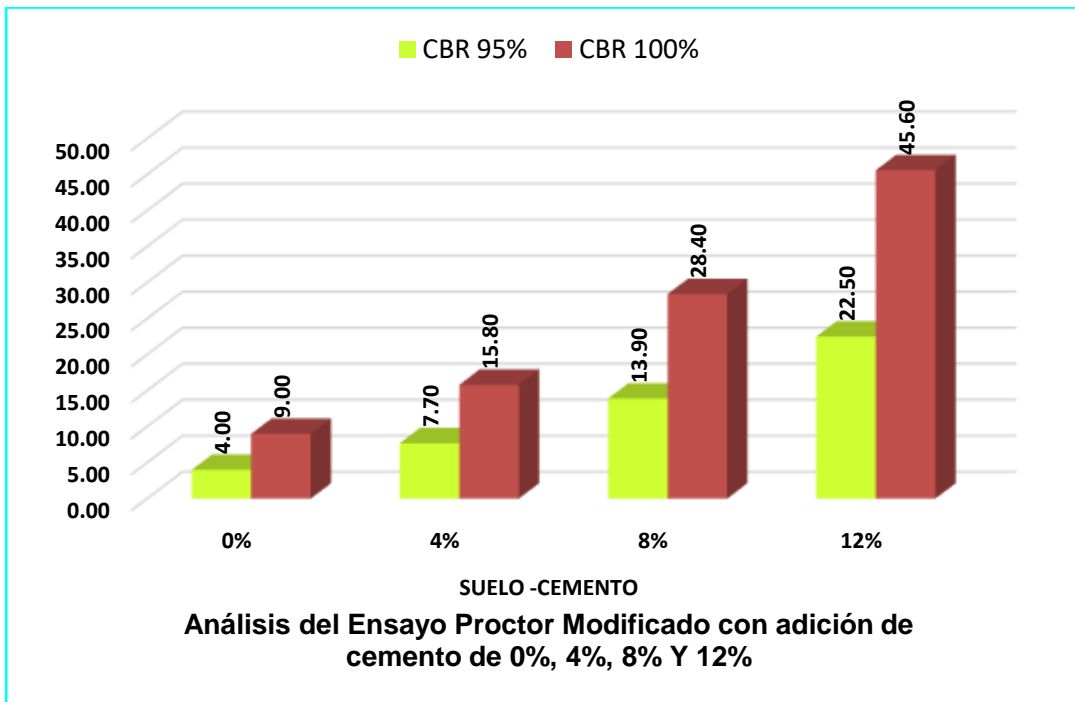
La interacción del cemento con el suelo arcilloso de baja plasticidad se percibe los resultados en la Tabla 32 y Figura 16.

Tabla 31: Resultado del ensayo CBR con adición de cemento 0%, 4%, 8% y 12%

Porcentaje de Cemento (%)	W (%)	Límites de Consistencia				DSM (gr/cm ³)	OCH (%)	CBR 95%	CBR 100%
		LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC				
0	21.60	25.10	15.50	9.60	0.36	1.890	13.5	4.0	9.0
4	11.76	25.11	17.00	8.10	1.65	1.920	11.9	7.7	15.8
8	11.30	23.00	17.70	5.70	2.05	1.955	11.3	13.9	28.4
12	10.90	20.02	18.85	1.15	7.93	2.200	10.9	22.5	45.6

Fuente: Elaboración Propia 2021

Figura 16: Análisis del ensayo CBR con adición de cemento de 0%, 4%, 8% Y 12%



Fuente: Elaboración propia 2021

La Figura 16, se muestra a más porcentaje de cemento los valores de CBR al 95% de compactación aumentan. Al agregar cemento el 0%, 4%, 8% y 12%, el CBR correspondiente es 4.0%, 7.70%, 13.90% y 22.50% respectivamente. Los valores de CBR al 100% a un 4% de cemento la subrasante es buena (15.80%). Mientras que al 8% de cemento es 28.40% y al 12% de cemento es 45.60%, estos valores nos permitirían tener subrasante muy buena y excelente (MTC 2013, pág. 40).

Finalmente se concluye que, al adherir cemento al suelo en mayores porcentajes, aumenta la capacidad portante debido al poder aglutinante que tiene el cemento portland.

4.3. Diseño de pavimento flexible

La ingeniería de pavimentos presenta diferentes métodos de diseño. En el desarrollo de la presente tesis, se diseñarán los pavimentos flexibles empleando el método de AASHTO 93.

4.3.1. Variables de diseño

Tránsito de diseño: El número de ejes equivalentes (ESAL) se halló de acuerdo a las indicaciones del MTC. En la presente investigación corresponde al valor de 60 161 de ejes equivalentes para el diseño del pavimento flexible.

Confiabilidad: El nivel de confiabilidad (R) es seleccionado en función de la clasificación funcional de la carretera y dependiendo si esta se encuentra en una zona rural. La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento tendrá una duración para el periodo de diseño sin presentar fallas estructurales. Un mayor valor de la confiabilidad asegurará un mejor comportamiento, pero se requerirá mayores espesores de capa. De acuerdo al MTC se tomó en cuenta para el diseño el valor de 65% de confiabilidad como lo indica en la Tabla 33 (MTC.SGGP.2014-pág. 163).

Tabla 32: Valores recomendados de confiabilidad (R)

Tipo de camino	Tipo de tráfico pesado	Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)	Para dos etapas de diseño de 10 años C/U
Camino de bajo de volumen de tránsito	TP0	65	81
	TP1	70	84
	TP2	75	87
	TP3	80	89
	TP4	80	89
Resto de caminos	TP5	85	92
	TP6	85	92
	TP7	85	92
	TP8	90	95
	TP9	90	95
	TP10	90	95
	TP11	90	95
	TP12	95	97
	TP13	95	97
	TP14	95	97
	TP15	95	97

Fuente: Elaboración Propia 2021

Tabla 33: Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Zr)

Tipo de camino	Tipo de tráfico pesado	Nivel de confiabilidad (10 o 20 años)	Desviación estándar normal
Camino de bajo de volumen de tránsito	TP0	65	-0.385
	TP1	70	-0.524
	TP2	75	-0.674
	TP3	80	-0.842
	TP4	80	-0.842
Resto de caminos	TP5	85	-1.036
	TP6	85	-1.036
	TP7	85	-1.036
	TP8	90	-1.282
	TP9	90	-1.282
	TP10	90	-1.282
	TP11	90	-1.282
	TP12	95	-1.645
	TP13	95	-1.645
	TP14	95	-1.645
	TP15	95	-1.645

Fuente: Elaboración Propia 2021

Se opta por elegir un nivel promedio de 65% para este proyecto. Se debe tomar en cuenta que una vez determinado el nivel de confiabilidad que se requiere alcanzar en el diseño, este valor debe ser transformado en términos de la desviación estándar normal (ZR). De acuerdo al manual de MTC 2013, para un nivel de confiabilidad de 65%, la desviación estándar normal es de -0.385; como lo indica en la tabla 34 (MTC.SGGP.2013-pág. 156-157).

Desviación estándar combinada; la desviación estándar combinada (S_o), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. De acuerdo a la guía de la AASHTO38 recomienda usar valores comprendidos entre 0.44 y 0.50; el MTC recomienda para los diseños de pavimento flexible el valor de 0.45 (MTC.SGGP.2013-pág. 157-158).

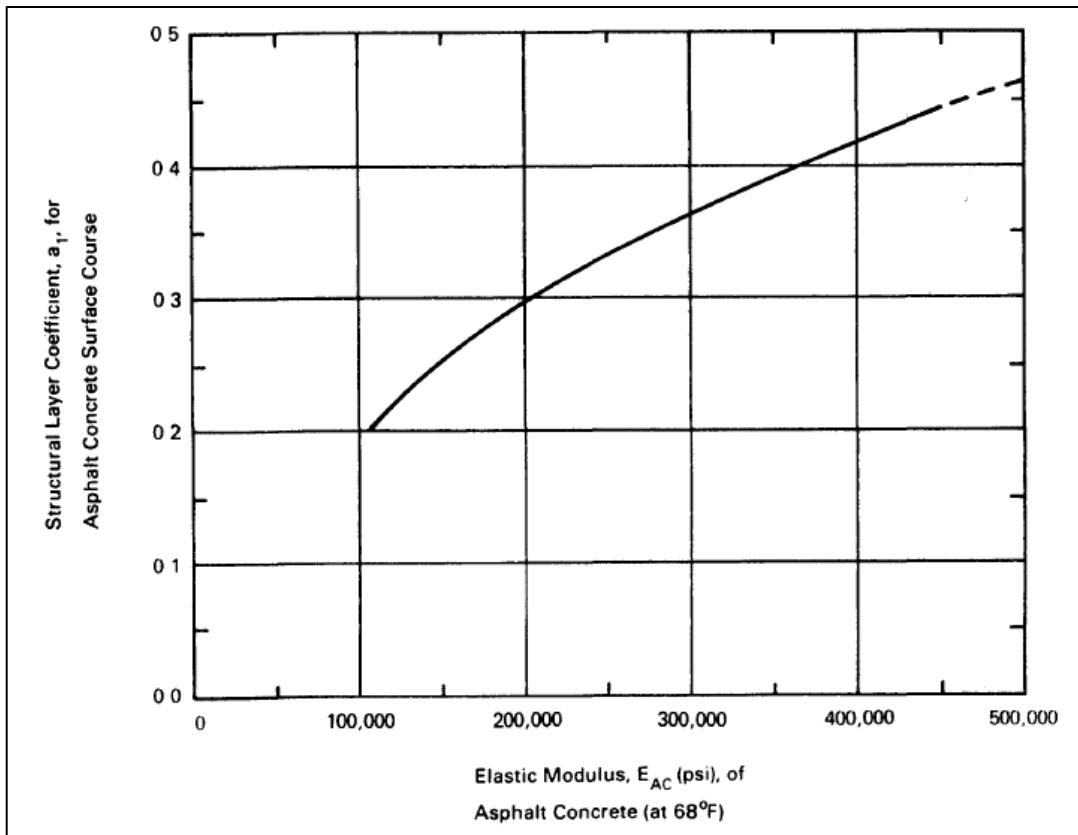
Módulo de resiliencia de la subrasante; el módulo de elasticidad de los materiales no consolidados del pavimento comúnmente se caracteriza en términos del módulo de resiliencia. El módulo resiliente es el módulo elástico de los materiales a ser empleados en la construcción del pavimento. Se conoce que los materiales empleados en la construcción de pavimentos no son elásticos porque presentan una deformación plástica acumulada; sin embargo, después de varios ciclos de repeticiones de cargas, el suelo llega a un estado tal en que toda la deformación es recuperable y es en este momento donde se tiene un comportamiento resiliente.

El módulo resiliente de la subrasante se determinó a partir del CBR crítico de la subrasante de 7.7% a una compactación del 95% de la densidad máxima del ensayo Proctor Estándar y haciendo uso de la siguiente fórmula dada por el AASHTO 2015: $M_r \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{64}$. De acuerdo a ello se obtuvo un valor del módulo de resiliencia de la subrasante de 9,435.07 psi, lo cual equivalente a aproximadamente 9.44 ksi (MTC.SGGP.2013-pág. 46-47).

Coefficientes estructurales de capa; el coeficiente estructural de capa es una medida de la capacidad relativa de una unidad de espesor de un determinado material para funcionar como un componente estructural del pavimento flexible se usarán tres coeficientes de capa estructural (a_1 , a_2 y a_3) los cuales representarán a la carpeta asfáltica, a la base y a la subbase respectivamente. Estos coeficientes pueden ser determinados a partir de correlaciones con las propiedades del material.

Para la capa de mezcla asfáltica, considerando un módulo resiliente de 9,435.07 psi como máximo por recomendación de la AASHTO, el coeficiente estructural a_1 sería aproximadamente de un valor de 0.34 según la figura 17.

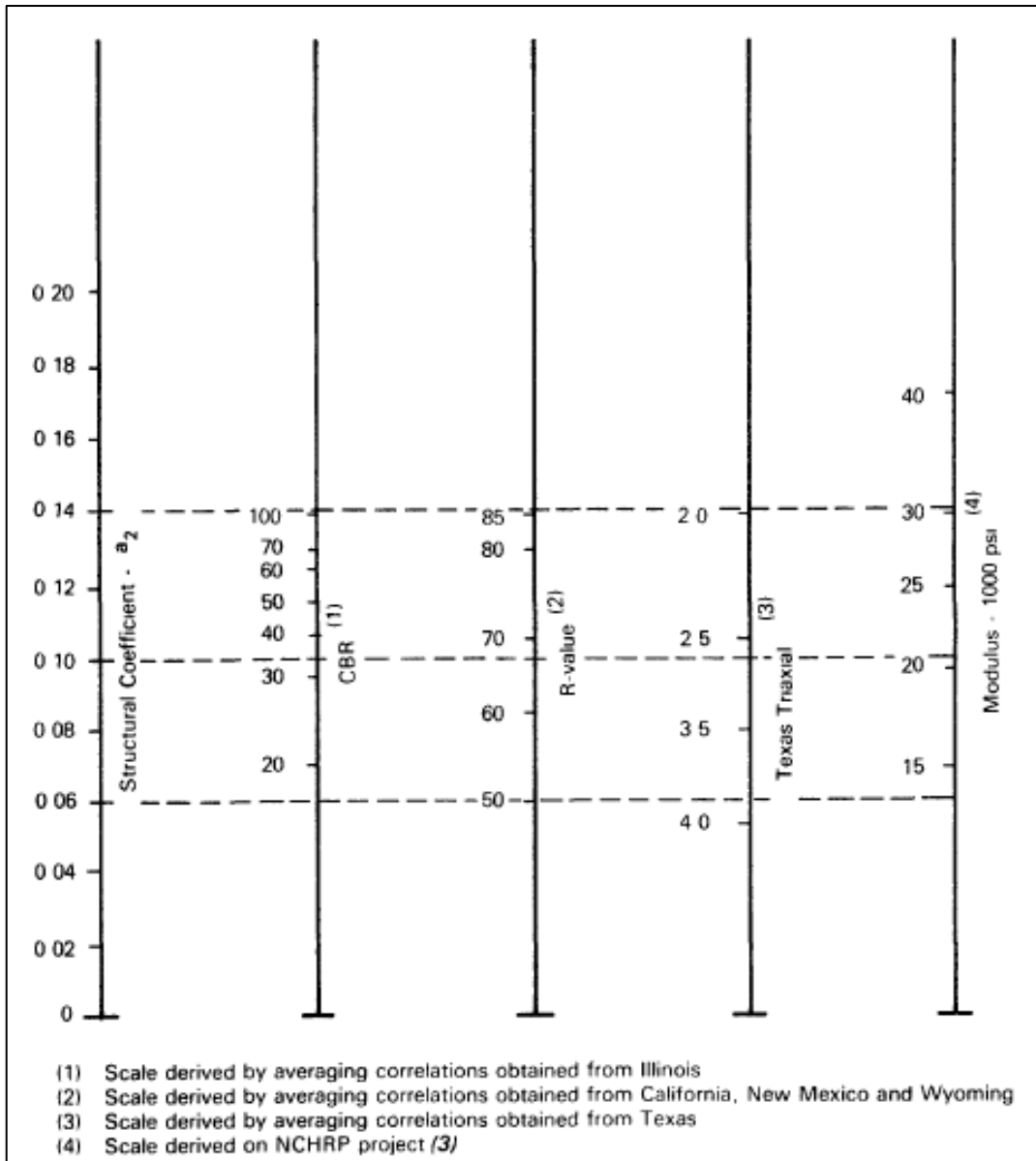
Figura 17: Coeficiente estructural a_1 en función del módulo elástico del concreto asfáltico.



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

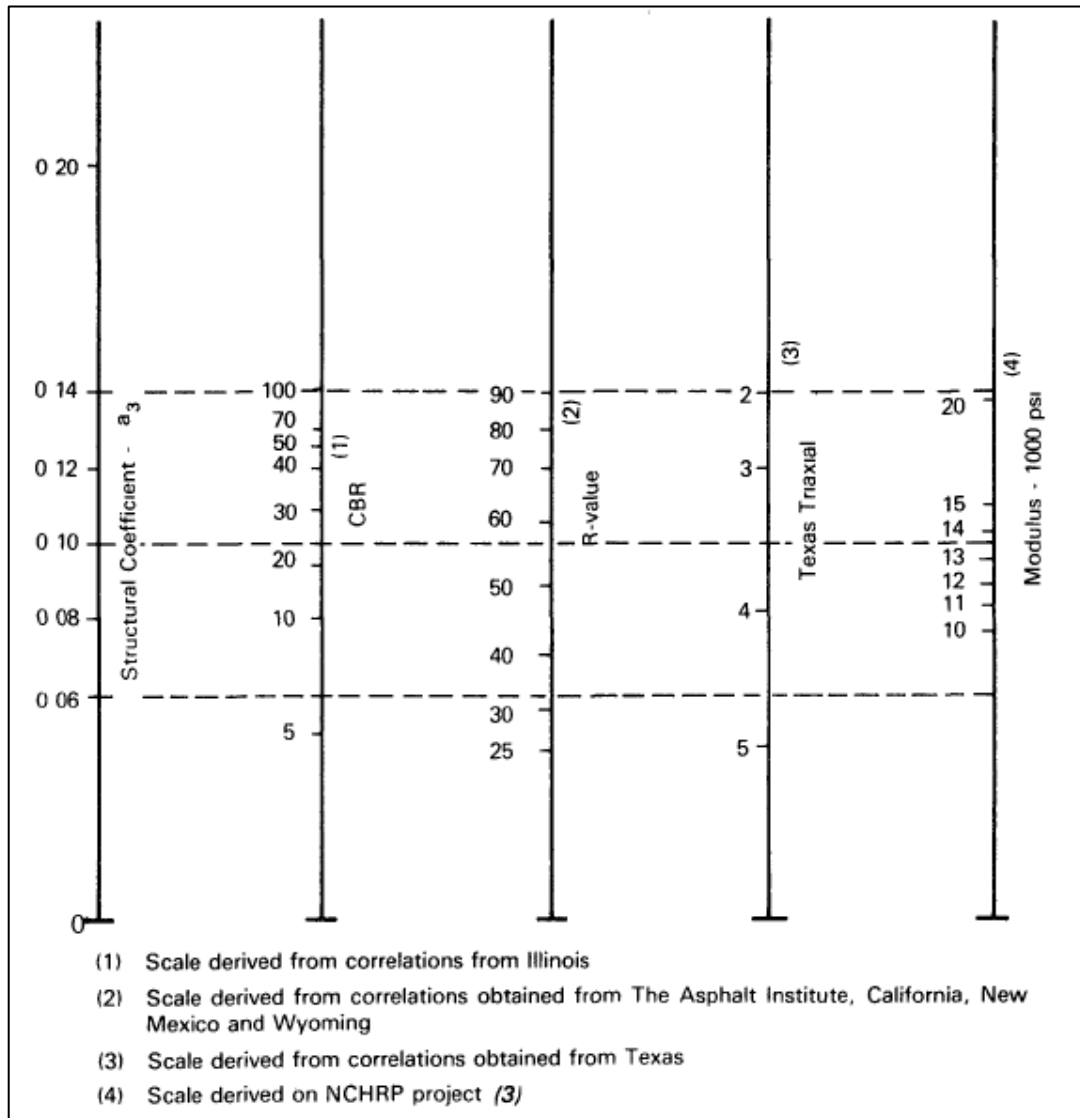
Haciendo uso de las figuras 2.6, de la página II-19; y 2.7, de la página II-21 de la guía, que se muestran a continuación, se obtienen los coeficientes estructurales a_2 y a_3 respectivamente los cuales tienen un valor de 0.14 y 0.12. Se debe resaltar que para hallar el coeficiente estructural a_2 se ha utilizado el valor de 100% CBR y para hallar el valor de a_3 se ha realizado una interpolación en la gráfica respectiva.

Figura 18: Coeficiente estructural a_2 en función de diferentes parámetros de fuerza de la base



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Figura 19: Coeficiente estructural a_3 en función de diferentes parámetros de fuerza de la subbase



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Pérdida de serviciabilidad; la serviciabilidad representa el confort o comodidad de circulación que la vía ofrece al usuario; su valor se encuentra comprendido entre 0 y 5, donde 5 representa la condición máxima ideal. La pérdida de serviciabilidad se encuentra definida como la diferencia entre la serviciabilidad inicial (p_o) y la serviciabilidad final (p_t). De acuerdo a la guía MTC, recomienda el uso de una serviciabilidad inicial de 3.8 y la serviciabilidad final 2.0 para pavimentos flexibles. De esta manera la pérdida de serviciabilidad tiene el valor de 1.8 (MTC.SGGP.2013-pág. 157-159).

Coefficientes de drenaje; es la relación existente entre el módulo resiliente en una condición de humedad óptima con respecto al módulo resiliente para una cierta condición de humedad. El valor de 1.0 representa que las condiciones de drenaje son similares a los ensayos del AASHTO Road Test, mientras que valores por encima de 1.0 representan condiciones mejores que las usadas en estos ensayos.

Tabla 34: Calidad de drenaje

Calidad de drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Guía de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 1993

Tabla 35: Valores recomendados del coeficiente de drenaje

Calidad de drenaje	P=% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Guía de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 1993

Para el cálculo de los coeficientes de drenaje es necesario conocer dos parámetros: la calidad del drenaje del material y el porcentaje de tiempo que la estructura de pavimento estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación. El diseño de la carretera se realizará considerando material de subbase y base de buena calidad de drenaje (el agua es drenada por el pavimento a más tardar en 1 semana) y como se evidencia en la Tabla 35 corresponde a calidad de drenaje mediano. El porcentaje de tiempo que

el pavimento estará expuesto a niveles de humedad próximas a la saturación será mayor al 25%. De acuerdo a los registros de SENAMI Tarapoto, el promedio de precipitación mensual 112.3 mm que representa el 30.77% de lluvia durante el año; quiere decir que los valores recomendados del coeficiente de drenaje se considerará el valor de 0.80 para m1 y m2.

Para diseñar el pavimento flexible de la carretera del Sector Polvoraico se tomaron en cuenta las siguientes características:

- Tipo de tráfico : TP0
- EE de 8.2TN : 60,161
- Terreno de fundación tiene un CBR : 7.7%
- Temperatura media anual promedio : 32.10 °C
- Días promedio de lluvia : 112.30 Días
- Vm de circulación de vehículos pesados: 30 km/h
- Calidad de drenaje : 0.80 Regular
- Confiabilidad (R) : 65
- Desviación normal estándar (Zr) : - 0.385
- Desviación estándar combinada (So) : 0.45
- Índice de servicio : 1.80
- Módulo resiliente : 9,435.07 psi

4.3.2. Diseño de espesores

Con el objetivo de hallar los espesores de las capas del pavimento flexible, la guía de la AASHTO desarrolló la siguiente ecuación para el cálculo del número estructural (SN):

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{PSI}{1094}\right)}{0.4 + \frac{4.2 - 1.5}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde: W_{18} es el número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (ESAL), Z_R es la desviación estándar normal, S_0 es la desviación

estándar combinada de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento, ΔPSI es la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (p_o) y la serviciabilidad final (p_t), M_R es el módulo de resiliencia y SN es el número estructural.

Una vez obtenido este valor es necesario calcular el espesor de cada una de las capas, para lo cual se debe tomar en cuenta que el número estructural de un pavimento se encuentra definido en relación al espesor de sus capas (D_i), sus coeficientes estructurales (a_i) y sus coeficientes de drenaje (m_i), bajo la siguiente fórmula: $SN = a_1 D_1 \times a_2 m_2 D_2 \times a_3 m_3 D_3$

Otro punto a tomar en cuenta son los espesores mínimos recomendados los cuales son mostrados en la siguiente tabla adquirida de la página II-35 de la guía de la AASHTO 93.

Tabla 36: Espesores mínimos (pulgadas) de carpeta asfáltica y base

Trafico, ESAL	Concreto asfáltico	Base de agregados
Menos de 50,000	1.0	4
50,001 – 150,000	2.0	4
150001 – 500,000	2.5	4
500001 – 2,000,000	3.0	6
2,000,001 – 7,000,000	3.5	6
Mayor que 7,000,000	4.0	6

Fuente - American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Debido a que el ESAL calculado anteriormente fue de $0.060,161 \times 10^6$, el espesor mínimo correspondiente a la carpeta asfáltica sería de 4 pulgadas mientras que el correspondiente a la capa de base granular sería de 4 pulgadas.

Previo al cálculo de los espesores de capa se debe hallar el número estructural asociado al módulo resiliente de la base, subbase y subrasante. De acuerdo a la guía de la AASHTO para hallar el módulo resiliente de la

base y la subbase se puede hacer uso de las mismas gráficas que sirvieron para hallar los coeficientes estructurales a_2 y a_3 (figura 18 y 19) o también hacer uso de las siguientes relaciones que se derivan de dichas gráficas:

Para el cálculo del módulo resiliente de la base:

$$a_2 = 0.249 \log (Mr \text{ base}) - 0.977$$

Como a_2 fue hallado anteriormente y tiene un valor de 0.14, el valor del módulo resiliente de la base sería de 30,616 psi o 30.6 ksi.

Para el cálculo del módulo resiliente de la subbase:

$$a_3 = 0.227 \log(Mr \text{ subbase}) - 0.839$$

Como a_3 fue hallado anteriormente y tiene un valor de 0.12, el valor del módulo resiliente de la subbase sería de 16,775 psi o 16.8 ksi.

Además, conocidos los valores de confiabilidad ($R = 65\%$), desviación estándar combinada ($S_o = 0.45$), número de ejes equivalentes ($ESAL = 0.060161 \times 10^6$) y pérdida de serviciabilidad ($\Delta PSI = 1.8$), se tiene la siguiente tabla resumen:

9,435.07

Tabla 37: Número estructural (SNi) asociado al módulo de resiliencia (Mr) de la base, subbase y subrasante

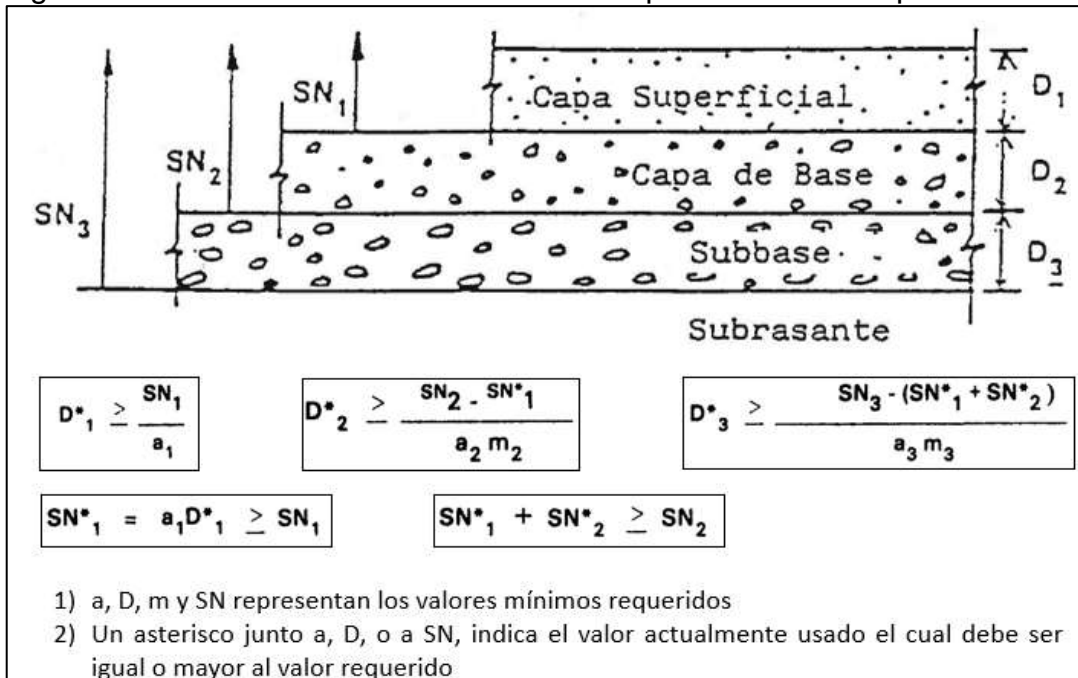
Capa	Mr en psi	Mr en ksi	Número estructural (SNi)
Carpeta asfáltica	30,616	30.6	0.7 (SN1)
Base	16,775	16.8	1.4 (SN2)
Subbase	9,435	9.4	2.4 (SN3)

Fuente: Elaboración Propia 2021

Finalmente, para el cálculo de los espesores, se utilizará el procedimiento de la figura 3.2 de la página II-36 de la guía de la AASHTO que se muestra

a continuación:

Figura 20: Procedimiento de diseño de los espesores de las capas



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

De acuerdo a los datos hallados de SN_i , a_i y m_i , de acuerdo a la guía de la AASHTO se presenta los espesores de las capas en pulgadas como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 38: Resultado de los espesores de las capas en pulgadas

Capa	Número estructural (SN_i)	Coefficientes estructurales (a_i)	Coefficientes de drenaje (m_i)	Espesor de capa (D_i) en pulg.
Carpeta asfáltica	0.7 (SN_1)	0.34 (a_1)		2 (D_1)
Base	1.4 (SN_2)	0.14 (a_2)	0.8 (m_2)	6 (D_2)
Subbase	2.4 (SN_3)	0.12 (a_3)	0.8 (m_3)	11 (D_3)

Fuente: Elaboración Propia 2021

El cálculo del espesor D_1 de la carpeta asfáltica, se considera el módulo de resiliencia (Mr) de la capa base y así se obtiene el número estructural SN_1

que se requiere para proteger a la base usamos el valor de 2 pulgadas o 5 cm, lo cual es mayor al espesor mínimo recomendado por la AASHTO de 1 pulgadas. Con respecto al espesor D_2 de la capa base, se considera el módulo de resiliencia (M_r) de la subbase para obtener el número estructural SN_2 que se requiere para proteger a la subbase y se determina el valor de $D_2 = 15$ cm o 6 pulgadas, el cual es mayor al espesor mínimo recomendado por la AASHTO de 4 pulgadas. Finalmente, para el cálculo del espesor D_3 de la capa subbase, se considera el módulo de resiliencia (M_r) de la subrasante para obtener el número estructural SN_3 que se requiere para proteger a la subrasante y el valor calculado para $D_3 = 30$ cm o 11 pulgadas.

Sin embargo, no existe una única solución para determinar los espesores de capas ya que estos pueden variar y aun así cumplir con los requisitos de espesores mínimos y de número estructural mínimo.

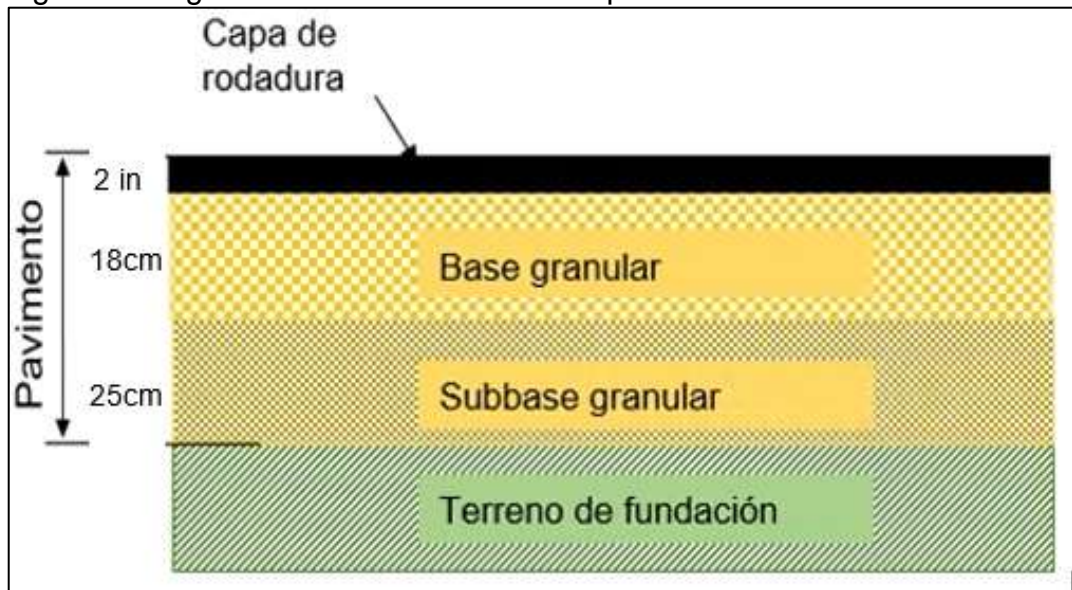
Tabla 39: Alternativas de espesores según la guía AASHTO

Alternativa	Espesores de capas		
	D_1 (pulgadas)	D_2 (cm)	D_3 (cm)
Alternativa 1	1.0	25	25
Alternativa 2	1.5	15	32
Alternativa 3	2.0	18	25
Alternativa 4	2.5	15	23
Alternativa 5	3.0	10	25

Fuente: Elaboración Propia 2021

En la Tabla 40 muestra las alternativas de espesores de la carpeta asfáltica que comprenderán entre 1 a 3 pulgadas. La base granular sus espesores oscilan entre 10cm a 25cm, el CBR a utilizar es 48.45% con una compactación al 100% de la MDS del Ensayo Proctor Modificado. Asimismo, la subbase granular su espesor comprende de 23cm a 32cm con CBR de 18.92% con una compactación al 100% de la MDS del Ensayo Proctor Modificado. El espesor de la subrasante es 30cm con un CBR de 7.7% con una compactación al 95% de la MDS del Ensayo Proctor Estándar

Figura 21: Figura: Sección transversal del pavimento flexible – AASHTO



Fuente: Elaboración Propia 2021

CAPITULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión

- Según la Tabla 30 se puede afirmar que la variación del índice de plasticidad el cual inicia con un 9.60 % teniendo 0% de cemento y disminuye hasta 1.15% con un 12% de cemento es una razón válida para decir que el suelo ante la presencia de cemento pasa de un estado plástico a un estado sólido con mayor rapidez aún sin haber dejado fraguar la mezcla. De esta manera el cemento cumple la función de ser un agente que controla el índice de plasticidad del suelo del estudio, provocando un aumento en el límite plástico y por consiguiente una disminución del límite líquido.
- Los resultados obtenidos de densidad seca en promedio de las muestras, son similares a las densidades obtenidas por Alata, J. y Vásquez, R. (2019); mientras son superiores a los resultados de Vásquez, C. (2018) y Cedeño, P. (2013). En consideración a esta comparación de resultados las muestras analizadas por los autores presentan un mayor grado de compactación.
- Con respecto al Óptimo Contenido de Humedad, los resultados obtenidos de las muestras, es menor a las obtenidas por Alata, J. y Vásquez, R. (2019), Vásquez, C. (2018)) y Cedeño, P. (2013).
- Los resultados al 95% de CBR en comparación con las otras investigaciones presenta grandes diferencias significativas; al adicionar 0% y 12% de cemento, se tiene como resultado 4.00 y 22.50 respectivamente deduciendo así que el cemento mejora en demasía la resistencia del suelo, y esto influye en el diseño de pavimento flexible que será de menor costo con el suelo

mejorado. Por otro lado, los datos de las muestras de Vasquez, C. (2018), presenta como valor máximo 13.75% para un suelo-cemento al 5% y un mínimo de 1.30% para el suelo en estado natural.

5.2. Conclusiones

- La estabilización con cemento influye considerablemente en la resistencia de la capacidad portante del suelo, el CBR del suelo sin estabilizar es de 2.45, la resistencia del suelo estabilizado al 4%, 8% y 12% es de 7.70, 13.90 y 22.50 respectivamente.
- Se obtiene la mayor resistencia a la compresión a los 28 días de curado con un contenido de 12% de cemento alcanzando una resistencia última de 18.75 Mpa, esto indica una relación directamente proporcional entre el porcentaje de cemento y el esfuerzo máximo soportado por el suelo.
- El cemento funciona muy bien como agente estabilizador de suelos, en este caso se comprobó que los porcentajes superiores al 4 % de cemento en la mezcla mejoran considerablemente la resistencia ante cargas monotónicas. el presente trabajo de grado pretendió evaluar contenidos de 4%, 8% y 12% con el propósito de obtener envoltentes que permitan diagnosticar una tendencia de comportamiento de largo alcance en dichos materiales
- Cuando se emplea el método de estabilización de suelos con la adición de cemento es de suma importancia garantizar el contenido óptimo de agua y el tiempo de curado mínimo para lograr obtener la resistencia máxima requerida por el diseño, ya que como se observó en los resultados la resistencia máxima de las mezclas con 4% de cemento presentaba una disminución cuando eran menores los tiempos de curado.

5.3. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar un método que disminuya la permeabilidad en los suelos arcillosos antes de emplear una mezcla de cemento, debido a que el cemento aumenta la resistencia ante las cargas, pero no garantiza que el agua no ingresará en la mezcla.
- Ya que en este proyecto solo se estudia la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta, lo cual representa cargas permanentes, se recomienda realizar este análisis con cargas cíclicas, es decir con ensayos de módulo resiliente.
- Ya que el curado de las muestras es muy importante al momento de estimar la resistencia máxima de los especímenes se recomienda utilizar membranas o algún otro dispositivo que permita mantener la humedad dentro de la muestra.


REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Botía Díaz Wilmar Andrés, 2015, Manual de Procedimientos de Ensayos de Suelos y Memoria de Cálculo, Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada Facultad Ingeniería Programa Ingeniería Civil Bogotá, págs. 17-164.
2. Braja M. Das, 2012, Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, séptima edición Cengage Learning Editores, S.A. de C.V, págs. 01-776.
3. CAPECO (2009), Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Decreto Supremo N° 063-70-VI
4. Crespo Villalaz Carlos, 2004, Mecánica de suelos y cimentaciones. Quinta edición, Editorial LIMUSA, S.A de CV, México DF, págs. 13-185
5. Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2005, Mecánica de suelos tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos. Quinta edición. Editorial LIMUSA, S.A de CV. México DF, págs. 33-388.
6. Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2005, Mecánica de suelos tomo II: Fundamentos de la mecánica de suelos. Quinta edición. Editorial LIMUSA, S.A de CV. México DF, págs. 33-388.
7. Lambe William. Mecánica de Suelos. Flujo d agua en suelos. Tomo III. Ediciones Limusa- cuarta edición
8. Ministerio de vivienda y construcción y saneamiento-CAPECO. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Edición actualizada.
9. Montejo Fonseca, A. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. 2 ed. Bogotá, Colombia, Universidad Católica de Colombia. 733 p.
10. Terzaghi K. y Peck R, 2015, Mecánica de Suelos en la ingeniería práctica (trad. O. Moretto)-Ateneo Edición, págs.
11. David Reid y Peter L. Berry: Mecánica de Suelos. Derpartament of Civil Engineering. University of Salford. <http://es.slideshare.net/antuanets/mecanica-de-suelos-peter-l-berry?related=11>, 03. Ago. 2016.

12. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), Manual de suelos y pavimentos, Resolución Directoral N° 05-2013- MTC-Lima – Perú pag. 117.
13. USACE (US Army Corps of Engineers, Estados Unidos de América).1984. Soil Stabilization for Pavements: Mobilization Construction (en línea). Engineer Manual EM 110 – 3 – 137. Washington, Estados Unidos de América. Consultado 15 ago. 2017. Disponible en http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-3-137.pdf?ver=2013-09-04-070839-903
14. Yoermes Glez Haran Bourl y Rolando Armas Novoa, (2008), en la 14 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, sobre Identificación y Estabilización de Suelos Dispersivos presentada en la Habana, Cuba, disponible en https://www.researchgate.net/publication/260737241_Identificacion_y_Estabilizacion_de_Suelos_Dispersivos_Estado_del_Arte

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

		C. (51) 956 217 363 – 939 175 863 @. jhcdcontratistas@gmail.com D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo				
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO						
ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE ANÁLISIS DE LA SUBRASANTE						
PROYECTO	"Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "					
MATERIAL	: Terreno de Fundacion	PROGRESIVA	:			
UBICACIÓN	: Morales	N° CALICATA	: C-5			
REFERENCIA	: Polvoraico	PROFUNDIDAD	: 0.00 - 1.50 m			
FECHA EXCAVACION	: 14/11/2020	N° ESTRATOS	: 1			
METODO EXCAVACION	: A cielo abierto	RESPONSABLES	: Epifanio Guerra Sanchez Perseo Ramirez Pinche			
COORDENADA NORTE	: 9278131					
COORDENADA ESTE	: 339525					
		NIVEL FREATICO (m.)	CALICATA N°			
			C-5			
PROF. (m)	MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	A-6 CL	Arcilla de baja plasticidad con arena color marrón oscuro	[Hatched Pattern]	[Hatched Pattern]	
0.20						
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.50						
OBSERVACIONES						
TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo						
						



C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
 @. jhcdcontratistas@gmail.com
 D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D 422

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N° 01

MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-1

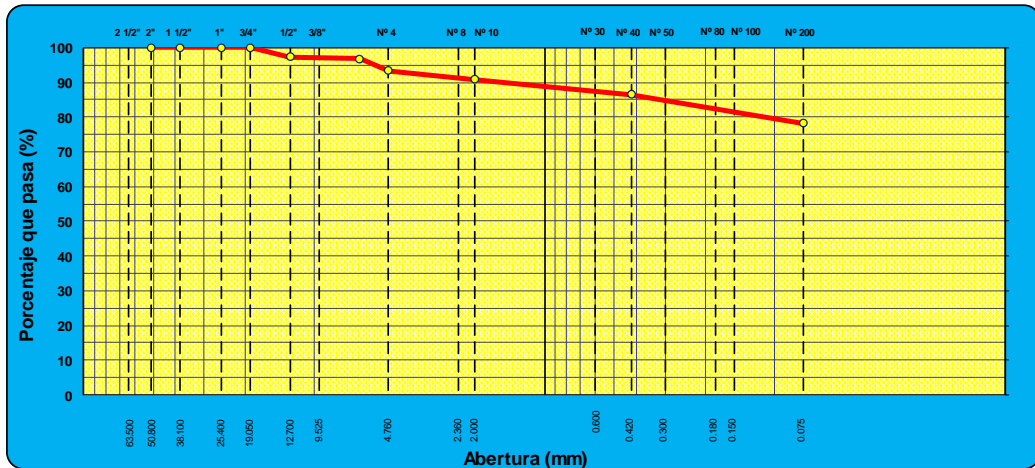
SECTOR : Polvoraico **PROFUNDIDAD** : 0.00m-1.50m

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 9278131 - 339525

Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET. %	RET. PARC %	RET. AC. %	% Q' PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
3"	76.200						PESO TOTAL	=	600.0	gr			
2 1/2"	63.500						PESO LAVADO	=	167.4	gr			
2"	50.800						PESO FINO	=	600.0	gr			
1 1/2"	38.100						LÍMITE LÍQUIDO	=	20.02	%			
1"	25.400						LÍMITE PLÁSTICO	=	15.43	%			
3/4"	19.050				100.0		ÍNDICE PLÁSTICO	=	4.59	%			
1/2"	12.700	16.4	2.7	2.7	97.3		CLASF. AASHTO	=	A-6	(10)			
3/8"	9.525	3.2	0.5	3.3	96.7		CLASF. SUCCS	=	CL				
1/4"	6.350		0.0	3.3	96.7		Ensayo Malla #200	P.S. Seco	P.S. Lavado	% 200			
# 4	4.760	20.0	3.3	6.6	93.4			600.0	167.4	72.1			
# 8	2.360						% Grava	=	6.6	%			
# 10	2.000	16.5	2.5688	9.2	90.8		% Arena	=	15.1	%			
# 30	0.600						% Fino	=	78.3	%			
# 40	0.420	28.0	4.3591	13.5	86.5		% HUMEDAD	P.S.H.	P.S.S	% Humeda			
# 50	0.300												
# 80	0.180						OBSERVACIONES:						
# 100	0.150	28.0	4.3591										
# 200	0.075	24.7	3.8	21.7	78.3								
< # 200	FONDO	463.2	72.1	93.8	6.2								
FRACCIÓN		560.4					Coef. Uniformidad	-		Índice de Consistencia			
TOTAL		600.0					Coef. Curvatura	-		1.2			
Descripción suelo:	Arcilla de baja plasticidad con arena						Pot. de Expansión	Bajo			Estable		

CURVA GRANULOMÉTRICA





C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
@.jhcdcontratistas@gmail.com
D. Jr. Miraflores N° 488 – La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL
ASTM C 566**

PROYECTO : Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia
LOCALIDAD : Morales
MATERIAL : Terreno de Fundación
SECTOR : Polvoraico
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 01
MUESTRA : M-1
PROFUNDIDAD : 0.00m-1.50m
COORDENADAS : 9278131 - 339525
FECHA : 16/11/2020

DATOS DE LA MUESTRA

NUMERO TARA	11	18		
PESO DE LA TARA (grs)	150.1	150		
PESO DEL SUELO HUMEDO + PESO DE LA TARA (grs)	1500	1430		
PESO DEL SUELO SECO + PESO DE LA TARA (grs)	1330	1275		
PESO DEL AGUA (grs)	170.00	155.00		
PESO DEL SUELO SECO (grs)	1179.90	1125.00		
% DE HUMEDAD	14.41	13.78		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	14.1			

OBSERVACIONES:
.....
.....
.....
.....
.....

--	--

ENSAYOS DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO
ASTM D 4318

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 01

MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.00m-1.50m

COORDENADAS : 9278131 - 339525

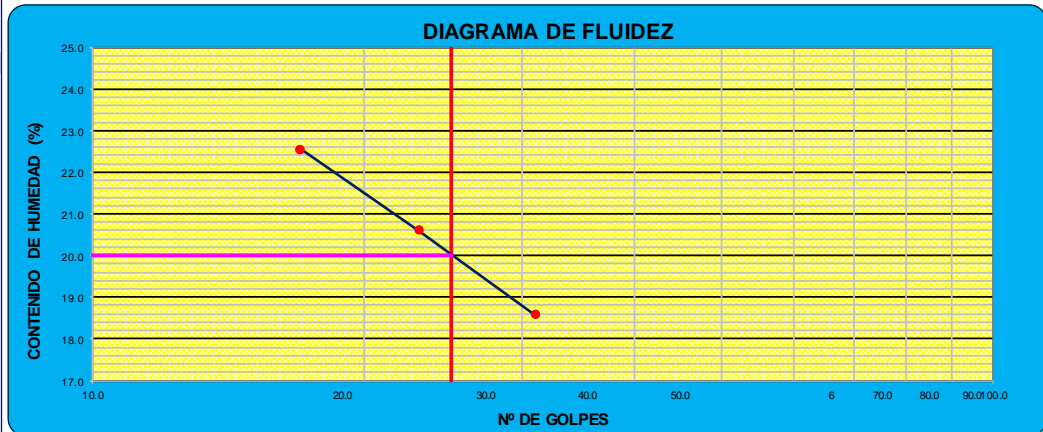
FECHA : 16/11/2020

LÍMITE LÍQUIDO

Nº TARRO	13	15	19	
TARRO + SUELO HÚMEDO	29.90	31.70	33.40	
TARRO + SUELO SECO	27.80	29.00	30.40	
AGUA	2.10	2.70	3.00	
PESO DEL TARRO	16.50	15.90	17.10	
PESO DEL SUELO SECO	11.30	13.10	13.30	
% DE HUMEDAD	18.58	20.61	22.56	
Nº DE GOLPES	31	23	17	

LÍMITE PLÁSTICO

Nº TARRO	2	18		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.00	17.80		
TARRO + SUELO SECO	23.00	16.58		
AGUA	1.00	1.22		
PESO DEL TARRO	16.60	8.57		
PESO DEL SUELO SECO	6.40	8.01		
% DE HUMEDAD	15.63	15.23		



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	20.02
LÍMITE PLÁSTICO	15.43
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	4.59

OBSERVACIONES

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche

CALICATA : N° 01

MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD: 0.00m-1.50m

COORDENADAS: 9278131 - 339525

FECHA : 16/11/2020

COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN : "A"

NUMERO DE GOLPES POR CAPA : 25

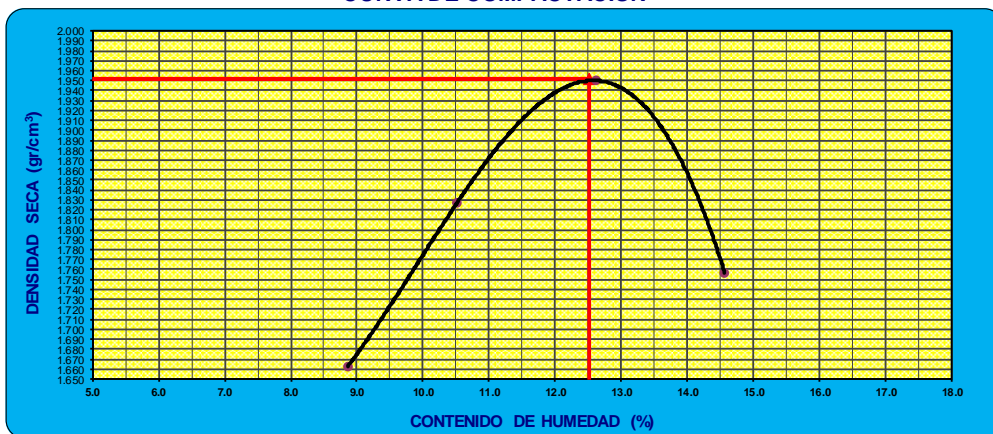
NUMERO DE CAPAS : 5

NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5395	5595	5765	5590
PESO DE MOLDE (gr)	3655	3655	3655	3655
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	1740	1940	2110	1935
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	961	961	961	961
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.811	2.019	2.196	2.014
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.663	1.827	1.950	1.757

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°	s/n	s/n	s/n	s/n
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	110.50	113.50	108.00	125.80
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	101.50	102.70	95.90	109.80
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)	9.00	10.80	12.10	16.00
PESO DE SUELO SECO (gr)	101.50	102.70	95.90	109.80
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.87	10.52	12.62	14.57
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.952	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		12.52

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTCE 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraco, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraco

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 01

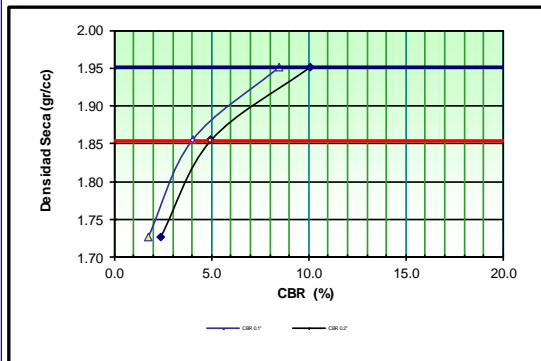
MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.00m-1.50m

COORDENADAS : 9278131 - 339525

FECHA : 16/11/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



C.B.R. AL 100% DEM.D.S. (%)	0.1":	8.5	0.2":	10.1
C.B.R. AL 95% DEM.D.S. (%)	0.1":	4.0	0.2":	5.0

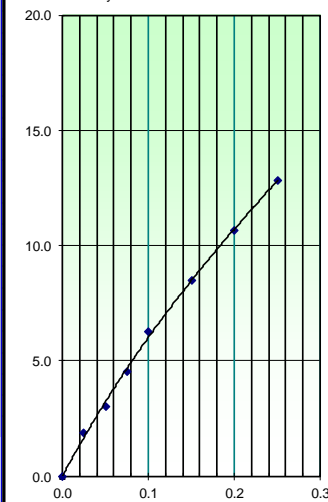
Datos del Proctor

Densidad Seca	1.952	gr/cc
Óptima Humedad	12.52	%

OBSERVACIONES:

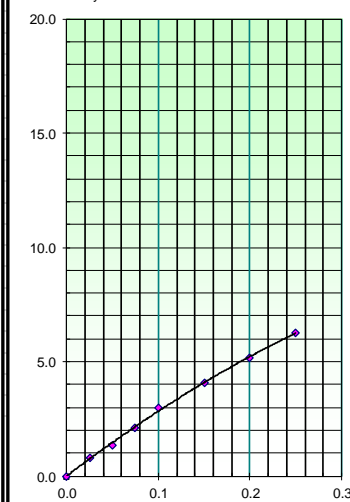
EC = 56 GOLPES

$$y = 132.16x^3 - 105.22x^2 + 69.3x$$



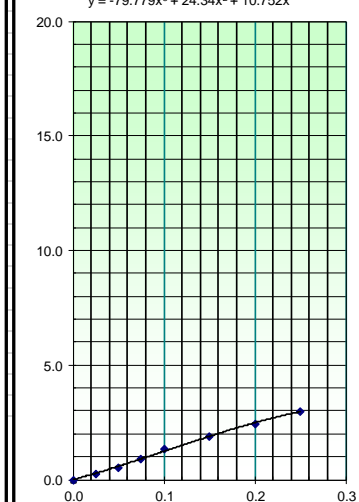
EC = 25 GOLPES

$$y = -9.1331x^3 - 18.845x^2 + 30.268x$$



EC = 12 GOLPES

$$y = -79.779x^3 + 24.34x^2 + 10.752x$$



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE ANÁLISIS DE LA SUBRASANTE

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

MATERIAL : Terreno de Fundacion
UBICACIÓN : Morales
REFERENCIA : Polvoraico
FECHA EXCAVACION : 14/11/2020
METODO EXCAVACION : A cielo abierto
COORDENADA NORTE : 9278776
COORDENADA ESTE : 341344

PROGRESIVA : 00+100
N° CALICATA : C-2
PROFUNDIDAD : 0.00 - 1.50 m
N° ESTRATOS : 1
RESPONSABLES : Epifanio Guerra Sanchez
 Perseo Ramirez Pinche

PROF. (m)	MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00			Material Afirmado			
0.20	M-1	A-6 CL	Arcilla de baja plasticidad			
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.50						

OBSERVACIONES

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en sacco MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D 422

PROYECTO : Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraco, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraco

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 02

MUESTRA : M-1

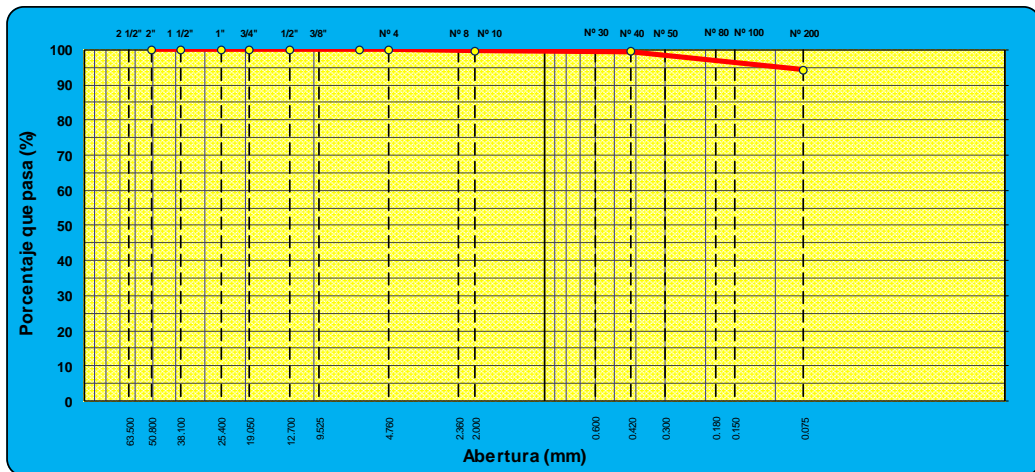
PROFUNDIDAD : 0.00m -1.50m

COORDENADAS : 9278776 - 341344

FECHA : 16/11/2020

TAMIZ	ABERT. mm	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
3"	76.200						PESO TOTAL	=	600.0	gr
2 1/2"	63.500						PESO LAVADO	=	35.0	gr
2"	50.800						PESO FINO	=	600.0	gr
1 1/2"	38.100						LÍMITE LÍQUIDO	=	31.46	%
1"	25.400						LÍMITE PLÁSTICO	=	16.13	%
3/4"	19.050						ÍNDICE PLÁSTICO	=	15.33	%
1/2"	12.700						CLASF. AASHTO	=	A-6	(10)
3/8"	9.525						CLASF. SUCCS	=	CL	
1/4"	6.350						Ensayo Malla #200	P. S. Seco:	P. S. Lavado:	% 200
# 4	4.760				100.0			600.0	35.0	94.2
# 8	2.360						% Grava	=	0.0	%
# 10	2.000	1.6	0.2667	0.3	99.7		% Arena	=	5.8	%
# 30	0.600						% Fino	=	94.2	%
# 40	0.420	2.0	0.3333	0.6	99.4		% HUMEDAD	P. S. H.:	P. S. S.:	% Humedad
# 50	0.300						OBSERVACIONES:			
# 80	0.180									
# 100	0.150	3.8	0.6333							
# 200	0.075	27.6	4.6	5.8	94.2					
< # 200	FONDO	565.0	94.2	100.0	0.0					
FRACCIÓN		600.0					Coef. Uniformidad	-	Índice de Consistencia	
TOTAL		600.0					Coef. Curvatura	-	1.1	
Descripción suelo:		Arcilla de baja plasticidad					Pot. de Expansión	Bajo	Estable	

CURVA GRANULOMÉTRICA





C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
@.jhcdcontratistas@gmail.com
D. Jr. Miraflores N° 488 – La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL
ASTM C 566**

PROYECTO : Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 ”

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 02

MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.00m -1.50m

COORDENADAS : 9278776 - 341344

FECHA : 16/11/2020

DATOS DE LA MUESTRA

NUMERO TARA	10	4		
PESO DE LA TARA (grs)	122.1	120.1		
PESO DEL SUELO HUMEDO + PESO DE LA TARA (grs)	1640.6	1520.3		
PESO DEL SUELO SECO + PESO DE LA TARA (grs)	1459.2	1353		
PESO DEL AGUA (grs)	181.40	167.30		
PESO DEL SUELO SECO (grs)	1337.10	1232.90		
% DE HUMEDAD	13.57	13.57		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	13.6			

OBSERVACIONES:

--	--

ENSAYOS DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO
ASTM D 4318

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
 Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 02

MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.00m -1.50m

COORDENADAS : 9278776 - 341344

FECHA : 16/11/2020

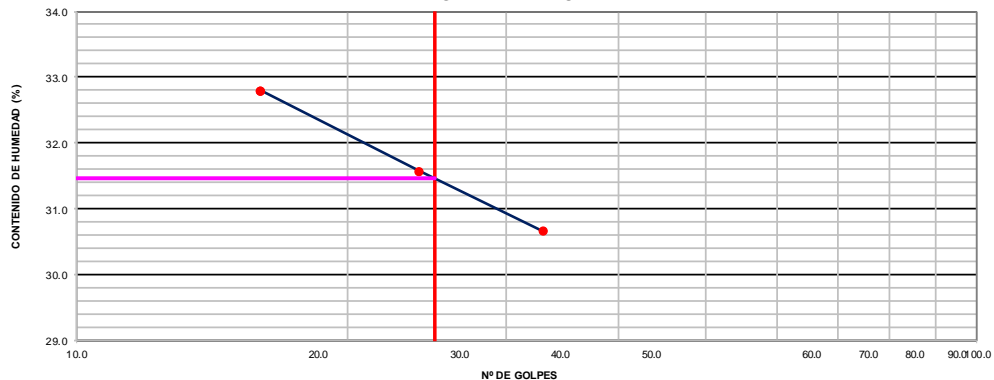
LÍMITE LÍQUIDO

Nº TARRO	1	3	6
TARRO + SUELO HÚMEDO	26.56	30.57	36.75
TARRO + SUELO SECO	24.20	27.17	31.75
AGUA	2.36	3.40	5.00
PESO DEL TARRO	16.50	16.40	16.50
PESO DEL SUELO SECO	7.70	10.77	15.25
% DE HUMEDAD	30.65	31.57	32.79
Nº DE GOLPES	33	24	16

LÍMITE PLÁSTICO

Nº TARRO	7	8
TARRO + SUELO HÚMEDO	19.26	19.00
TARRO + SUELO SECO	18.82	18.60
AGUA	0.44	0.40
PESO DEL TARRO	16.00	16.20
PESO DEL SUELO SECO	2.82	2.40
% DE HUMEDAD	15.60	16.67

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	31.46
LÍMITE PLÁSTICO	16.13
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15.33

OBSERVACIONES

**ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche

CALICATA : N° 02

MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD: 0.00m -1.50m

COORDENADAS: 9278776 - 341344

FECHA : 16/11/2020

COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN : "A"

NUMERO DE GOLPES POR CAF : 25

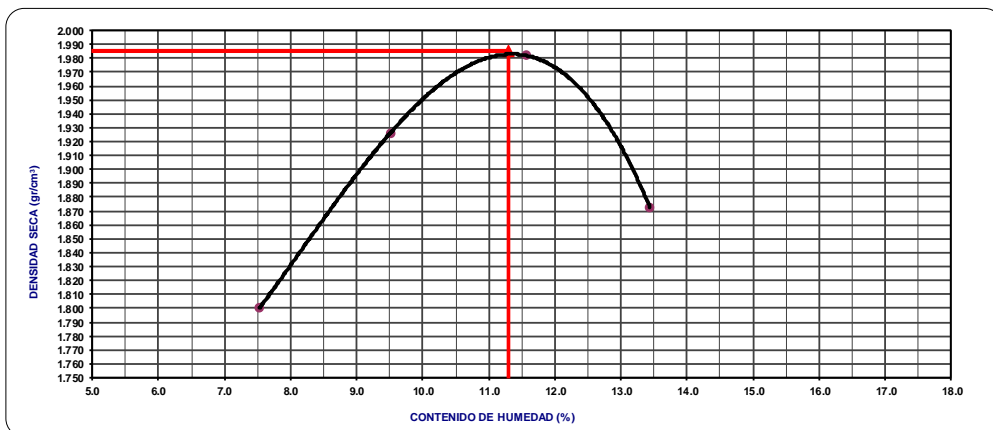
NUMERO DE CAPAS : 5

NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5518	5685	5783	5700
PESO DE MOLDE (gr)	3658	3658	3658	3658
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	1860	2027	2125	2042
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	961	961	961	961
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.935	2.109	2.211	2.125
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.800	1.926	1.982	1.873

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°	s/n	s/n	s/n	s/n
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	150.00	165.90	108.10	125.80
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	139.50	151.50	96.90	110.90
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)	10.50	14.40	11.20	14.90
PESO DE SUELO SECO (gr)	139.50	151.50	96.90	110.90
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.53	9.50	11.56	13.44
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.985	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		11.30

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTCE 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 02

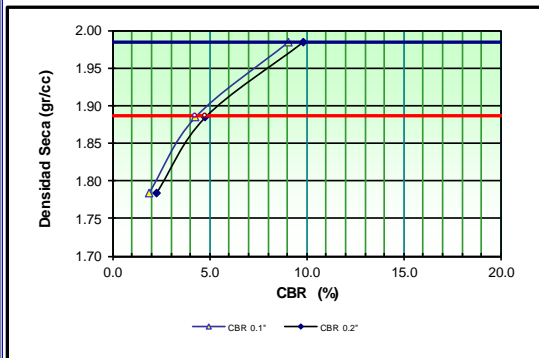
MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.00m -1.50m

COORDENADAS : 9278776 - 341344

FECHA : 16/11/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	0.2":
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 9.1	0.2": 9.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 4.3	0.2": 4.7

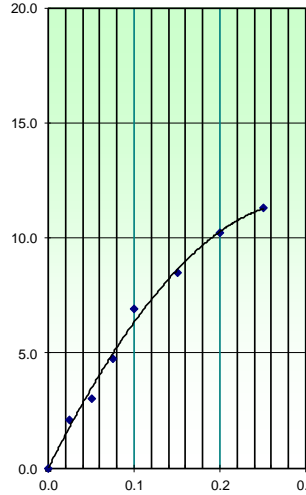
Datos del Proctor

Densidad Seca	1.985	gr/cc
Óptima Humedad	11.30	%

OBSERVACIONES:

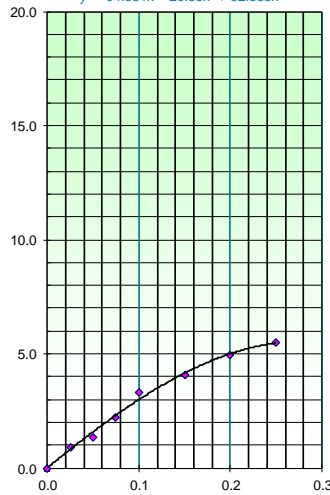
EC = 56 GOLPES

$$y = -38.337x^3 - 108.24x^2 + 74.531x$$



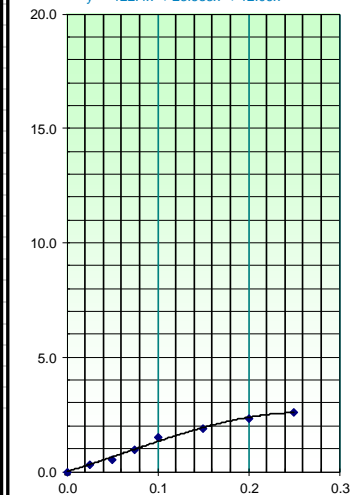
EC = 25 GOLPES

$$y = -94.381x^3 - 20.36x^2 + 32.883x$$



EC = 12 GOLPES

$$y = -122.4x^3 + 23.583x^2 + 12.06x$$



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE ANÁLISIS DE LA SUBRASANTE

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

MATERIAL : Terreno de Fundacion
UBICACIÓN : Morales
REFERENCIA : Polvoraico
FECHA EXCAVACION : 14/11/2020
METODO EXCAVACION : A cielo abierto
COORDENADA NORTE : 9277852
COORDENADA ESTE : 340278

PROGRESIVA :
N° CALICATA : C-3
PROFUNDIDAD : 0.00 - 1.50 m
N° ESTRATOS : 1
RESPONSABLES : Epifanio Guerra Sanchez
Perseo Ramirez Pinche

PROF. (m)	MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREATICO (m.)		CALICATA N°
				CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	A-6 [10] CL	Arcilla de baja plasticidad color marrón oscuro			C-3
0.20						
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.50						

OBSERVACIONES

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D 422**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N° 03

MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-1

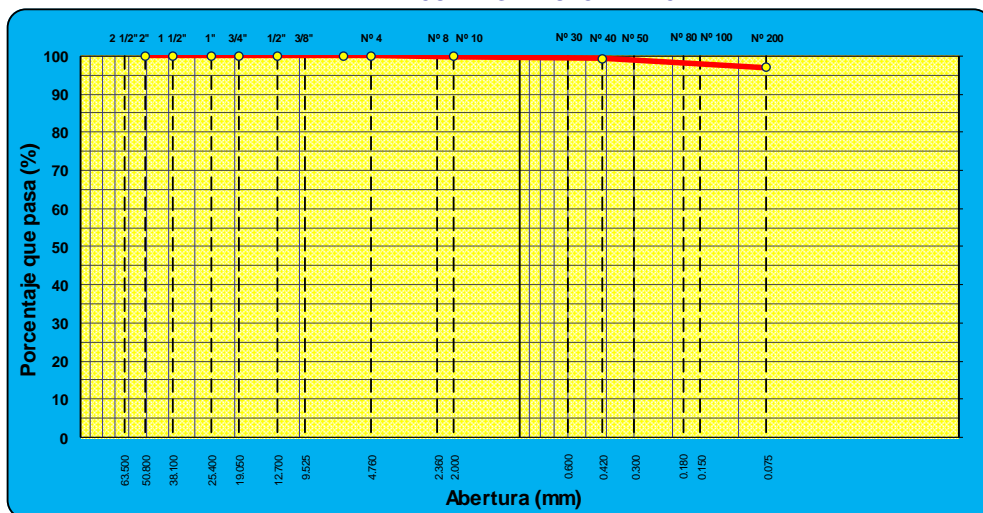
SECTOR : Polvoraico **PROFUNDIDAD** : 0.00m-1.50m

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 9277852-340278

Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

TAMIZ	ABERT. m.m.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					PESO TOTAL = 600.0 gr
2 1/2"	63.500					PESO LAVADO = 18.0 gr
2"	50.800					PESO FINO = 600.0 gr
1 1/2"	38.100					LÍMITE LIQUIDO = 36.28 %
1"	25.400					LÍMITE PLÁSTICO = 18.30 %
3/4"	19.050					ÍNDICE PLÁSTICO = 17.98 %
1/2"	12.700					CLASF. AASHTO = A-6 (11)
3/8"	9.525					CLASF. SUCCS = CL
1/4"	6.350					Ensayo Malla #200 P.S. Seco: P.S. Lavad: % 200
# 4	4.760				100.0	600.0 18.0 97.0
# 8	2.360					% Grava = 0.0 %
# 10	2.000	1.4	0.2333	0.2	99.8	% Arena = 3.0 %
# 30	0.600					% Fino = 97.0 %
# 40	0.420	2.9	0.4833	0.7	99.3	% HUMEDAD P.S.H. P.S.S. % Humeda
# 50	0.300					
# 80	0.180					OBSERVACIONES:
# 100	0.150	2.5	0.4167			
# 200	0.075	11.2	1.9	3.0	97.0	
< # 200	FONDO	582.0	97.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		600.0				Coef. Uniformidad - Índice de Consistencia
TOTAL		600.0				Coef. Curvatura - 1.2
Descripción suelo: Arcilla de baja plasticidad						Pot. de Expansión - Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA





C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
@. jhcdcontratistas@gmail.com
D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL
ASTM C 566**

PROYECTO : Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia
LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N° 03
MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-1
SECTOR : Polvoraico **PROFUNDIDAD** : 0.00m-1.50m
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 9277852-340278
Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

DATOS DE LA MUESTRA

NUMERO TARA	3	18		
PESO DE LA TARA (grs)	120.1	121.1		
PESO DEL SUELO HUMEDO + PESO DE LA TARA (grs)	1620.1	1520.8		
PESO DEL SUELO SECO + PESO DE LA TARA (grs)	1353.7	1272		
PESO DEL AGUA (grs)	266.40	248.80		
PESO DEL SUELO SECO (grs)	1233.60	1150.90		
% DE HUMEDAD	21.60	21.62		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	21.6			

OBSERVACIONES:

.....
.....
.....
.....
.....

--	--



C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
 @. jhcdcontratistas@gmail.com
 D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**ENSAYOS DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO
 ASTM D 4318**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "
LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N° 03
MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-1
SECTOR : Polvoraico **PROFUNDIDAD** : 0.00m-1.50m
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 9277852-340278
 Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

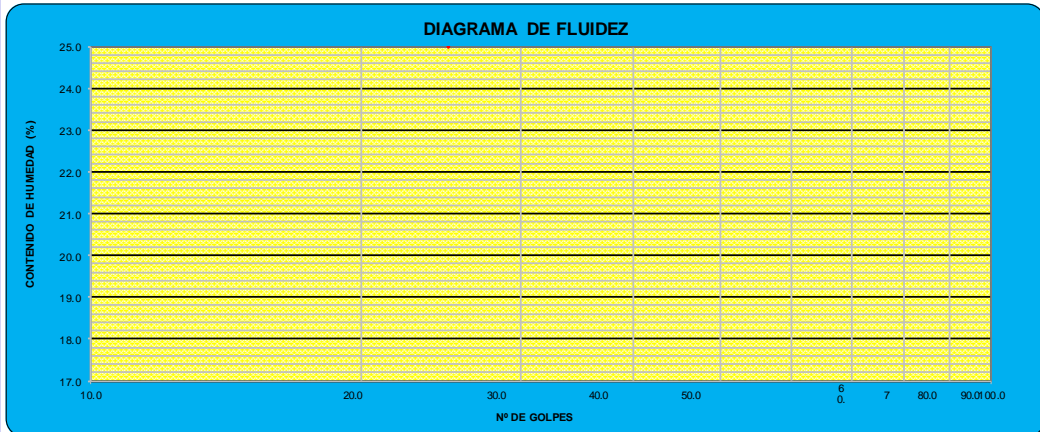
LÍMITE LÍQUIDO

Nº TARRO	1	15	19
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.90	43.03	31.00
TARRO + SUELO SECO	27.90	35.90	27.10
AGUA	4.00	7.13	3.90
PESO DEL TARRO	16.70	16.30	16.60
PESO DEL SUELO SECO	11.20	19.60	10.50
% DE HUMEDAD	35.71	36.38	37.14
Nº DE GOLPES	33	23	17

LÍMITE PLÁSTICO

Nº TARRO	3	1
TARRO + SUELO HÚMEDO	22.60	23.60
TARRO + SUELO SECO	21.60	22.40
AGUA	1.00	1.20
PESO DEL TARRO	16.00	16.00
PESO DEL SUELO SECO	5.60	6.40
% DE HUMEDAD	17.86	18.75

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	36.28
LÍMITE PLÁSTICO	18.30
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	17.98

OBSERVACIONES

--

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO

ASTM D 1557

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N° 03

MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-1

SECTOR : Polvoraico **PROFUNDIDAD:** 0.00m-1.50m

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS:** 9277852-340278

FECHA : 16/11/2020

COMPACTACIÓN

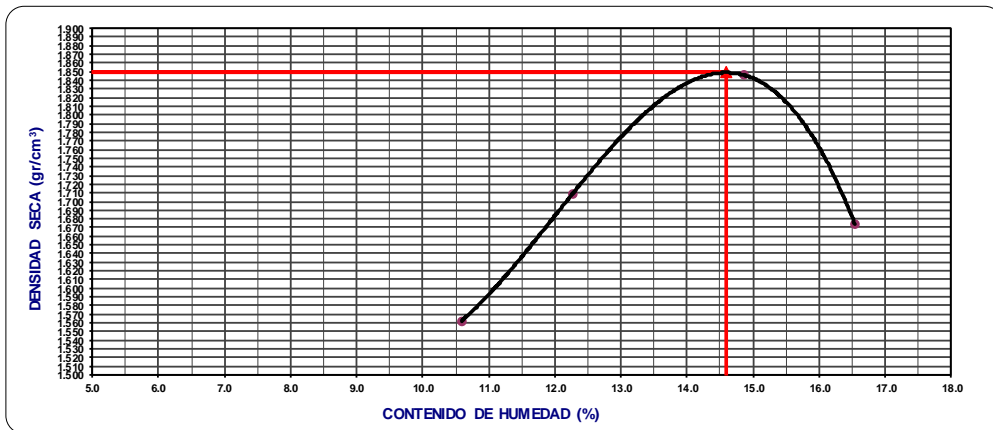
MÉTODO DE COMPACTACIÓN : "C"
NUMERO DE GOLPES POR CAF : 56
NUMERO DE CAPAS : 5

NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5315	5499	5693	5530
PESO DE MOLDE (gr)	3655	3655	3655	3655
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	1660	1844	2038	1875
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	961	961	961	961
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.727	1.919	2.121	1.951
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.562	1.709	1.846	1.674

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°	s/n	s/n	s/n	s/n
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	132.70	132.70	110.80	124.00
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	120.00	118.20	96.46	106.40
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)	12.70	14.50	14.34	17.60
PESO DE SUELO SECO (gr)	120.00	118.20	96.46	106.40
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	10.58	12.27	14.87	16.54
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.850	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		14.60

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTCE 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 03

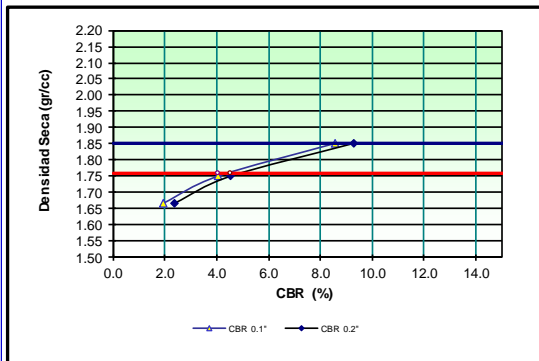
MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.00m-1.50m

COORDENADAS : 9277852-340278

FECHA : 16/11/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



C.B.R. AL 100% DEM.D.S. (%)	0.1":	8.6	0.2":	9.3
C.B.R. AL 95% DEM.D.S. (%)	0.1":	4.0	0.2":	4.5

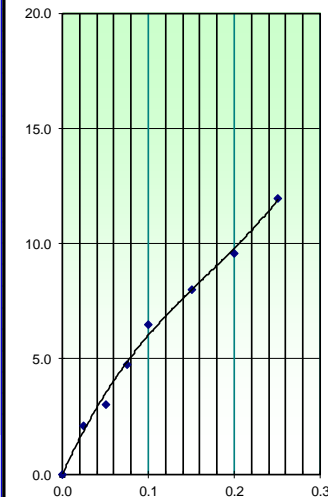
Datos del Proctor

Densidad Seca	1.850	gr/cc
Óptima Humedad	14.60	%

OBSERVACIONES:

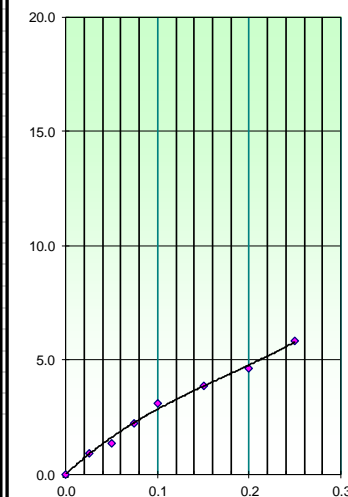
EC = 56 GOLPES

$y = 551.96x^3 - 277.48x^2 + 82.367x$



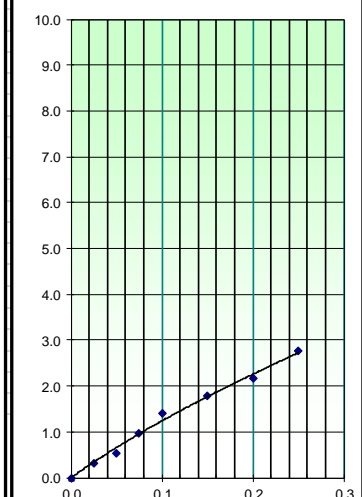
EC = 25 GOLPES

$y = 200.77x^3 - 104.98x^2 + 36.801x$



EC = 12 GOLPES

$y = 25.171x^3 - 18.726x^2 + 14.019x$



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE ANÁLISIS DE LA SUBRASANTE

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

MATERIAL : Terreno de Fundacion
UBICACIÓN : Morales
REFERENCIA : Polvoraico
FECHA EXCAVACION : 14/11/2020
METODO EXCAVACION : A cielo abierto
COORDENADA NORTE : 9277952
COORDENADA ESTE : 340348

PROGRESIVA : 03 + 000
N° CALICATA : C-4
PROFUNDIDAD : 0.00 - 1.50 m
N° ESTRATOS : 3
RESPONSABLES : Epifanio Guerra Sanchez
Perseo Ramirez Pinche

PROF. (m)	MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREATICO (m.)		CALICATA Nro.
				1.10		C-4
				CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
SUCS	AASHTO					
0.00	M-1	A-6 SC	Arena arcillosa color amarillo	[Diagrama de estrato]	[Diagrama de estrato]	[Diagrama de estrato]
0.20						
0.40	M-2	A-6 CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad de color negro	[Diagrama de estrato]	[Diagrama de estrato]	[Diagrama de estrato]
0.60						
0.80	M-3	A-6 CL	Arcilla de baja plasticidad color rojizo	[Diagrama de estrato]	[Diagrama de estrato]	[Diagrama de estrato]
1.00						
1.20						
1.40						
1.50						
OBSERVACIONES						
TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo						



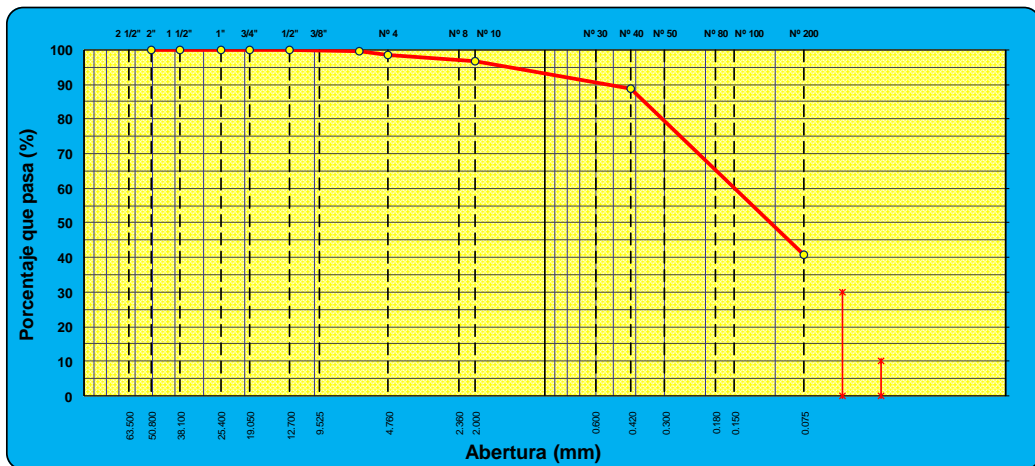
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 ASTM D 422**

PROYECTO	: "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "	CALICATA	: N°04
LOCALIDAD	: Morales	MUESTRA	: M-1
MATERIAL	: Terreno de Fundación	PROFUND.	: 0.00m - 0.30m
SECTOR	: Polvoraico	COORDENADAS	: 0340348- 9277952
RESPONSABLES	: Perseo Ramirez Pinche Epifanio Guerra Sanchez	FECHA	: 16/11/2020

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						PESO TOTAL = 600.0 gr
2 1/2"	63.500						PESO LAVADO = 364.7 gr
2"	50.800						PESO FINO = 600.0 gr
1 1/2"	38.100						LÍMITE LÍQUIDO = 29.86 %
1"	25.400						LÍMITE PLÁSTICO = 15.76 %
3/4"	19.050						ÍNDICE PLÁSTICO = 14.10 %
1/2"	12.700				100.0		CLASF. AASHTO = A-6 (2)
3/8"	9.525	2.1	0.4	0.4	99.7		CLASF. SUCCS = SC
1/4"	6.350						Ensayo Malla #200 P.S. Seco P.S. Lavado % 200
# 4	4.760	6.6	1.1	1.5	98.6		600.0 364.7 39.2
# 8	2.360						% Grava = 1.5 %
# 10	2.000	11.1	1.8232	3.3	96.7		% Arena = 57.9 %
# 30	0.600						% Fino = 40.7 %
# 40	0.420	49.6	8.1468	11.4	88.6		% HUMEDAD = P.S.H. P.S.S. % Humedad
# 50	0.300						
# 80	0.180						OBSERVACIONES:
# 100	0.150	123.6	20.3013				
# 200	0.075	168.2	27.6	59.4	40.7		
< # 200	FONDO	238.8	39.2	98.6	1.4		
FRACCIÓN		591.3					Coef. Uniformidad = - Índice de Consistencia
TOTAL		600.0					Coef. Curvatura = - 1.1
Descripción suelo:	Arena arcillosa					Pot. de Expansión	Bajo Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA





C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
@. jhcdcontratistas@gmail.com
D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL ASTM C 566

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia
LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N°04
MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-1
SECTOR : Polvoraico **PROFUND.** : 0.00m - 0.30m
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 0340348- 9277952
Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

DATOS DE LA MUESTRA

NUMERO TARA	11	18		
PESO DE LA TARA (grs)	120	150		
PESO DEL SUELO HUMEDO + PESO DE LA TARA (grs)	1620	1520.6		
PESO DEL SUELO SECO + PESO DE LA TARA (grs)	1584.1	1489		
PESO DEL AGUA (grs)	35.90	31.60		
PESO DEL SUELO SECO (grs)	1464.10	1339.00		
% DE HUMEDAD	2.45	2.36		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	2.4			

OBSERVACIONES: _____



C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
 @.jhcdcontratistas@gmail.com
 D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**ENSAYOS DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO
 ASTM D 4318**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
 Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N°04

MUESTRA : M-1

PROFUND. : 0.00m - 0.30m

COORDENADAS : 0340348- 9277952

FECHA : 16/11/2020

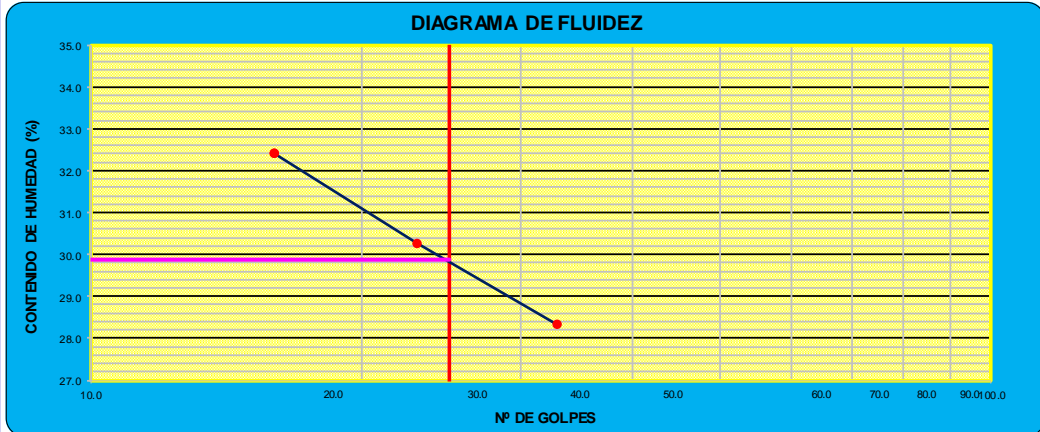
LÍMITE LÍQUIDO

Nº TARRO	5	8	7
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.00	40.60	31.00
TARRO + SUELO SECO	27.80	35.00	27.50
AGUA	3.20	5.60	3.50
PESO DEL TARRO	16.50	16.50	16.70
PESO DEL SUELO SECO	11.30	18.50	10.80
% DE HUMEDAD	28.32	30.27	32.41
Nº DE GOLPES	33	23	16

LÍMITE PLÁSTICO

Nº TARRO	11	10
TARRO + SUELO HÚMEDO	22.00	23.20
TARRO + SUELO SECO	21.20	22.20
AGUA	0.80	1.00
PESO DEL TARRO	16.00	16.00
PESO DEL SUELO SECO	5.20	6.20
% DE HUMEDAD	15.38	16.13

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	29.86
LÍMITE PLÁSTICO	15.76
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	14.10

OBSERVACIONES

--

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D 422**

PROYECTO : Estabilización de La subrasante con cemento Portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLE : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N°04

MUESTRA : M-2

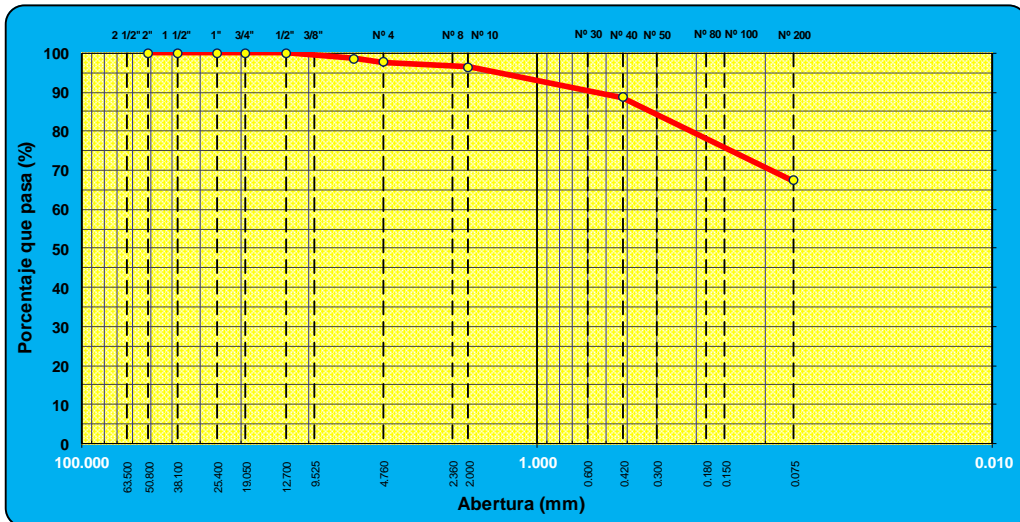
PROFUND. : 0.30m - 0.80m

COORDENADAS : 0340348- 9277952

FECHA : 16/11/2020

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC	%RET. AC.	% Q' PAS	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76.200					PESO TOTAL = 600.0 gr	
2 1/2"	63.500					PESO LAVADO = 210.0 gr	
2"	50.800					PESO FINO = 600.0 gr	
1 1/2"	38.100					LÍMITE LÍQUIDO = 28.38 %	
1"	25.400					LÍMITE PLÁSTICO = 14.24 %	
3/4"	19.050					ÍNDICE PLÁSTICO = 14.14 %	
1/2"	12.700				100.0	CLASF. AASHTO = A-6 (8)	
3/8"	9.525	8.8	1.5	1.5	98.5	CLASF. SUCCS = CL	
1/4"	6.350		0.0	1.5	98.5	Ensayo Malla #200 P.S. Seco; P.S. Lavado % 200	
# 4	4.760	5.5	0.9	2.4	97.6	600.0 210.0 65.0	
# 8	2.360					% Grava = 2.4 %	
# 10	2.000	7.4	1.2039	3.6	96.4	% Arena = 30.3 %	
# 30	0.600					% Fino = 67.3 %	
# 40	0.420	47.3	7.6949	11.3	88.7	% HUMEDAD P.S.H. P.S.S. % Humedad	
# 50	0.300						
# 80	0.180					OBSERVACIONES:	
# 100	0.150	48.5	7.8901				
# 200	0.075	83.0	13.5	32.7	67.3		
< # 200	FONDO	399.5	65.0	97.7	2.3		
FRACCIÓN		585.7				Coef. Uniformidad - Índice de Consistencia	
TOTAL		600.0				Coef. Curvatura - 1.0	
Descripción suelo:	Arcilla arenosa de baja plasticidad					Pot. de Expansión	Bajo Compacto

CURVA GRANULOMÉTRICA





C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
@. jhcdcontratistas@gmail.com
D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL
ASTM C 566**

PROYECTO : Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del
: pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia
LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N°04
MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-2
SECTOR : Polvoraico **PROFUND.** : 0.30m - 0.80m
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 0340348- 9277952
: Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

DATOS DE LA MUESTRA

NUMERO TARA	8	18		
PESO DE LA TARA (grs)	121.1	120.1		
PESO DEL SUELO HUMEDO + PESO DE LA TARA (grs)	1621.1	1520		
PESO DEL SUELO SECO + PESO DE LA TARA (grs)	1482.3	1390		
PESO DEL AGUA (grs)	138.80	130.00		
PESO DEL SUELO SECO (grs)	1361.20	1269.90		
% DE HUMEDAD	10.20	10.24		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	10.2			

OBSERVACIONES: _____



C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
 @. jhcdcontratistas@gmail.com
 D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ENSAYOS DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO

ASTM D 4318

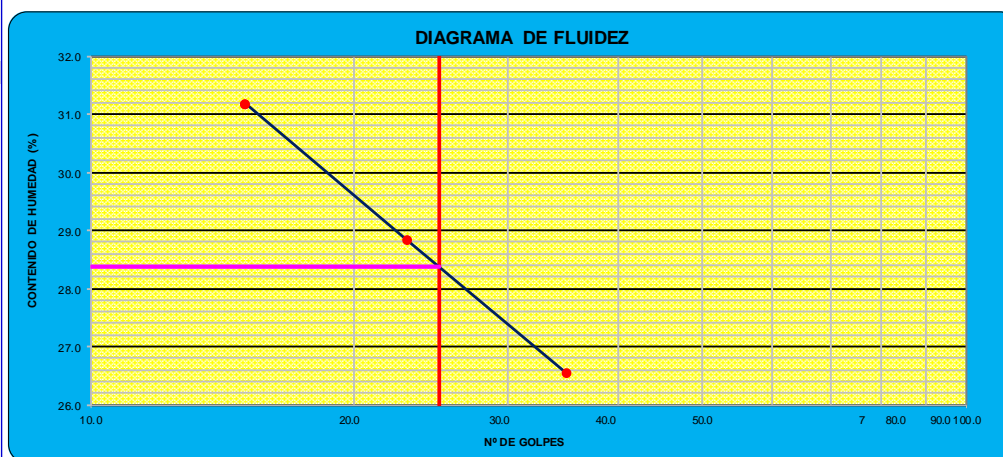
PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San
LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N°04
MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-2
SECTOR : Polvoraico **PROFUND.** : 0.30m - 0.80m
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 0340348- 9277952
 Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

LÍMITE LÍQUIDO

Nº TARRO	6	18	19	
TARRO + SUELO HÚMEDO	37.29	35.56	35.36	
TARRO + SUELO SECO	33.27	31.57	31.12	
AGUA	4.02	3.99	4.24	
PESO DEL TARRO	18.12	17.73	17.52	
PESO DEL SUELO SECO	15.15	13.84	13.60	
% DE HUMEDAD	26.53	28.83	31.18	
Nº DE GOLPES	35	23	15	

LÍMITE PLÁSTICO

Nº TARRO	8	15		
TARRO + SUELO HÚMEDO	20.05	23.00		
TARRO + SUELO SECO	19.30	21.80		
AGUA	0.75	1.20		
PESO DEL TARRO	13.95	13.50		
PESO DEL SUELO SECO	5.35	8.30		
% DE HUMEDAD	14.02	14.46		



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	28.38
LÍMITE PLÁSTICO	14.24
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	14.14

OBSERVACIONES

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D 422**

PROYECTO: "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD: Morales **CALICATA:** : N° 04

MATERIAL: Terreno de Fundación **MUESTRA:** : M-3

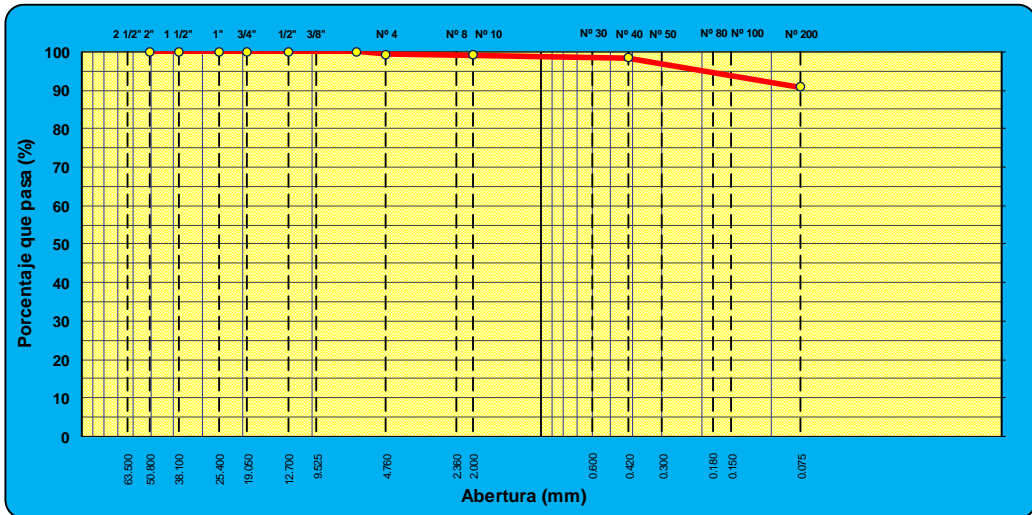
SECTOR: Polvoraico **PROFUND.** : 0.80m-1.10m

RESPONSA: Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS:** : 0340348- 9277952

Epifanio Guerra Sanchez **FECHA:** : 16/11/2020

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76.200					PESO TOTAL = 600.0 gr	
2 1/2"	63.500					PESO LAVADO = 59.2 gr	
2"	50.800					PESO FINO = 600.0 gr	
1 1/2"	38.100					LÍMITE LÍQUIDO = 40.05 %	
1"	25.400					LÍMITE PLÁSTICO = 20.42 %	
3/4"	19.050					ÍNDICE PLÁSTICO = 19.63 %	
1/2"	12.700					CLASF. AASHTO = A-6 [12]	
3/8"	9.525				100.0	CLASF. SUCCS = CL	
1/4"	6.350					Ensayo Malla #200 P.S. Seco; P.S. Lavado % 200	
# 4	4.760	4.6	0.8	0.8	99.2	600.0 59.2 90.1	
# 8	2.360					% Grava = 0.8 %	
# 10	2.000	1.0	0.1654	0.9	99.1	% Arena = 8.3 %	
# 30	0.600					% Fino = 90.9 %	
# 40	0.420	4.6	0.7608	1.7	98.3	% HUMEDAD P.S.H. P.S.S % Humedad	
# 50	0.300						
# 80	0.180					OBSERVACIONES:	
# 100	0.150	6.2	1.0254			PRESENCIA DE NAPA FREÁTICA A 1.10m	
# 200	0.075	38.6	6.4	9.1	90.9		
< # 200	FONDO	545.0	90.1	99.2	0.8		
FRACCIÓN		595.4				Coef. Uniformidad - Índice de Consistencia	
TOTAL		600.0				Coef. Curvatura - 1.3	
Descripción suelo:	Arcilla de baja plasticidad				Pot. de Expansión	Medio	Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA





C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
@. jhcdcontratistas@gmail.com
D. Jr. Miraflores N° 488 – La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL ASTM C 566

PROYECTO : Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia
LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N° 04
MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-3
SECTOR : Polvoraico **PROFUND.** : 0.80m-1.10m
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 0340348- 9277952
Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 16/11/2020

DATOS DE LA MUESTRA

NUMERO TARA	9	18		
PESO DE LA TARA (grs)	121.2	120.2		
PESO DEL SUELO HUMEDO + PESO DE LA TARA (grs)	1632.9	1530.2		
PESO DEL SUELO SECO + PESO DE LA TARA (grs)	1394.8	1308		
PESO DEL AGUA (grs)	238.10	222.20		
PESO DEL SUELO SECO (grs)	1273.60	1187.80		
% DE HUMEDAD	18.70	18.71		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	18.7			

OBSERVACIONES:

**ENSAYOS DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO
ASTM D 4318**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 04

MUESTRA : M-3

PROFUND. : 0.80m-1.10m

COORDENADAS : 0340348- 9277952

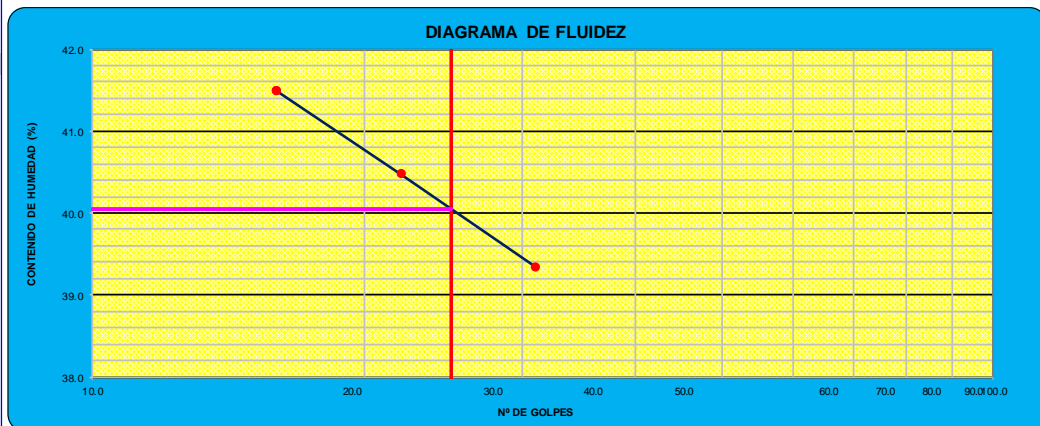
FECHA : 16/11/2020

LÍMITE LÍQUIDO

N° TARRO	10	15	18
TARRO + SUELO HÚMEDO	37.23	37.49	33.00
TARRO + SUELO SECO	31.80	31.90	28.20
AGUA	5.43	5.59	4.80
PESO DEL TARRO	18.00	18.09	16.63
PESO DEL SUELO SECO	13.80	13.81	11.57
% DE HUMEDAD	39.35	40.48	41.49
N° DE GOLPES	31	22	16

LÍMITE PLÁSTICO

N° TARRO	8	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	21.24	22.20
TARRO + SUELO SECO	20.42	21.15
AGUA	0.82	1.05
PESO DEL TARRO	16.41	16.00
PESO DEL SUELO SECO	4.01	5.15
% DE HUMEDAD	20.45	20.39



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	40.05
LÍMITE PLÁSTICO	20.42
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	19.63

OBSERVACIONES

--

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO

ASTM D 1557

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche

CALICATA : N° 04

MUESTRA : M-3

PROFUNDIDAD: 0.80m-1.10m

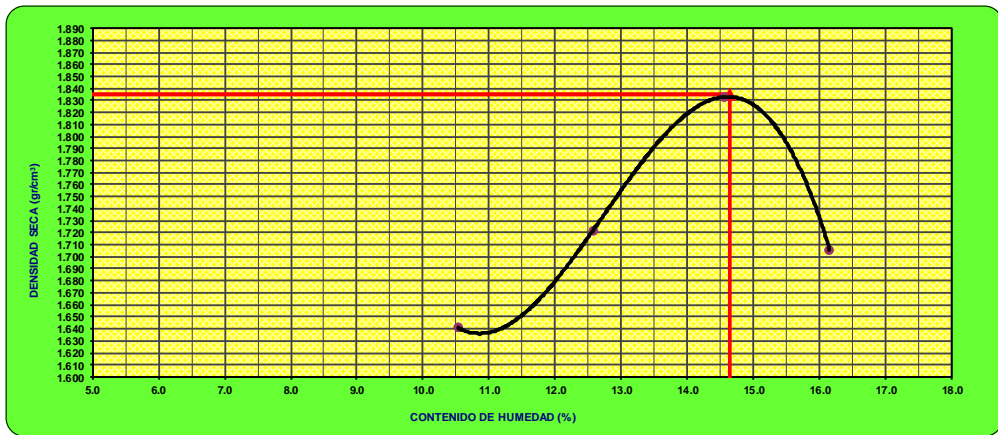
COORDENADAS: 0340348- 9277952

FECHA : 16/11/2020

COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: "C"			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	: 56			
NUMERO DE CAPAS	: 5			
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5398	5518	5673	5560
PESO DE MOLDE (gr)	3655	3655	3655	3655
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	1743	1863	2018	1905
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	961	961	961	961
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1.814	1.939	2.100	1.982
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.641	1.722	1.833	1.706
CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	s/n	s/n	s/n	s/n
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	189.00	196.00	210.70	145.90
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	171.00	174.10	183.90	125.60
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)	18.00	21.90	26.80	20.30
PESO DE SUELO SECO (gr)	171.00	174.10	183.90	125.60
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	10.53	12.58	14.57	16.16
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.835		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 14.65	

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTC E 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N° 04

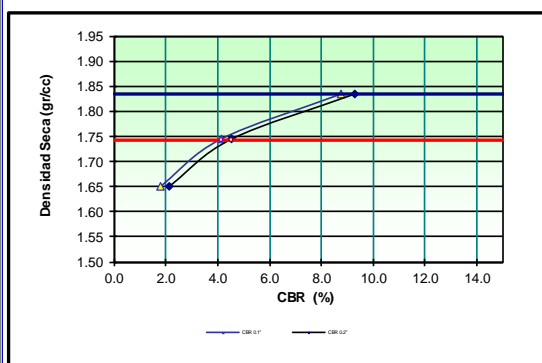
MUESTRA : M-3

PROFUND. : 0.80m-1.10m

COORDENADAS : 0340348- 9277952

FECHA : 16/11/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



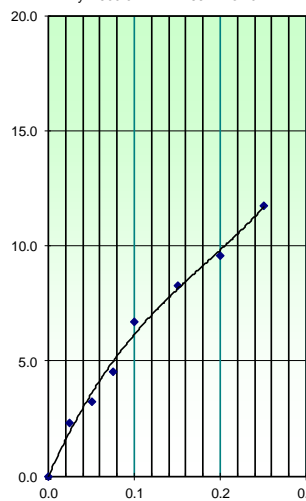
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	8.7	0.2":	9.3
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	4.1	0.2":	4.5

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.835 gr/cc
Óptima Humedad	14.65 %

OBSERVACIONES:

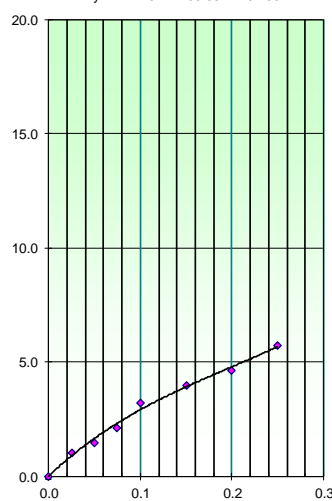
EC = 56 GOLPES

$$y = 500.01x^3 - 274.63x^2 + 84.024x$$



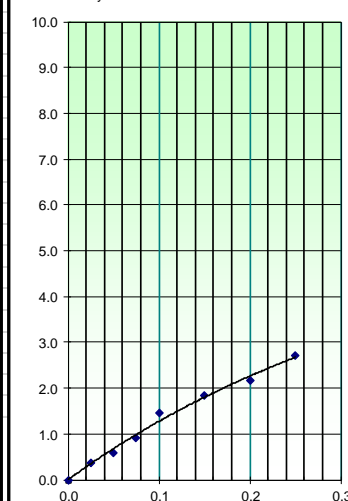
EC = 25 GOLPES

$$y = 174.79x^3 - 103.55x^2 + 37.63x$$



EC = 12 GOLPES

$$y = 12.183x^3 - 18.014x^2 + 14.433x$$



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE ANÁLISIS DE LA SUBRASANTE

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

MATERIAL	: Terreno de Fundacion	PROGRESIVA	: 04 + 000
UBICACIÓN	: Morales	N° CALICATA	: C-5
REFERENCIA	: Polvoraico	PROFUNDIDAD	: 0.10 - 1.50 m
FECHA EXCAVACION	: 14/11/2020	N° ESTRATOS	: 1
METODO EXCAVACION	: A cielo abierto	RESPONSABLES	: Epifanio Guerra Sanchez Perseo Ramirez Pinche
COORDENADA NORTE	: 9278410		
COORDENADA ESTE	: 339249		

NIVEL FREATICO (m.)	CALICATA N°
	C-5

PROF. (m)	MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00			Material Afirmado			
0.20	M-1	A- 2-4 GC-GM	Grava limo arcillosa de color rojizo.			
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.50						

OBSERVACIONES

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa M AS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D 422**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales **CALICATA :** N°05

MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA :** M-1

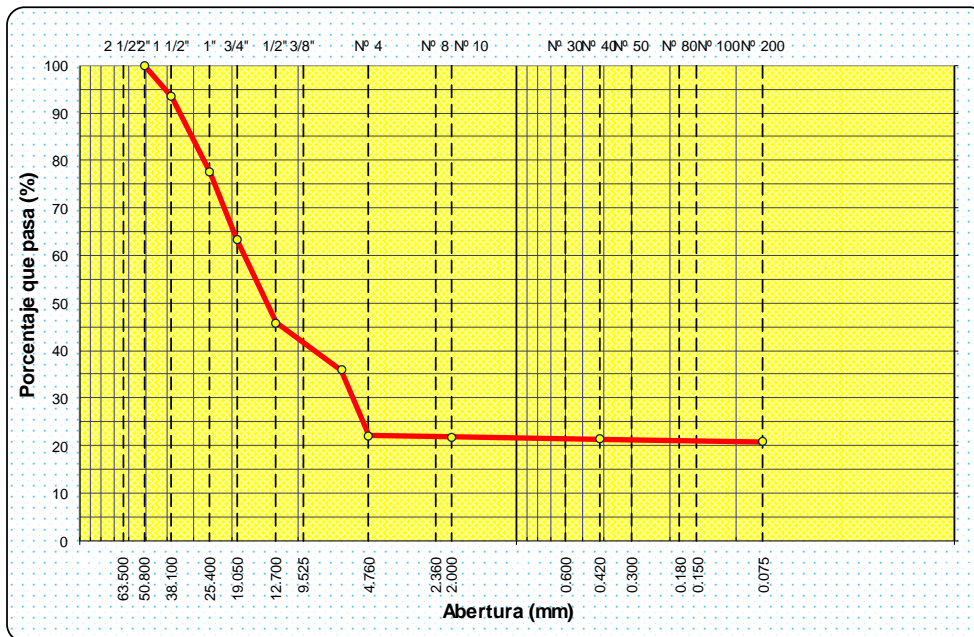
SECTOR : Polvoraico **PROFUND. :** 0.10m-1.50m

RESPONSABL. : Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS :** 0339249- 9278410

Epifanio Guerra Sanchez **FECHA :** 12/12/2020

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC	%RET. AC.	% Q PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76.200					PESO TOTAL = 4.191.1 gr	
2 1/2"	63.500					PESO LAVADO = 3317.3 gr	
2"	50.800					PESO FINO = 600.0 gr	
1 1/2"	38.100	274.8	6.6	6.6	93.4	LIMITE LIQUIDO = 26.31 %	
1"	25.400	669.1	16.0	22.5	77.5	LIMITE PLÁSTICO = 19.40 %	
3/4"	19.050	591.6	14.1	36.6	63.4	INDICE PLÁSTICO = 6.91 %	
1/2"	12.700	735.5	17.6	54.2	45.8	CLASF. AASHTO = A-2-4 [0]	
3/8"	9.525	413.2	9.9	64.1	36.0	CLASF. SUCCS = GC - GM	
1/4"	6.350		0.0	64.1	36.0	Ensayo Malla #200	
# 4	4.760	583.4	13.9	78.0	22.0	P.S.Seco: 4191.1 P.S.Lavado: 3317.3 % 200: 20.8	
# 8	2.360					% Grava = 78.0 %	
# 10	2.000	6.8	0.2497	78.2	21.8	% Arena = 1.2 %	
# 30	0.600					% Fino = 20.8 %	
# 40	0.420	10.8	0.3965	78.6	21.4	% HUMEDAD : P.S.H. P.S.S % Humedad	
# 50	0.300						
# 80	0.180					OBSERVACIONES:	
# 100	0.150	10.9	0.4002				
# 200	0.075	3.8	0.1	79.2	20.8		
< # 200	FONDO	567.7	20.8	100.0	0.0		
FRACCIÓN		600.0				Coef. Uniformidad - Índice de Consistencia	
TOTAL		4.191.1				Coef. Curvatura - 1.7	
Descripción suelo:	Grava limo arcillosa				Pot. de Expansión	Bajo	Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA





C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
 @. jhcdcontratistas@gmail.com
 D. Jr. Miraflores N° 488 – La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL
 ASTM C 566**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
 Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N°05

MUESTRA : M-1

PROFUND. : 0.10m-1.50m

COORDENADAS : 0339249- 9278410

FECHA : 12/12/2020

DATOS DE LA MUESTRA

NUMERO TARA	11	18		
PESO DE LA TARA (grs)	0	0		
PESO DEL SUELO HUMEDO + PESO DE LA TARA (grs)	1500	1513		
PESO DEL SUELO SECO + PESO DE LA TARA (grs)	1,300.00	1311.4		
PESO DEL AGUA (grs)	200.00	201.60		
PESO DEL SUELO SECO (grs)	1300.00	1311.40		
% DE HUMEDAD	15.38	15.37		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	15.38			

OBSERVACIONES:



C. (51) 956 217 383 – 939 175 863
 @.jhcdcontratistas@gmail.com
 D. Jr. Miraflores N° 488 - La Banda de Shilcayo

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**ENSAYOS DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO
 ASTM D 4318**

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : N°05
MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : M-1
SECTOR : Polvoraico **PROFUND.** : 0.10m-1.50m
RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS** : 0339249- 9278410
 Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 12/12/2020

LÍMITE LÍQUIDO

Nº TARRO	13	15	7	
TARRO + SUELO HÚMEDO	30.60	32.80	32.40	
TARRO + SUELO SECO	27.70	29.44	28.95	
AGUA	2.90	3.36	3.45	
PESO DEL TARRO	16.50	16.70	16.20	
PESO DEL SUELO SECO	11.20	12.74	12.75	
% DE HUMEDAD	25.89	26.37	27.06	
Nº DE GOLPES	32	24	16	

LÍMITE PLÁSTICO

Nº TARRO	12	1		
TARRO + SUELO HÚMEDO	22.20	22.50		
TARRO + SUELO SECO	21.30	21.50		
AGUA	0.90	1.00		
PESO DEL TARRO	16.70	16.30		
PESO DEL SUELO SECO	4.60	5.20		
% DE HUMEDAD	19.57	19.23		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	26.31
LÍMITE PLÁSTICO	19.40
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	6.91

OBSERVACIONES

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO

ASTM D 1557

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el c

LOCALIDAD : Morales
MATERIAL : Terreno de Fundación
SECTOR : Polvorico
RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche

CALICATA : N°05
MUESTRA : M-1
PROFUND : 0.10m-1.50m
COORDENADAS : 0339249- 9278410
FECHA : 12/12/2020

COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN : "C"
NUMERO DE GOLPES POR CAF : 56
NUMERO DE CAPAS : 5

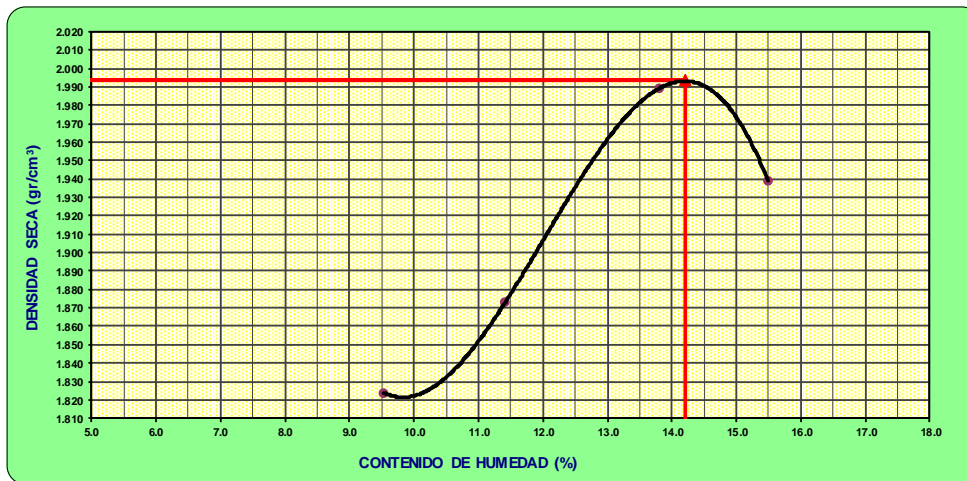
NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	9475	9655	10015	9965
PESO DE MOLDE (gr)	5415	5415	5415	5415
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	4060	4240	4600	4550
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2032	2032	2032	2032
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.998	2.087	2.264	2.239
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.824	1.873	1.989	1.939

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE Nº	s/n	s/n	s/n	s/n
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	150.60	210.80	283.80	271.40
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	137.50	189.20	249.40	235.00
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)	13.10	21.60	34.40	36.40
PESO DE SUELO SECO (gr)	137.50	189.20	249.40	235.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	9.53	11.42	13.79	15.49

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) : 1.994 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 14.20

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTCE 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES : Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : N°05

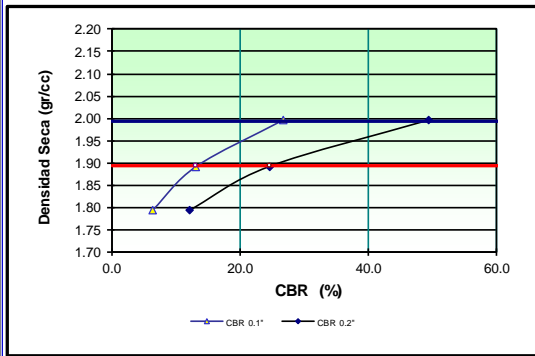
MUESTRA : M-1

PROFUND. : 0.10m-1.50m

COORDENADAS : 0339249- 9278410

FECHA : 12/12/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	26.7	0.2":	49.5
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	13.1	0.2":	24.7

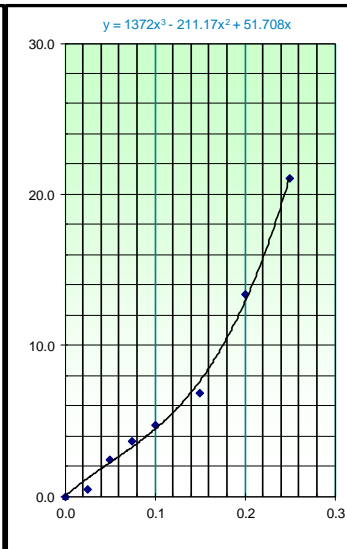
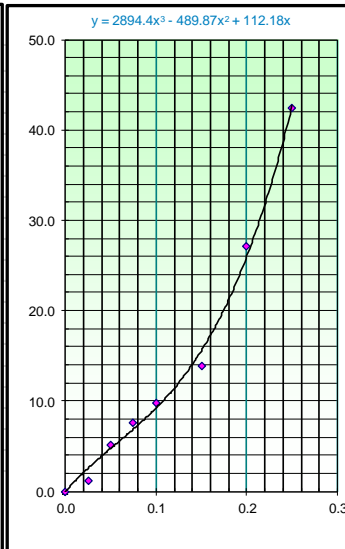
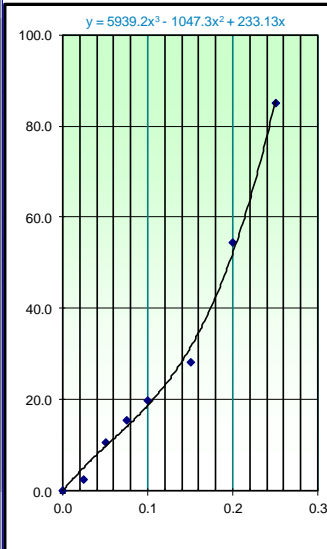
Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.994	gr/cc
Óptima Humedad	14.20	%

OBSERVACIONES:

EC = 56 GOLPES

EC = 25 GOLPES

EC = 12 GOLPES



ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : C1,C2.C3,C4,C5

MUESTRA : Adición 4% de cemento

PROFUNDIDAD: 0.10m -1.50m

COORDENADAS: 0

FECHA : 23/12/2020

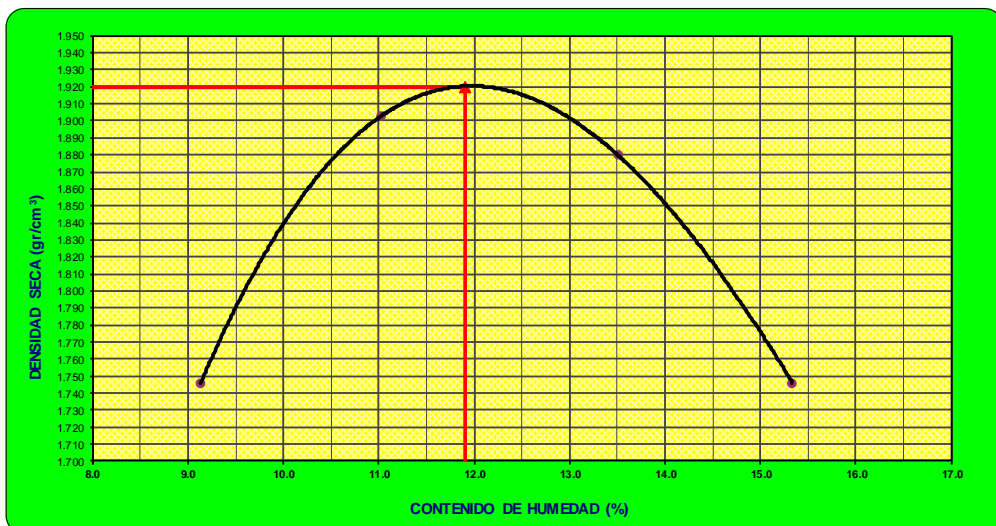
COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: "C"				
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	: 56				
NUMERO DE CAPAS	: 5				
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5400	5590	5610	5500	
PESO DE MOLDE (gr)	3655	3655	3655	3655	
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	1745	1935	1955	1845	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	916	916	916	916	
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.905	2.112	2.134	2.014	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.746	1.903	1.880	1.746	

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°	s/n	s/n	s/n	s/n	
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	163.70	183.20	178.20	188.00	
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	150.00	165.00	157.00	163.00	
PESO DE LA TARA (gr)					
PESO DE AGUA (gr)	13.70	18.20	21.20	25.00	
PESO DE SUELO SECO (gr)	150.00	165.00	157.00	163.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	9.13	11.03	13.50	15.34	
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.920		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		11.90

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTCE 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : C1,C2,C3,C4,C5

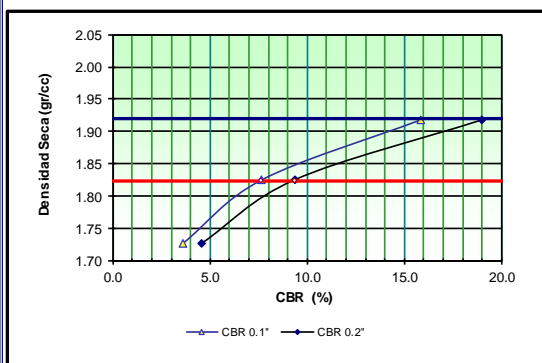
MUESTRA : Adición 4% de cemento

PROFUNDIDAD : 0.10m -1.50m

COORDENADAS : 0

FECHA : 23/12/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



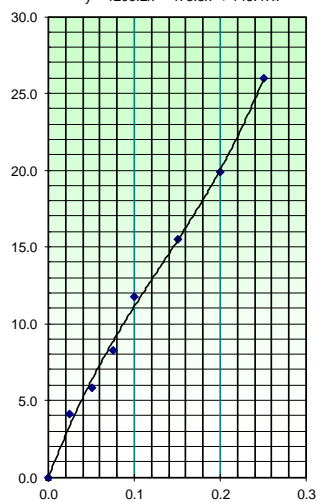
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	15.8	0.2":	19.0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	7.7	0.2":	9.4

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.920 gr/cc
Óptima Humedad	11.90 %

OBSERVACIONES:

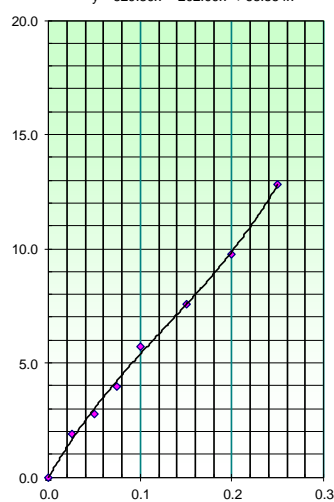
EC = 56 GOLPES

$$y = 1209.2x^3 - 473.5x^2 + 146.47x$$



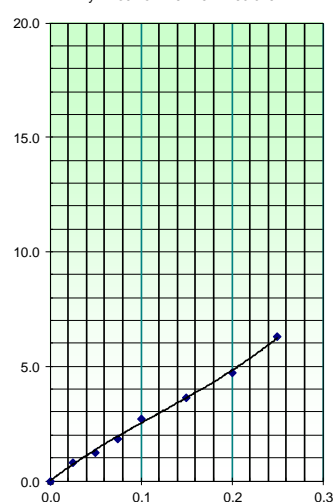
EC = 25 GOLPES

$$y = 529.39x^3 - 202.99x^2 + 68.854x$$



EC = 12 GOLPES

$$y = 189.48x^3 - 67.73x^2 + 30.045x$$



ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : C1,C2,C3,C4,C5

MUESTRA : Adición 8% de cemento

PROFUNDIDAD: 0.10m-1.50m

COORDENADAS: 0

FECHA : 23/12/2020

COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN : "C"

NUMERO DE GOLPES POR CAPA : 56

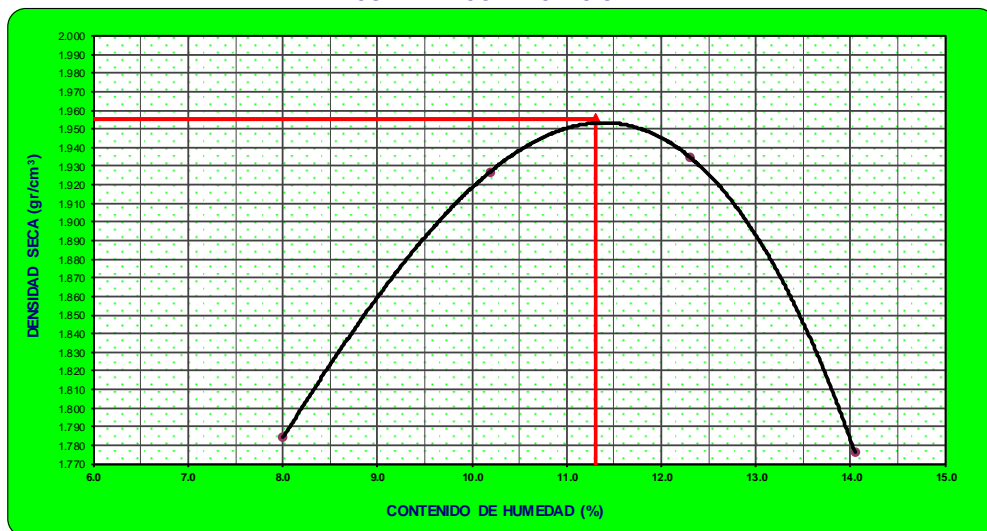
NUMERO DE CAPAS : 5

NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5420	5600	5645	5510
PESO DE MOLDE (gr)	3655	3655	3655	3655
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	1765	1945	1990	1855
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	916	916	916	916
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.927	2.123	2.172	2.025
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.784	1.927	1.935	1.776

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE Nº	s/n	s/n	s/n	s/n
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	135.00	200.00	210.00	180.20
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	125.00	181.50	187.00	158.00
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)	10.00	18.50	23.00	22.20
PESO DE SUELO SECO (gr)	125.00	181.50	187.00	158.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.00	10.19	12.30	14.05
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.955	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		11.30

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTCE 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : C1,C2,C3,C4,C5

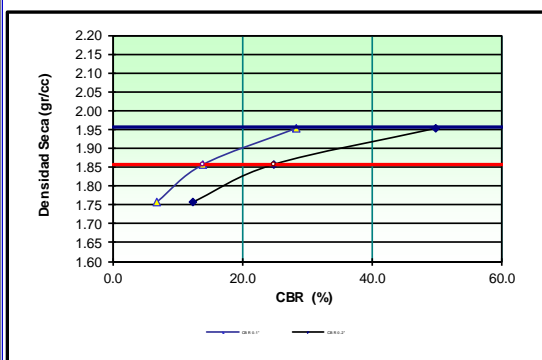
MUESTRA : Adición 8% de cemento

PROFUNDIDAD : 0.10m-1.50m

COORDENADAS : 0

FECHA : 23/12/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



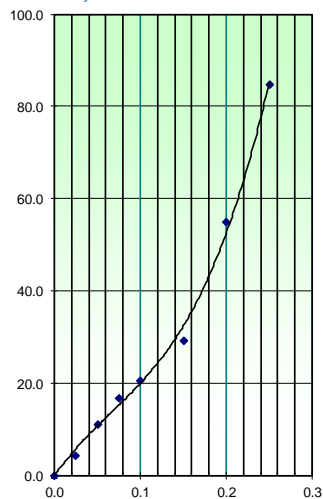
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	28.4	0.2":	49.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	13.9	0.2":	24.8

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.955 gr/cc
Óptima Humedad	11.30 %

OBSERVACIONES:

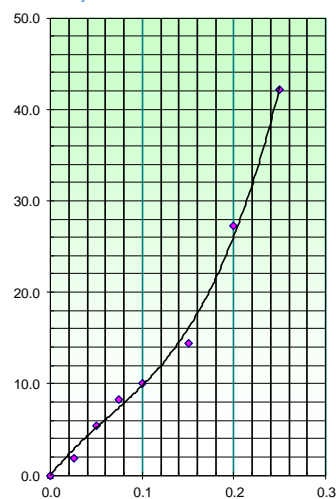
EC = 56 GOLPES

$$y = 6173.9x^3 - 1216.2x^2 + 259.21x$$



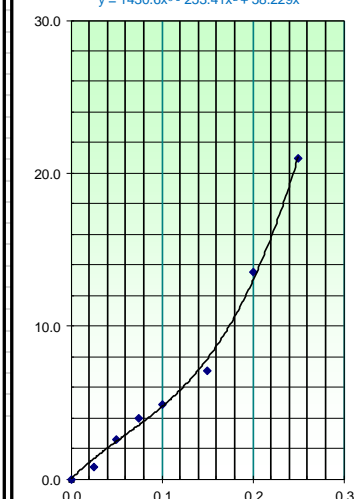
EC = 25 GOLPES

$$y = 3011.7x^3 - 574.35x^2 + 125.22x$$



EC = 12 GOLPES

$$y = 1430.6x^3 - 253.41x^2 + 58.229x$$



ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales **CALICATA** : C1,C2.C3,C4,C5

MATERIAL : Terreno de Fundación **MUESTRA** : Adición 12% de cemento

SECTOR : Polvoraico **PROFUNDIDAD**: 0.10m-1.50m

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche **COORDENADAS**: 0

Epifanio Guerra Sanchez **FECHA** : 23/12/2020

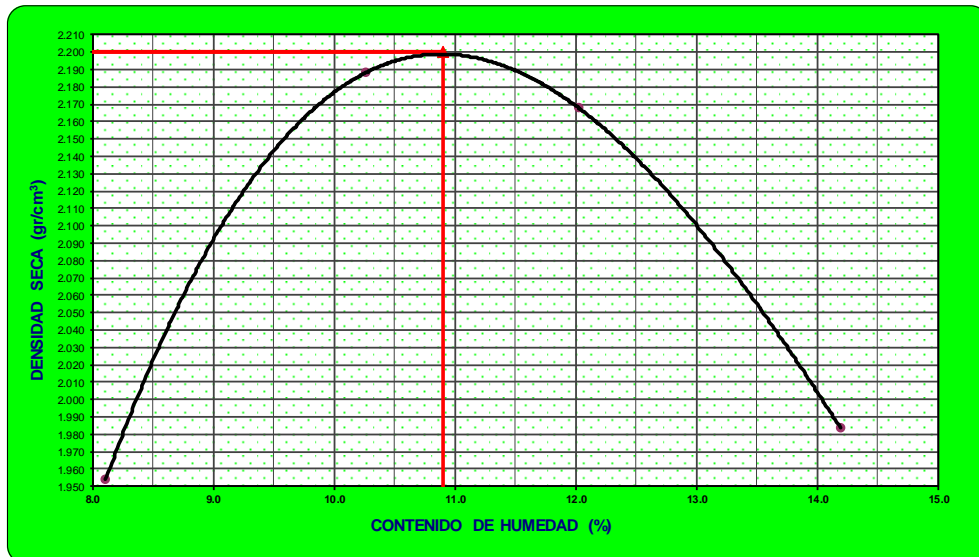
COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: "C"				
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	: 56				
NUMERO DE CAPAS	: 5				
NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5590	5865	5880	5730	
PESO DE MOLDE (gr)	3655	3655	3655	3655	
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	1935	2210	2225	2075	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	916	916	916	916	
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	2.112	2.413	2.429	2.265	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.954	2.188	2.168	1.984	

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°	s/n	s/n	s/n	s/n	
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	200.00	201.00	205.00	210.00	
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	185.00	182.30	183.00	183.90	
PESO DE LA TARA (gr)					
PESO DE AGUA (gr)	15.00	18.70	22.00	26.10	
PESO DE SUELO SECO (gr)	185.00	182.30	183.00	183.90	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.11	10.26	12.02	14.19	
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	2.200		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		10.90

CURVA DE COMPACTACIÓN



ENSAYO DE CBR

MTCE 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T-193

PROYECTO : "Estabilización de La subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020 "

LOCALIDAD : Morales

MATERIAL : Terreno de Fundación

SECTOR : Polvoraico

RESPONSABLES: Perseo Ramirez Pinche
Epifanio Guerra Sanchez

CALICATA : C1,C2,C3,C4,C5

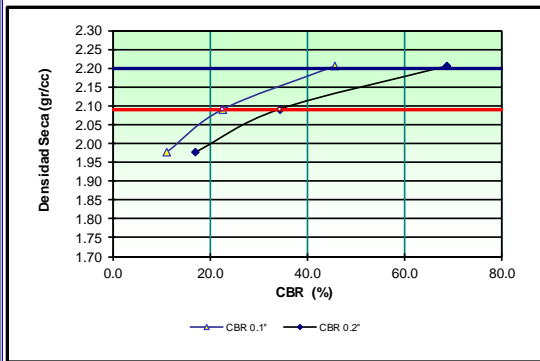
MUESTRA : Adición 12% de cemento

PROFUNDIDAD : 0.10m-1.50m

COORDENADAS : 0

FECHA : 23/12/2020

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



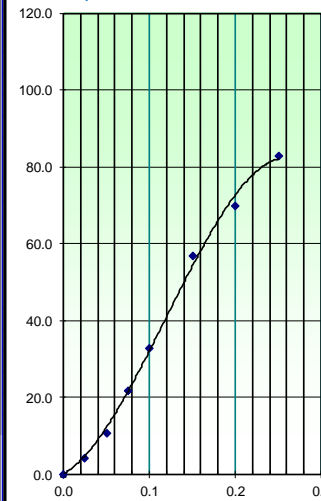
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	45.6	0.2":	68.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	22.5	0.2":	34.3

Datos del Proctor		
Densidad Seca	2.200	gr/cc
Óptima Humedad	10.90	%

OBSERVACIONES:

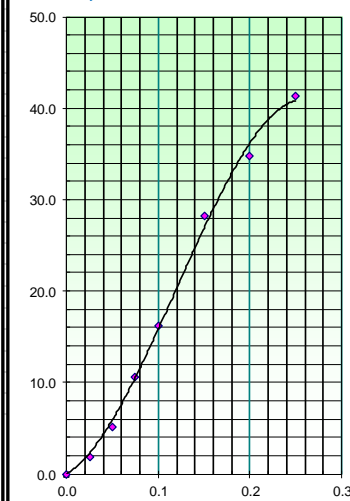
EC = 56 GOLPES

$$y = -7540.9x^3 + 2689.9x^2 + 126.88x$$



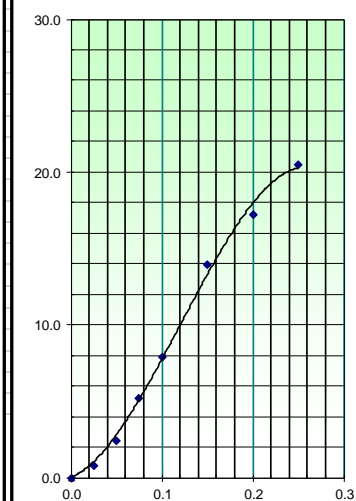
EC = 25 GOLPES



















$$y = -3845.6x^3 + 1378.7x^2 + 59.057x$$



EC = 12 GOLPES

$$y = -1998x^3 + 723.12x^2 + 25.147x$$



TOTAL DE VEHÍCULOS QUE CIRCULAN O NÚMERO DE PASADAS DE LOS VEHÍCULOS EN 20 AÑOS													
ESTUDIO DE TRAFICO													
Tramo de la carretera: Sector Polvorayo					Estación: Ingreso al Sector Polvorayo								
Calzada: Un solo Carril					Código: Km 0+000 (Canal Cumbaza)								
Ubicación: Región San Martín					Responsables: Epifanio Guerra Sanchez								
Fecha: Morales, 10 de enero del 2021					Perceo Ramirez Pinchi								
Nombre de vehículos y Símbolo	IMDA 2024	Carga de vehículo por eje (TN)	Factor de Equivalencia de carga	F.IMDA	Diagrama	longitud (m)	Carga por eje (TN)				Peso bruto		
							Eje delantero	Carga por eje o conjunto posterior					
		1° Eje	2° Eje	3° Eje	4° Eje								
Auto	1	1	0.00052702	0.00			1	1			2		
	1	1	0.00052702	0.00									
Camionetas	Pick-up	4	1	0.00052702	0.00			1	1			2	
		4	1	0.00052702	0.00								
	Combi	0	1	0.00052702	0.00			1	1			2	
		0	1	0.00052702	0.00								
Bus	B2	0	7	1.26536675	0.00		13.2	7	10			17	
		0	10	2.0085096	0.00								
	B3	0	7	1.26536675	0.00		14	7	15			22	
		0	15	1.05515965	0.00								
Camión	C2	1	7	1.26536675	1.59		12.3	7	10			17	
		1	10	2.0085096	2.53								
	C3	1	7	1.26536675	0.68		13.2	7	16			23	
		1	16	1.26058502	0.68								
	C4	0	7	1.26536675	0.00		13.2	7	25			32	
		0	25	1.70602625	0.00								
2S1	0	7	1.26536675	0.00		20.5	7	10	10			27	
	0	10	2.21179357	0.00									
	0	10	2.21179357	0.00									
Semi Trailer	2S2	0	7	1.26536675	0.00		20.5	7	10	16			33
		0	10	2.21179357	0.00								
		0	16	1.26058502	0.00								
		0	16	1.26058502	0.00								
	2S3	0	7	1.26536675	0.00		20.5	7	10	23			40
		0	10	2.21179357	0.00								
	3S1	0	23	1.23241858	0.00		20.5	7	16	10			33
		0	7	1.26536675	0.00								
	3S2	0	16	1.26058502	0.00		20.5	7	16	16			39
		0	10	2.21179357	0.00								
		0	16	1.26058502	0.00								
		0	16	1.26058502	0.00								
	3S3	0	7	1.26536675	0.00		20.5	7	16	23			46
		0	16	1.26058502	0.00								
0		23	1.23241858	0.00									
0		7	1.26536675	0.00									
Trayler	2T2	0	7	1.26536675	0.00		23	7	10	10	10		37
		0	10	2.21179357	0.00								
		0	10	2.21179357	0.00								
		0	10	2.21179357	0.00								
	2T3	0	7	1.26536675	0.00		23	7	10	10	16		43
		0	10	2.21179357	0.00								
		0	10	2.21179357	0.00								
		0	16	1.26058502	0.00								
	3T2	0	7	1.26536675	0.00		23	7	16	10	10		43
		0	16	1.26058502	0.00								
		0	10	2.21179357	0.00								
		0	10	2.21179357	0.00								
3T3	0	7	1.26536675	0.00		23	7	16	10	16		49	
	0	16	1.26058502	0.00									
	0	10	2.21179357	0.00									
	0	16	1.26058502	0.00									
				$\sum F_{IMDA} =$	5.49								
$ESALS = W_{18} = 365 * F_d * F_c (CL * FEC + F_{EC}) * F_{ca}$ $F_{ca} = (CL * FEC + CP + F_{EC}) * F_{ca}$													
F.IMDA	Tiempo (365)	Fd	Fc	Fca	EE = ESALS								
5.49	365	0.5	1	30	60161.25								
6.02E+04													

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (ASHTO-93)

SECTOR POLVORAICO

DATOS DEL PROBLEMA

Tipo de tráfico	TPO
EE de 8.2TN	60,161
Terreno de fundacion tiene un CBR	7.7
Temperatura media anual promedio	32.10 °C
Dias promedio de lluvia	112.10 Días
Velocidad media de circulación de vehículos pesados es de	30 km/h
Calidad de denaje	0.80 Regular ←

1.- DETERMINACION DE LA CONFIABILIDAD

R =	65
Zr =	-0.385
So =	0.45 ←

N° etapas =	1 ←
-------------	-----

2.- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIO

Pi =	3.80
ΔPSI =	1.80

Pf =	2.00
------	-------------

3.- DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DEL TERRENO DE FUNDACION

Mr (psi) =	$2555 * CBR^{0.64}$
Mr (psi) =	9,435.07 psi

4.- DETERMINACIÓN DEL Mr y los coeficientes estructurales (a₁, a₂ y a₃)

4.1.- Determinacion del Mr de la capa asfaltica y coeficiente estructural a₁

T _{ca} =	45.60 °C
-------------------	----------

$$T_s = (-0.0093 * T a^2 + 1.569 * T a - 1.578)(-0.084 * l n h s + 1.55)$$

$$a_1 = 0.184 * \ln(E_{cs}) - 1.9547$$

Módulo dinámico =	1800 Mpa
Módulo dinámico =	261068.40psi

$$a_1 = \frac{0.170}{cm} * \frac{2.54cm}{pulg} = 0.4318$$

$$1Mpa = 145.038 \text{ psi } \text{ ó } \frac{lbs}{pulg^2}$$

a ₁ =	0.3402
------------------	--------

4.2.- Determinacion del Mr de la base y el coeficiente estructural a₂

a ₂ =	0.1350
Mr =	28,000.00psi

4.2.- Determinación del sub base granular de la base y el coeficiente estructural a_3

$a_3 =$	0.1200
$M_r =$	17,000.00psi

5.- DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DEL DRENAJE

Porcentaje de los días que llueve =

112.1
365

% lluvia =

30.71%

$m_2 = m_3 =$

0.80

6.- DETERMINACIÓN DEL NUMERO ESTRUCTURAL POR LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Numero Estructural Requerido (SN_1)	1.154
W18 NOMINAL	4.779
W18 CALCULADO	4.985
ΔW_{18}	-0.205 *Cero

CALCULAR SN

7.- DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

7.1.- Asfáltica

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} \Rightarrow SN_{1(real)} = a_1 * D_1$$

$$D_1 = 3.392 \Rightarrow \boxed{4 \text{ Pulgadas}} \Rightarrow SN_{1(real)} = 1.361$$

$$D_{1 \text{ corregido}} = \boxed{2 \text{ Pulgadas}} \quad SN_{1 \text{ (real-corregido)}} = \boxed{0.680}$$

7.2.- Base granular

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_{1(real)}}{a_2 * m_2} \Rightarrow SN_{2(real)} = D_2 * a_2 * m_2 + SN_{1(real)}$$

Numero Estructural Requerido (SN_2)	1.675
W18 Nominal	4.779
W18 Calculado	5.346
ΔW_{18}	-0.567 *Cero

Calcular SN2

$$D_2 = \frac{1.692 - 2.722}{0.1350 * 0.80} = 2.909 \Rightarrow \boxed{3 \text{ Pulgadas}} \quad D_{2 \text{ corregido}} = \boxed{7 \text{ Pulgadas}}$$

$$\Rightarrow SN_{2(real)} = 3.000 * 0.1350 * 0.80 + 1.361 = 1.685 \quad SN_{2 \text{ (corregido)}} = \boxed{1.436}$$

7.3.- Sub base granular

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN_2(\text{real})}{a_3 * m_3}$$

5.9219E+165

Numero Estructural Requerido (SN₃)

2.485

Calcular SN3

W18 Nominal

4.779

W18 Calculado

5.768

ΔW18

-0.989

*Cero

$$D_3 = \frac{0.134 - 0.441}{0.12 * 0.80} = 8.334 \Rightarrow \boxed{9 \text{ Pulgadas}}$$

$$D_3 \text{ corregido} = 10.923 \Rightarrow \mathbf{12 \text{ Pulgadas}}$$

8.- DISEÑO FINAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

