

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Mejoramiento de propiedades mecánicas en arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Luis Angel Chiroque Negrón

ASESOR

Manuel Alejandro Borja Suarez

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

Chiclayo, 2023

**Mejoramiento de propiedades mecánicas en arenas de duna y playa
con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras**

PRESENTADA POR
Luis Angel Chiroque Negron

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Juan Merino Roncero
PRESIDENTE

Fidel Ortiz Zapata
SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez
VOCAL

Dedicatoria

A mi tío Wilson, que, a pesar de no estar físicamente aquí, siempre me dio las fuerzas necesarias para lograr todo lo que me propuse en la vida.

Este logro es para ti, en el cielo.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme salud y vida para seguir cumpliendo todos mis sueños.

A mis tías, que fueron mi fuente de inspiración y a las que considero como madres, y que siempre me alentaron a ser un gran profesional.

También agradezco a mis amigos, que fueron mi compañía en toda esta travesía.

Finalmente, agradezco a mi universidad que fue mi segundo hogar y me brindó los conocimientos y valores necesarios de un buen profesional.

INFORME TESIS 100%

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	4 %	6 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6 %
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	hal.archives-ouvertes.fr Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	pdf4pro.com Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	fontur.com.co Fuente de Internet	<1 %

Índice

Resumen	10
Abstract	11
Introducción.....	12
Revisión de literatura.....	15
Antecedentes	15
Bases Teóricas.....	19
Sub Rasante.....	19
Pavimento.....	19
Suelos Arenosos	20
Estabilización de Suelos.....	21
Bentonita Sódica	22
Clasificación de Suelos	23
Propiedades Fisico-Mecánicas del Suelo	25
Diseño de Pavimento – Método AASHTO 93.....	30
Materiales y Métodos	33
Tipo y nivel de investigación	33
De acuerdo al fin que persigue.....	33
De acuerdo a los datos utilizados	33
Diseño de la investigación.....	33
Población, muestra y muestreo	33
Población.....	33
Muestra.....	33
Muestreo.....	33
Operacionalización de variables	34
Técnicas e instrumentos de investigación	35
Metodologías de Investigación	35

Diagrama de Flujos de Procesos	36
Extracción de Muestras	37
Resultados y discusión	39
Resultados	39
Discusión de resultados.....	60
Conclusiones	65
Recomendaciones	66
Bibliografía	67
Anexos	71
Anexo N°01: Panel Fotográfico.....	71
Anexo N° 02: Resultado de Ensayos de Laboratorio	78

Lista de Tablas

Tabla 1. Categoría de subrasante según valor CBR	19
Tabla 2. Propiedades de la bentonita y arena de duna.....	23
Tabla 3. Clasificación según plasticidad	25
Tabla 4. Tipología del suelo según el tamaño de sus partículas.....	27
Tabla 5. Muestreo del grupo patrón y experimental	34
Tabla 6. Operacionalización de la variable dependiente	35
Tabla 7. Operacionalización de la variable independiente.....	35
Tabla 8. Porcentajes del grupo experimental con su codificación y pesos	35
Tabla 9. Clasificación AASHTO y SUCS para las muestras de arena.....	40
Tabla 10. Clasificación de las muestras con adiciones de 4%, 8%, 12% y 16%	41
Tabla 11. Valores del LL y LP de cada muestra natural y experimental de arena de duna ...	42
Tabla 12. Valores del LL y LP de cada muestra natural y experimental de arena de playa ..	42
Tabla 13. Sales, sulfatos y cloruros para arenas de duna y playa.....	43
Tabla 14. Valores de MDS y OCH para muestra natural y experimental de arena de playa .	44
Tabla 15. Valores de MDS y OCH para muestra natural y experimental de arena de duna ..	46
Tabla 16. Valores de CBR para la muestra patrón y experimental de arena de playa	48
Tabla 17. Valores de CBR para la muestra patrón y experimental de las arenas de duna	49
Tabla 18. Diseño de pavimento convencional usando metodología AASHTO	51
Tabla 19. Diseño de pavimento convencional usando metodología AASHTO	52
Tabla 20. Cuadro resumen de los espesores del pavimento convencional y estabilizado.....	53
Tabla 21. Porcentajes de los agentes estabilizantes a comparar.....	54
Tabla 22. Costo unitario de la estabilización de subrasante con cemento.....	54
Tabla 23. Costo unitario de la estabilización de subrasante con cal	55
Tabla 24. <i>Costo unitario de la estabilización de subrasante con bentonita sódica</i>	56
Tabla 25. Especificación técnica de la bentonita sódica	57
Tabla 26. Valores permisibles de Sales, Cloruros y Sulfatos.....	62

Lista de Ilustraciones

Figura 1. Estructura de un pavimento flexible. Fuente: DGIP [2]	20
Figura 2. Estructura de un pavimento rígido. Fuente: DGIP [2].....	20
Figura 3. Suelos arenosos de duna y playa. Fuente: Zapata [17].....	21
Figura 4. Estabilización con uso de geo sintéticos. Fuente: Soberón [33].....	22
Figura 5. Clasificación SUCS. Fuente: Requejo [6]	24
Figura 6. Clasificación SUCS. Fuente: Requejo [6]	24
Figura 7. Esfuerzo vs Penetración para suelos. Fuente: Escobar [16]	29
Figura 8. Expresión para determinar el número estructural. Fuente: Calle [23].....	30
Figura 9. Número Estructural. Fuente: Calle [23].....	31
Figura 10. Expresión para hallar W18. Fuente: Calle [23]	31
Figura 11. Confiabilidad de acuerdo al tipo de carretera. Fuente: Calle [23].....	31
Figura 12. Valores de S_o , respecto al tipo de pavimento. Fuente: Calle [23].....	31
Figura 13. Valores de p_t , de acuerdo al tipo de carretera. Fuente: Calle [23].....	32
Figura 14. Diagrama de flujo de procesos.....	36
Figura 15. Ubicación del lugar de extracción de arenas de duna.....	37
Figura 16. Proceso de excavación a 1.50m de la muestra de arena.	37
Figura 17. Ubicación del lugar de extracción de arenas de playa.	38
Figura 18. Lugar de extracción de la muestra a 1.50m de terreno.	38

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Curva granulométrica para muestra natural de arena de playa	39
Gráfica 2. Curva granulométrica para muestra natural de arena de duna	40
Gráfica 3. Variación del IP de muestra patrón y experimental	43
Gráfica 4. Variación de la MDS de la muestra patrón y experimental de arena de playa	45
Gráfica 5. Variación del OCH de la muestra patrón y experimental de arena de playa	45
Gráfica 6. Variación de la MDS de la muestra patrón y experimental de arena de duna	46
Gráfica 7. Variación del OCH de la muestra patrón y experimental de arena de duna	47
Gráfica 8. Variación del CBR para la muestra patrón y experimental de arenas de playa	48
Gráfica 9. Variación del CBR para la muestra patrón y experimental de arenas de playa	50
Gráfica 10. Variación del CBR para la muestra patrón y experimental de arenas de duna	50
Gráfica 11. Espesores del pavimento convencional.....	52
Gráfica 12. Espesores del pavimento estabilizado con bentonita sódica	53
Gráfica 13. CBR de arena de duna y CBR de arena de playa	60
Gráfica 14. MDS de arena de duna y MDS de arena de playa.....	61
Gráfica 15. Comparación de costo unitario de estabilizante por m ²	63

Resumen

Los suelos arenosos se presentan como ciertas limitaciones para la construcción, debido a su baja capacidad de soporte y su baja cohesión de los granos. Por esta razón, la presente investigación tiene como objetivo principal el mejoramiento de las propiedades mecánicas en arenas de duna y playa, usando bentonita sódica, para que sean usados en suelos formados por estos materiales.

Para el estudio se utilizó la muestra patrón de arenas de duna y playa, así como la muestra experimental con porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16% de bentonita, donde se realizaron ensayos físicos como Granulometría, Clasificación ZUCS-AASHTO y Límites de plasticidad. También se realizaron ensayos mecánicos como Proctor Modificado, CBR y Expansividad. Como parte de los resultados, el valor de MDS aumentó de 1.642 g/cm³ a 1.999 g/cm³. Asimismo, hubo una mejora de CBR, obteniéndose un aumento de 9.76% a 19.06% para arenas de playa, y 9.65% hasta 19.04% en arenas de duna, siendo para ambos casos el 12% el más óptimo. Por otro lado, se realizó una comparación económica del material, siendo más rentable utilizar bentonita sódica para estabilizar arenas, en comparación con materiales como el cemento y la cal. Asimismo, se realizó el diseño del pavimento convencional con el estabilizado, habiendo una reducción en los espesores del pavimento, permitiendo una mejora en los costos del proyecto. Finalmente, se proporcionó especificaciones técnicas para el uso de la bentonita sódica en mejoramiento de subrasantes, desde su dosificación hasta el proceso constructivo.

Palabras clave: Arenas de Duna, Bentonita, California Bearing Ratio, Subrasante

Abstract

Sandy soils present certain limitations for construction, due to their low bearing capacity and low grain cohesion. For this reason, the main objective of this research is to improve the mechanical properties of dune and beach sands, using sodium bentonite, to be used in soils formed by these materials.

For the study, the standard sample of dune and beach sands was used, as well as the experimental sample with percentages of 4%, 8%, 12% and 16% of bentonite, where physical tests such as Granulometry, ZUCS-AASHTO Classification and Plasticity Limits were carried out. Mechanical tests such as Modified Proctor, CBR and Expansivity were also performed. As part of the results, the MDS value increased from 1.642 g/cm³ to 1.999 g/cm³. Likewise, there was an improvement in CBR, obtaining an increase from 9.76% to 19.06% for beach sands, and 9.65% to 19.04% in dune sands, with 12% being the most optimal in both cases. On the other hand, an economic comparison of the material was made, being more profitable to use sodium bentonite to stabilize sands, compared to materials such as cement and lime. Likewise, the design of the conventional pavement with the stabilized one was carried out, having a reduction in the pavement thicknesses, allowing an improvement in the costs of the project. Finally, technical specifications were provided for the use of sodium bentonite in subgrade improvement, from its dosage to the construction process.

Keywords: Sandy Soils, Bentonite, California Bearing Ratio, Subgrade

Introducción

La construcción es un sector que ha venido creciendo exponencialmente debido al incremento de la población. Edificios, carreteras, centros de salud y colegios, son solo parte de un sinnúmero de construcciones necesarias para el desarrollo de una ciudad. Sin embargo, según un informe hecho por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en nuestro país presenta una participación del 32.82% en el rubro de Transportes y Comunicaciones y 33 millones de inversión anualmente, mucho más que otros sectores [1]. Esto se ha visto reflejado en como muchos proyectos de infraestructura vial que forman parte del portafolio anual del Estado Peruano. Asimismo, el Perú se ha visto impulsado por la inversión privada que le ha permitido ejecutar estos proyectos de gran envergadura. De la misma manera, el ultimo registro hecho por el BID afirma que se tiene un inventario nacional de 168,473.06 km de carreteras, el cual solo 16% este pavimentado. Además, la cifra de PBI anual incrementó a 1.2% en carreteras, lo cual permitió la inversión de dichos proyectos [2]. Debido a ello, el reto de los ingenieros proyectistas es la continuidad en la elaboración de proyectos viales y aprovechar la inversión que el estado peruano tiene destinado para ello.

Sin embargo, uno de los parámetros importantes dentro de la elaboración de un expediente técnico de proyecto vial es encontrar un suelo natural resistente y con características óptimas para soportar las solicitaciones que la carretera requiera, lo cual sigue siendo una utopía. No obstante, existen técnicas que mejoran las propiedades del suelo, tanto física como mecánicas, en la que se utilizan adiciones, tales como el cemento o yeso; o el reemplazo total con un suelo más resistente [3]. Un estudio reciente realizado por el SENAMHI, afirma que el departamento de Lambayeque se considera como una zona hiper árida y xérica en donde abundan suelos arenosos con un régimen de aridez del 46.7%. Asimismo, estos suelos son predominantes en toda la franja costera del Perú lo cual representa el 25.5% del territorio nacional, y es donde reside más del 60% de la población [4]. Esto trae en consecuencia un problema al momento de diseñar una carretera, ya que estos suelos poseen baja capacidad resistente y, su característica granular y no cohesivo, lo convierte en un material no idóneo para soportar solicitaciones de carga para la cual es diseñada una carretera. Debido a eso, la importancia de conocer técnicas y materiales para mejorar las propiedades de estos suelos es imprescindible y permitirá el desarrollo de las ciudades costeras del Perú.

Por otro lado, existen lugares donde la predominancia de suelos arenosos no resulta ser un problema para el diseño de carreteras. Un claro ejemplo es el desierto de Kalahari, el cual se extiende por Botsuana, Namibia y todo el sur de África, donde predomina la arena roja y la arena costera, que son utilizadas como capa base para el diseño de carreteras de poco tráfico. A pesar de que estas arenas en estado natural, no cumplen las especificaciones para una carretera, se han logrado grandes resultados en Bostwana, Malawi, Sudáfrica, Malasia e incluso en otras partes del mundo como lo es Australia y Brasil [5]. Asimismo, estos países han demostrado que el uso de las arenas no solo se limita como parte de una sola capa del pavimento, sino que además puede usarse en todas las capas que lo conforman. Sin embargo, los elevados costos que trae consigo tratar la arena para otorgarle las propiedades que una subrasante o base necesita puede ser el talón de Aquiles de muchos proyectistas. Algo similar sucedió en el ámbito nacional, en la Construcción de la Vía Evitamiento Piura - Panamericana Norte, donde se invirtió más de 666,569.08 soles para el mejoramiento del suelo, reemplazando el suelo arenoso por otro material como el over y hormigón. En cambio, las experiencias de Botsuana y Sudáfrica dan conocimientos a que no se necesita reemplazar la arena, sino saber seleccionarla, mejorarla y ensayarla de manera correcta [5].

Una técnica muy común dentro del diseño de carreteras es la estabilización del suelo, siendo la estabilización química la más común, y es capaz de proporcionar una mejora en las propiedades del suelo. Esta metodología precisa de un material estabilizante, que, al ser agregado al suelo, pueda mejorar sus propiedades tanto físicas como mecánicas. La elección de este material depende de las propiedades del material y el costo que se tiene destinado para dicho proceso. Uno de los estabilizantes más usados ha sido el cemento, el cual otorga una alta resistencia y rigidez al pavimento, y es idóneo cuando se quiere obtener valores de deflexión muy bajos. Un ejemplo es una autopista de 25km entre Artesia y Dibete, en Botsuana, donde se estabilizó las arenas con 3% de cemento y ha funcionado por más de 25 años [5]. Asimismo, otro estabilizante conocido es la cal, que, al reaccionar con la sílice, típico de las arenas, esta puede producir una reacción que permita mejorar sus propiedades. Entre otros, tenemos cenizas volantes, puzolanas, asfalto que también son conocidos en el mercado de la estabilización. Por otro lado, existen investigaciones donde se utilizan materiales más naturales y eco amigables, como lo son *Oryza Sativa* o residuos de bivalvos, los cuales han resultado mejorar las propiedades mecánicas de los suelos arenosos y arcillosos [6]. Estos últimos siguen siendo tema de estudio ya que permite reducir también la brecha de contaminación y un uso adecuado de recursos naturales.

Sin embargo, la elección del material estabilizante idóneo para las arenas debe radicar en su abundancia de partículas cohesivas, como son los limos y arcillas, capaces de proporcionarle cohesión a la mezcla permitiendo estructuras más sólidas y no colapsables. Uno de estos materiales es la bentonita, el cual su uso se limita a la ingeniería minera y permite darles estabilidad a las paredes en perforaciones petrolíferas [7]. Debido a que la bentonita tiene mejores propiedades de cohesión y trabajabilidad en comparación con el cemento, es mucho más atractivo utilizarlo para la estabilización de suelos. Asimismo, este material puede clasificarse en bentonitas sódicas y cálcicas, siendo las primeras con mucha más capacidad de adsorción e hinchamiento [7]. Es por eso, que su uso no solo podría significar una mejora en las propiedades mecánicas de los suelos arenosos, sino además en una reducción de costos en la formulación de proyectos viales, en comparación con otros estabilizantes. Cabe resaltar que el uso de arenas como material de subrasante, gracias a las experiencias de los países africanos, pueden ser diseñadas para cargas de tráfico en carreteras de tercer o segundo orden.

Por lo anteriormente mencionado, se desprende la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo influye la adición de bentonita sódica en la mejora de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa para su uso en subrasantes que están compuestas por las mismas? Para esta investigación, la hipótesis planteada es que la utilización de bentonita sódica en proporciones de 4%, 8%, 12% y 16% mejora las propiedades mecánicas de las arenas y así éstas pueden utilizarse en subrasantes de suelos que las conforman.

Debido a ello, el objetivo general es evaluar el mejoramiento de las propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras. Asimismo, para el cumplimiento de dicho objetivo general, se estableció los siguientes objetivos específicos que siguen la línea principal de investigación: (1) determinar la influencia de la adición de bentonita del 4%, 8%, 12% y 16% para mejorar la capacidad resistente del suelo en las arenas de duna y playa; (2) determinar la influencia de la adición de bentonita del 4%, 8%, 12% y 16% para mejorar la máxima densidad seca en las arenas de duna y playa; (3) evaluar el costo en la partida de Estabilización de Suelos usando la bentonita sódica en comparación con otro material estabilizante; (4) proponer el diseño de un pavimento usando los datos obtenidos de los ensayos, usando la metodología AASHTO 93 y como subrasante las arenas de duna y playa y; (5) elaborar una memoria de Especificaciones Técnicas sobre el uso de la bentonita sódica con su porcentaje óptimo para la estabilización de subrasantes.

Gracias a los objetivos anteriormente planteados, se logrará demostrar que las arenas de duna y playa pueden mejorar sus propiedades mecánicas y ser utilizadas en suelos de subrasante. Es por ello que esta investigación es muy importante dentro de la ingeniería de materiales, ya que como parte del desarrollo es encontrar nuevos materiales que cumplan las mismas propiedades mecánicas que los convencionales.

Ambientalmente, tiene como finalidad reducir la brecha de extracción de materiales convencionales como el afirmado y el over como estabilizante para subrasante, ya que la bentonita sódica sugiera que pueden usarse las arenas en suelos donde las conforman, al mejorarse sus propiedades mecánicas. Económicamente, el uso de la bentonita sódica en comparación con el cemento como material aditivo, es mucho más económico su uso en obras de construcción. Asimismo, se potenciará la demanda de la bentonita sódica y que sus aplicaciones no se limiten a usos netamente geotécnicos, como la extracción de crudo. Técnicamente, permitirá a futuros proyectistas poder diseñar carreteras sobre este tipo de arenas y en ausencia de canteras o lechos de ríos de donde se pueda extraer materiales pétreos convencionales, plantear el uso del material in situ como son las arenas de duna y playa.

Revisión de literatura

Antecedentes

El estudio del mejoramiento de las propiedades de las arenas no es un tema reciente. Elsayy [8] por ejemplo tenía como objetivo principal demostrar que la adición de arenas a las arcillas tenía un efecto notorio en las propiedades mecánicas de las mismas, como parte de una técnica de mitigación para suelos expansivos. La variación de arena fue de 0 a 50% y las mezclas fueron estabilizadas con 10% de cal. Se realizaron ensayos de compactación (método AASHTO), hinchamiento y resistencia en cada una de las mezclas. Los resultados obtenidos fueron que la mezcla de arena de duna con la arcilla expansiva reducía la presión de hinchamiento, y en consecuencia su potencial, a un tercio con el porcentaje de 50% de arena. Asimismo, en la mezcla con cal provocó que el potencial y la presión de hinchamiento se suprimieran con el porcentaje de 50% de arena y 10% de cal. Sin embargo, tuvo un efecto negativo en la resistencia, ya que el valor de CBR y UCS disminuyeron cuando se aumentaba el porcentaje de arena. Cuando esta se mezclaba con cal, estos valores aumentaban, pero después de 8 días de curado. Esto se debió a la reacción química que tuvo la arena de duna con la arcilla y la cal.

De la misma manera, otra investigación reciente evaluó la adición de un material residual como es la ceniza de la cascarilla de arroz y como este puede mejorar las propiedades de suelos

arenosos [6, p. 11]. Las dosificaciones utilizadas fueron de 3%, 5%, 7% y 9% de ceniza, y se evaluaron a través de ensayos físicos como Granulometría, Clasificación de Suelo y Plasticidad; así como ensayos mecánicos como Proctor Modificado y CBR. Las muestras que corresponden al muestreo natural obtuvieron un contenido de humedad del 0.55% y una clasificación SUCS como SP. Además, en los ensayos de resistencia o CBR se obtuvo valores promedio del 22.47% y su máxima densidad seca de 1.69 g/cm³. Con la adición de los porcentajes mencionados de ceniza de arroz, los resultados de CBR aumentaron en 23.30%, 24.87%, 25.50% y 22.93% respectivamente, lo cual denota que la hipótesis planteada de mejora de propiedades mecánicas en arenas es correcta.

En esa misma línea, Proia *et al.* [9] también evaluó las propiedades mecánicas de la mezcla de arenas y bentonita cuando estas son compactadas, con diferentes porcentajes de bentonita de 5%, 7%, 10%, 20%, 30%, 50%, 70% y 100% respectivamente. Se realizaron ensayos de Compactación, CBR y ensayo de permeabilidad. Los resultados que se obtuvieron fueron: (1) Los porcentajes del 5-7% de bentonita pueden influir en el límite líquido de la mezcla, pero no en el límite plástico; (2) Para porcentajes menores de 5% de BC, su compresibilidad es casi similar al de la arena y su conductividad hidráulica es menor; (3) En porcentajes mayores a 5%, la mezcla es más compresible y esto mejora sus propiedades mecánicas como es la capacidad de soporte. Los autores concluyen que el comportamiento más complejo se observa en 10% y 60% de contenido de bentonita.

Por otro lado; no solo la adición de un material arcilloso tiene un efecto positivo en los suelos arenosos, tal como lo demuestra Wayal *et al.* [10] donde plantea el uso de la bentonita y cal en la estabilización de arenas de dunas y como pueden ser utilizadas en la ingeniería geotécnica. Asimismo, se entendía que la bentonita que se añadía ayudaría a crear una unión cohesiva en la mezcla. Las mezclas utilizadas fueron con adición de 5%, 10% y 15% de bentonita y 1%, 2% y 3% de cal, a las cuales se realizaron ensayos de compactación y compresión no confinada. Los resultados mostraron que los máximos valores de resistencia se obtuvieron con 15% de bentonita y 3% de cal, mientras que los valores mínimos se obtuvieron con 5% de bentonita y 1% de cal. Se recomienda no aumentar el contenido de bentonita, ya que esto provocaría una mezcla pegajosa.

Asimismo, Fattah *et al.* [11] pretendía evaluar el comportamiento de la mezcla de bentonita-arena (BeS) y caolín ante el cambio de contenido de agua y como afectaba a las propiedades mecánicas del suelo. Se utilizó un modelo a escala para mostrar el efecto que tiene el porcentaje de agua, con valores cercanos obtenido dentro de la curva de compactación. Para dicha experimentación se realizaron ensayo de granulometría, succión, Proctor Modificado y CBR. Los resultados que se obtuvieron fueron: (1) la succión disminuye en relación al contenido de humedad, debido al proceso de humectación; (2) la mezcla de **BeS** absorbe más agua que el caolín, debido al elevado contenido de montmorillonita en la bentonita; (3) El asentamiento del suelo aumenta en relación al grado de saturación, ya que reduce su capacidad de deformación en el suelo; (4) la mezcla **BeS** se asienta mucho más debido a su alta absorción de agua; y (5) la succión disminuye con el tiempo transcurrido, donde tardó 2 días para disminuir de 60kPa a 20kPa.

Sin embargo, el efecto positivo de la bentonita no radica solo en la mejora de sus características mecánicas. Oluwapelumi *et al.* [12] decidió evaluar también las características hidráulicas de la mezcla de arena con bentonita para usarse como revestimiento en vertederos. Dentro de su investigación, se utilizaron porcentajes de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de bentonita. Los ensayos realizados fueron ensayo de compactación, ensayo de cizallamiento directo, CBR y ensayo de conductividad hidráulica. Dentro del ensayo de conductividad, se pusieron los especímenes en agua por 48 horas. Los resultados obtenidos fueron: (1) la adición del 8% de bentonita a la arena fue el porcentaje óptimo para la mejora de la conductividad hidráulica, con un valor de $3,2 \times 10^{-8}$ cm/s en comparación con 1×10^{-7} cm/s para muestra natural; (2) el valor de CBR tuvo una mejora con el 8% de bentonita, alcanzando un valor de 23.89%, asimismo que la cohesión y el ángulo de fricción fue de 250 kN/m³ y 20° respectivamente. Se concluyó que el 8% de bentonita mejoraba las propiedades mecánicas e hidráulicas de las arenas, así como que la adición no era la única responsable de los cambios en sus propiedades.

Del mismo modo, Chalermyanont *et al.* [13] en su investigación tenía como objetivo evaluar las mezclas de arena y bentonita para ser usadas como revestimiento de contención hidráulica, donde se experimentó con diferentes porcentajes de 0%, 3%, 5%, 7% y 9% de bentonita. Los ensayos que se realizaron fueron: ensayo de Granulometría, ensayo de Compactación o Proctor, cizallamiento directo y conductividad hidráulica. Cabe resaltar que se tomaron especímenes bajo inundación y especímenes sin inundación. Los resultados obtenidos fueron: (1) El peso unitario seco disminuye y el contenido de humedad aumenta con la adición de bentonita de 0 a 9%, donde tuvo un cambio de 19.47 a 18.26 kN/m³ y de 9% a 12% en el MDS y OCH

respectivamente; (2) el ángulo de fricción de la muestra experimental disminuyó de 49° a 22° en los especímenes inundados; (3) la conductividad hidráulica disminuyó con el aumento de la bentonita, especialmente cuando se utiliza contenidos mayores a 5%; (4) el poder de hinchamiento se relaciona con la conductividad hidráulica, ya que a medida que aumenta el hinchamiento disminuye la conductividad; (5) la normativa indica que la conductividad hidráulica para revestimientos debe ser inferior a 10^{-7} cm/s, por lo que el contenido óptimo sería del 3% de bentonita

No obstante, otra investigación analizó las características de resistencia y compactación de las mezclas de arena, bentonita y cenizas de carbón para que sean usadas en muros de contención y como revestimiento en vertederos [14]. Se utilizaron porcentajes variables de los tres materiales: arena (55-95%), bentonita (5-20%) y ceniza de carbón (10-80%) respectivamente. Para la experimentación se realizó ensayos de granulometría, plasticidad, Proctor Modificado y ensayo de compresión no confinada. Los resultados obtenidos fueron: (1) el contenido de humedad aumenta en relación al contenido de bentonita y ceniza de carbón, mientras que la densidad seca disminuye especialmente en la proporción de 5 a 40% de bentonita; (2) las relaciones de arena-bentonita y arena-cenizas satisfacen las relaciones estadísticas proporcionadas por Kaniraj y Havanagi con un error máximo de 1kn/m³; (3) el módulo tangente inicial y el módulo secante se obtuvo gracias al gráfico esfuerzo vs deformación con valores mayores para la proporción 40% de arena, 10% de bentonita y 50% de ceniza de carbón.

Finalmente, se analizó también el uso de la bentonita junto con la cal para la fabricación de adobes y poder analizar sus propiedades mecánicas [15]. Para esta investigación se utilizó la prensa hidráulica para hallar la resistencia mecánica y el módulo de rotura de los adobes estabilizados. El número total de adobes experimentados fueron 168 y se realizó bajo las especificaciones de la norma peruana E 080. Los resultados que se obtuvieron demostraron que la adición de bentonita brindaba mejor aumento en la resistencia a la compresión que la adición de cal, con un incremento de 25.11 kg/cm² y 29.58 kg/cm² usando un 15% de bentonita, en comparación con 12.12 kg/cm² y 17.06 g/cm² usando solo la misma dosificación de cal. Para el ensayo de flexión, se obtuvo mejores resultados con el 15% de bentonita sódica, con 15.32 kg/cm² y 15.63 kg/cm². Asimismo, se concluyó que dicha dosificación de bentonita era la más óptima para mejorar las propiedades de los adobes y si se quiere trabajar con la adición de cal, deberá optarse con dosificaciones mayores al 15%.

Bases Teóricas

Sub Rasante

Se define como la superficie donde se colocará la estructura del pavimento, es decir, las capas que lo componen. Por esa razón, la sub rasante recibirá todas las cargas provenientes de los vehículos, por lo cual debe ser de un material capaz de resistir dichas cargas [16]. Un parámetro característico de la sub rasante es su capacidad resistente, que se mide gracias al ensayo de CBR, el cual es un valor de la resistencia del suelo y se toma al 95% de la MDS según el ensayo de Proctor Modificado. Asimismo, los valores de CBR determinarán la categoría del suelo y, en consecuencia, el tipo de material más óptimo para resistir esas solicitaciones de carga [16].

Tabla 1.

Categoría de subrasante según valor CBR

Categoría de Sub rasante	CBR
Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
Sub rasante insuficiente	De CBR \geq 3% a CBR < 6%
Sub rasante regular	De CBR \geq 6% a CBR < 10%
Sub rasante buena	De CBR \geq 10% a CBR < 20%
Sub rasante muy buena	De CBR \geq 20% a CBR < 30%
Sub rasante excelente	CBR \geq 30%

Nota: Escobar et.al [16]

Como muestra la figura 1, los valores de CBR menores a 3% no son aptos para soportar las solicitaciones de carga. Sin embargo, si el valor de CBR es menor a 6%, podría realizarse un mejoramiento o estabilización del suelo, según sea su naturaleza.

Pavimento

Un pavimento se define como una estructura compuesta de capas que se apoya en la sub rasante con el fin de resistir y distribuir los esfuerzos originados por la carga vehicular para la cual fue diseñada [2]. Asimismo, el término puede relacionarse como asfalto o capa de rodadura en algunos países. La clasificación de pavimento es según el material usado en la capa de rodadura y estos pueden ser *Pavimento rígido o pavimento flexible*.

- **Pavimento Flexible:** Se define como una estructura constituida por una capa de rodadura sobre dos capas inferiores llamadas base y sub-base, que particularmente su material es de característica granular, las cuales están apoyadas sobre suelo compactado, llamado *sub-rasante*. La capa de rodadura suele ser material bituminoso, mortero asfáltico o micro pavimentos [2].

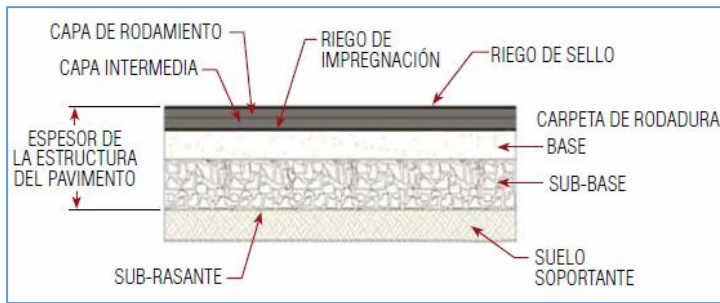


Figura 1. Estructura de un pavimento flexible. Fuente: DGIP [2]

- **Pavimento Rígido:** En comparación con el pavimento flexible, este posee una superficie de concreto, elaborada con cemento hidráulico, la cual se apoya sobre las capas inferiores y estas a su vez, sobre la sub rasante [2].



Figura 2. Estructura de un pavimento rígido. Fuente: DGIP [2]

La diferencia de ambos tipos radica en la manera en cómo transmiten la carga vehicular a la sub rasante. La rigidez de la losa de concreto permite distribuir las cargas sobre un área mayor, transmitiendo así presiones bajas a las capas. Sin embargo, el pavimento flexible es más deformable y transmite las cargas de manera más concentrada y usa menos área de apoyo. Es la razón por la cual requiere más capas que el pavimento rígido, para resistir la transmisión de cargas

Suelos Arenosos

Un suelo arenoso se define como un suelo granular con diámetro de partículas de 0.5 a 2mm y debido a eso aumenta el espacio de los poros entre las partículas. Su composición proviene principalmente de la meteorización de rocas silíceas, en forma de cuarzo, y el resto dependerá de la procedencia de la arena [5]. Asimismo, estas partículas no presentan cohesividad, así como plasticidad debido a la ausencia de partículas finas. En el país peruano, existen abundancia de arenas especialmente en la zona costera, donde el clima se considera semicálido y muy árido, lo cual hace propenso a suelos arenosos [4]. De la misma manera, las arenas son erosionadas fácilmente por el viento y por el agua, así como su resistencia es muy baja.

- ❖ **Arenas de Duna:** Estas partículas son mucho más finas y redondeadas debido al proceso de erosión que ocasiona el viento. Asimismo, el viento tiende a separar los granos pequeños, permitiendo que su gradación sea más clasificada. Por otro lado, el desarrollo de vegetación es muy común en estos suelos [17]. Las principales componentes son cuarzo (70%), feldespato (15%) y otros minerales (15%).
- ❖ **Arenas de Playa:** Estas arenas presentan partículas más angulares, ya que están son arrastradas desde los lechos y fondo de los ríos que tienen como disposición final el lecho marino. Las principales componentes son cuarzo (50%), feldespato (45%) y otros minerales (5%). Asimismo, los porcentajes de micas son más significativas que en las arenas de duna [18]. De la misma manera, las arenas de playa presentan más humedad que las arenas de duna, debido a la influencia de las corrientes de agua del mar.



Figura 3. Suelos arenosos de duna y playa. Fuente: Zapata [17]

Estabilización de Suelos

La estabilización es el mecanismo por el cual se mejora las propiedades mecánicas, físicas o químicas de un suelo mediante la incorporación de productos químicos o naturales. Dicha técnica tiene como objetivo brindar capacidad resistente al suelo y asegurar la vida útil del proyecto que se va a ejecutar [16]. Asimismo, las recomendaciones que se tienen para escoger el tipo de estabilización a escoger dependerán de factores como las características de suelo, la tipología del aditivo a usar, la experiencia del profesional responsable, el equipo necesario y el método más económico. La estabilización puede ser de dos maneras:

a) Estabilización Mecánica y Física

Su característica principal radica en no modificar la estructura o composición química del suelo a estabilizar y por medio de la compactación, reduce el porcentaje de vacíos del suelo y ayuda a disminuir la permeabilidad [16]. Los tipos de estabilización mecánica y física son:

- ❖ Mezcla de suelos: Se combina el material existente del suelo con otro material, para mejorar las propiedades de la subrasante. Un claro ejemplo puede ser el hormigón o afirmado.
- ❖ Sustitución de suelos: Cambiar el material existente por material con mejores propiedades mecánicas que cumpla con las sollicitaciones requeridas.
- ❖ Uso de geo sintéticos: Se utilizan geomallas para mejorar la resistencia a la tracción que son ocasionados por los vehículos y, la capacidad resistente del suelo.



Figura 4. Estabilización con uso de geo sintéticos. Fuente: Soberón [33]

b) *Estabilización Química*

Su particularidad radica en añadir un producto químico al material natural de suelo, así modificando la estructura química interna o creando una cohesión fuerte entre las partículas. Algunos métodos de estabilización son los siguientes:

- ❖ Estabilización con Cal: La cal utilizada es la conocida como cal viva, derivada de la calcinación de hidróxido de calcio. Este procedimiento es común para suelos finos, y su porcentaje varía entre 2 y 8% de su peso [19]. Necesita un IP mínimo de 10% para que suceda la acción puzolánica y permita la aglomeración de las partículas.
- ❖ Estabilización con Cemento: El proceso de curado y compactación son importantes, dando como resultado un material con mayor resistencia. Este procedimiento es común para suelos granulares y suelos finos de baja plasticidad. Se recomienda que se utilice una dosificación de acuerdo a la clasificación del suelo [19].

Bentonita Sódica

La bentonita está compuesta por montmorillonita, un mineral de partículas pequeñas y considerado como parte de los silicatos de aluminio. Presenta otros minerales como son cuarzo, feldespato, mica y caolín. Su característica principal es la capacidad de hincharse y aumentar su volumen en contacto con el agua [20]. Esto se relaciona con la capacidad de absorber altas

cantidades de agua y el intercambio catiónico que provoca el mineral, a lo que se le llama propiedades coligativas. Asimismo, tiene un color iridiscente con una transparencia vítrea o blanca. Dentro de la clasificación tenemos dos tipos:

- *Bentonitas Altamente hinchables o Sódicas*: Su particularidad es que contiene iones de sodio principalmente. Este tipo de bentonita es conocida por que puede hincharse por lo menos 5 veces su volumen e incluso hasta 4 veces más que la bentonita cálcica [21]. Su uso común radica en la minería petrolera, como estabilizante en lodos de perforación. Asimismo, presenta una alta durabilidad y resistencia al calor.
- *Bentonitas poco hinchables o Cálcicas*. Se constituye básicamente de iones de calcio y en comparación con las sódicas no poseen una gran capacidad de hinchamiento. Esta bentonita presenta una menor capacidad resistente y puede colapsarse con facilidad [21]. No obstante, este tipo de bentonita es la más abundante que la sódica. Su uso radica en elaboración de pastas cerámicas.

Tabla 2.

Propiedades de la bentonita y arena de duna

Property	Dune sand	Bentonite
Specific Gravity	2.67	2.40
Atterberg's limits		
Liquid limit %	-	86 to 89
Plastic limit %	-	39 to 41
Shrinkage limit	-	8.2 to 14.5
Grain size distribution		
Fine sand %(0.075 to 0.2 mm)	98	4.5 to 8
Silt % (0.075 to 0.002 mm)	2	12 to 16
Clay % (Less than 0.002 mm)	-	12 to 16
In situ density		-
Maximum dry density	1.60 g/cc	-
	1.65 g/cc	1.4 to 1.44 g/cc
Optimum moisture content		
IS classification of soil	11.0 %	20.5 to 26 %
		CH

Nota. Wayal [10]

Clasificación de Suelos

Un suelo se define como un conjunto de sustancias sólidas, tal como son la materia orgánica y minerales, así como de agua y aire. Algunos minerales que lo conforman pueden provenir de la descomposición física y química de rocas. [6]. Por otro lado, existen sistemas estandarizados que permiten clasificar los suelos de acuerdo a la distribución de sus granos, su plasticidad o la cantidad de partículas cohesivas, y su textura. Los sistemas más conocidos son los sistemas AASHTO y SUCS.

A) CLASIFICACIÓN AASHTO

Este sistema se clasifica a través de grupos y subgrupos, de acuerdo a su granulometría y plasticidad, y se pueden visualizar en la siguiente tabla:

Clasificación General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ($> 35\%$ Bajo 0,08 mm)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				36			
W _L				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5: IP \leq (W _L - 30)					** A-7-6: IP $>$ (W _L - 30)					
	Si el suelo es NP \rightarrow IG = 0; Si IG $<$ 0 \rightarrow IG = 0										

Figura 5. Clasificación SUCS. Fuente: Requejo [6]

B) CLASIFICACIÓN SUCS

La clasificación SUCS se compone a través de grupos con símbolos, prefijos y sufijos, que le otorgan una característica al suelo, en relación a su granulometría y plasticidad [6]. A continuación, se muestra la definición de cada prefijo y sufijo que se utiliza en esta metodología:

- ❖ Suelos Granulares: Dentro de este grupo se encuentran los suelos que pasan menos del 50% por el tamiz N°200. Los sufijos son **G**, para suelos con grava, y **S** para suelos con arenas [6].
- ❖ Suelos Finos: A este grupo pertenecen los que pasan más del 50%. Los sufijos son **M**, cuando posee partículas limosas, y **C** cuando son suelos orgánicos [6].
- ❖ Por otro lado, se utilizan sufijos como **W** (Bien graduado), **P** (Pobrementemente graduado), **L** (Limite Liquido Alto) y **H** (Limite Liquido Bajo) para clasificar los suelos.

SÍMBOLO	Características generales		
GW	GRAVAS (50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos 5%)	Bien graduadas
GP			Pobrementemente graduadas
GM		Con finos (Finos 12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos 5%)	Bien graduadas
SP			Pobrementemente graduadas
SM		Con finos (Finos 12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL 50)	
MH		Alta plasticidad (LL 50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL 50)	
CH		Alta plasticidad (LL 50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL 50)	
OH		Alta plasticidad (LL 50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Figura 6. Clasificación SUCS. Fuente: Requejo [6]

Propiedades Fisico-Mecánicas del Suelo

1. PLASTICIDAD

Esta propiedad se considera como el porcentaje mínimo de humedad que necesita un suelo para ser estable, sin romperse hasta cierto punto. Asimismo, esta pueda variar de acuerdo al porcentaje de agua, mientras más agua posea, menor será la interacción entre sus partículas [19]. Dicha variación es típica de los suelos finos, más no de suelos granulares, ya que estos poseen partículas cohesivas como son las arcillas y limos. Además, las cantidades de agua y los puntos de transición del suelo son conocidos como límites de Atterberg: Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP). Su diferencia es conocido como el índice de plasticidad (IP) [6].

Debido a eso, el LL es el porcentaje de humedad (%) a partir del cual un suelo puede comportarse como un líquido viscoso. Mientras que el límite plástico es el porcentaje de humedad a partir del cual un suelo se comporta como un sólido. Ambos valores son hallados a través del ensayo de Casagrande, en donde dicho procedimiento está estipulado en la norma NTP 339.129.

Tabla 3.

Clasificación según plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0 N	No plástico (NP)	Suelos extentos de arcilla

Nota. Requejo [6]

Ensayo de Límite Líquido – ASTM D423

Equipo y Materiales:

- Copa de Casagrande
- Espátula de hoja flexible (75-100mm)
- Recipiente para mezcla de material
- Balanza calibrada
- Recipiente para hallar la humedad
- Horno con temperatura de 110°C

Procedimiento:

- Se deja secar una muestra representativa por 24 horas.

- Luego del secado, se pasa la muestra por la malla N°40 y se toma 100gr de la pasante.
- Se coloca en el recipiente y agregamos agua hasta darle una consistencia de tal forma que cierre la ranura al cabo de 15 a 35 golpes. Todo se hace en la copa de Casagrande.
- Procedemos a calibrar la Copa de Casagrande, colocando la cuchara en su máxima elevación, 1cm aproximadamente de la base.
- Se coloca la muestra saturada en la cuchara y se esparce sobre ella, obteniendo una profundidad de 1cm.
- Con la ayuda de un acanalador, se realiza una ranura en toda la línea central de la muestra.
- Se gira la manivela y se anota los golpes necesarios hasta que la ranura se haya cerrado.
- Una vez logrado el objetivo, se toma la parte próxima de la muestra donde se cerró la ranura y se coloca en un recipiente para ser llevada al horno.
- Se toma la muestra sobrante y se realiza el mismo procedimiento, adicionándole un poco más de agua. Realizar al menos 2 muestras más.
- Después de 24 horas, se retira las muestras del horno y se pesan para calcular su humedad.
- En un papel semilogarítmico, se colocan los datos obtenidos en un plano cartesiano donde las ordenadas representan el porcentaje de humedad y las abscisas la cantidad de golpes. El Límite Líquido se calcula de la siguiente manera:

$$L.L = W * \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Donde: N = Golpes cercanos a 25 ; W = Contenido de Humedad

Ensayo de Límite Plástico – ASTM D424

Equipo y Materiales:

- Placa de vidrio no absorbente
- Espátula de hoja flexible (75-100mm)
- Balanza calibrada y Horno con temperatura de 110°C
- Tara para hallar la humedad

Procedimiento:

- De las muestras sobrantes del ensayo anterior, se toma parte de ella para llevar a cabo este procedimiento. Se recomienda hacer para cada humedad realizada.
- Se hace rodar la muestra con los dedos en la placa de vidrio, hasta que está presente fisura de 3.2mm. Una vez reunido varios pedazos de muestras fisuradas, se coloca en la tara y se lleva al horno.

- Después de 24 horas, se retira las muestras del horno y se pesan para calcular su humedad.

El índice de plasticidad se hallará una vez hallado ambos límites de la muestra obtenida, el cual se representa con la siguiente fórmula:

$$I.P = L.L - L.P$$

Donde: *L.L* = Límite Líquido de la muestra ; *L.P* = Límite Plástico de la muestra

2. GRANULOMETRIA

El análisis granulométrico tiene como objetivo en clasificar por tamaños los granos de un suelo y gracias a ello, nos da una idea de las propiedades que el suelo tratado pueda tener. Para determinar dicho procedimiento se realiza el ensayo de Granulometría, donde la metodología se encuentra estipulada en la norma ASTM D 422.

Tabla 4.

Tipología del suelo según el tamaño de sus partículas

Tipo de material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm – 4.75 mm
	Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
Arena	Arena media: 2.00mm – 0.425mm
	Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Limo	0.075 mm – 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota. Requejo [6]

Ensayo de Granulometría por Tamizado – ASTM D422 / MTC E 107

Equipo y Materiales:

- Dos balanzas: Una para pesar kilogramos y otra para pesar gramos.
- Juego de tamices (3”, 1 ½”, ¾”, 3/8”, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200)
- Recipiente para colocación de muestras
- Cepillo y brocha
- Horno con temperatura de 110°C

Procedimiento:

- Se deja secar una muestra representativa por 24 horas.

- Una vez seca la muestra, se toma 1000 gr de la misma para realizar la granulometría.
- Los tamices son colocados, desde el tamiz 3” hasta el tamiz N°200, o aquellos que sean necesarios según el tipo de muestra o la especificación del ensayo.
- Para el tamizado manual, se mueven los tamices de un lado a otro haciendo circunferencia de tal manera que mantenga un movimiento constante. Se debe asegurar que no quede muestra impregnada en los tamices, caso contrario utilizar el cepillo y la brocha.
- Una vez terminado el proceso, se coloca las muestras retenidas en las taras correspondientes y se pesa. Se realiza lo mismo para cada una de los tamices, determinando el peso de cada fracción.
- Finalmente se traza la curva granulométrica (semilogarítmica), donde el eje de las ordenadas es el porcentaje que pasa por la malla y las abscisas la abertura de las mallas.
- Una vez dibujada la curva, podemos determinar los valores o coeficientes necesarios para la clasificación del material, como lo es el coeficiente de curvatura (**Cc**) y el coeficiente de uniformidad (**Cu**).

3. COMPACTACIÓN DEL SUELO

La compactación de un suelo se entiende como el procedimiento de aplicar energía a un suelo a través del prensado de las partículas para que puedan estar más cercanas entre sí. Este proceso permite reducir el índice de poros, y, en consecuencia, un aumento en su capacidad de soporte [22]. Para que esto suceda dependerá del tipo de suelo y el porcentaje de humedad que esté presente. Asimismo, la energía de compactación influye en que tan compacto sea este material, y debido a eso existen dos tipologías del ensayo de Proctor.

Ensayo Proctor Modificado – ASTM D1557 / MTC E 115

Equipo y Materiales:

- Molde de 100 o 150cm (De acuerdo al método elegido)
- Pisón o Martillo $73.7 \pm 0.5\text{mm}$
- Probetas graduadas con 500 cm³ de capacidad
- Dos balanzas: Una para pesar kilogramos y otra para pesar gramos.
- Regla de acero
- Horno con temperatura de 110°C
- Recipiente y herramientas para mezclado de muestra

Procedimiento:

- Determinar el método que se utilizará para el ensayo A, B y C.
- Para este ensayo se deberá usar una muestra de 5500 gr, y por lo menos 4 muestras para poder realizar la curva de compactación.
- Se deberá seleccionar los contenidos de agua para los cuatro especímenes, de tal forma que estos estén entre el contenido óptimo estimado.
- Se procederá a mezclar el contenido de agua en cada uno de las muestras, asegurando que toda la muestra sea uniforme en cuestión de humedad.
- Una vez realizado el mezclado, se divide la muestra general en 5 partes, las cuales conformaran las 5 capas compactadas del ensayo.
- Se procede a compactar capa por capa, con el número de golpes de acuerdo al método elegido hasta llegar al final del molde. Se procede a enrasar la muestra y ser pesada respectivamente.
- Para finalizar, se dibuja la curva de compactación donde se colocarán los valores de las máximas densidades secas en relación a su contenido de humedad

4. CAPACIDAD RESISTENTE DEL SUELO

Esta propiedad se define como la resistencia del suelo que debe tener ante las deformaciones provocadas por cargas externas. Además, posee algunos parámetros intervinientes como es el esfuerzo cortante, la densidad y humedad, ya que los suelos saturados tienen comúnmente baja capacidad de soporte en comparación con suelos no saturados [19]. Para determinar este valor, se realiza el ensayo de CBR (California Bearing Ratio), donde dicho procedimiento se encuentra estipulado en la norma ASTM D 1883.

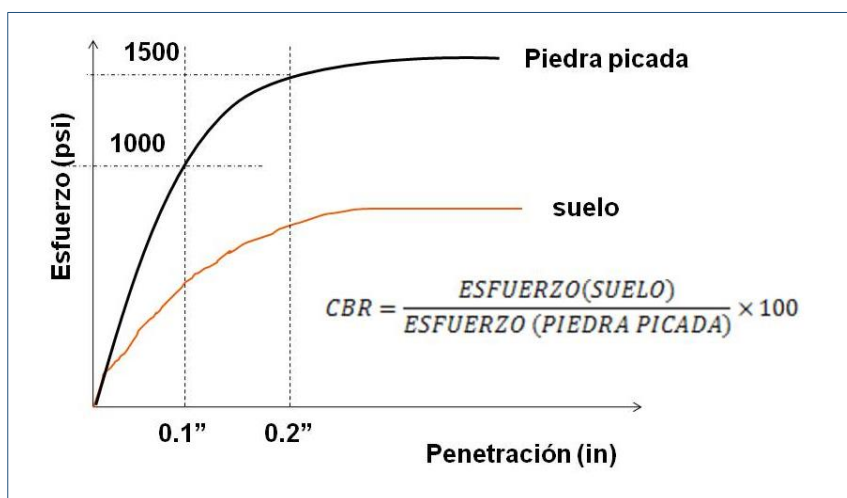


Figura 7. Esfuerzo vs Penetración para suelos. Fuente: Escobar [16]

Ensayo CBR – ASTM D1883 / MTC E 132

Equipo y Materiales:

- Molde de 100cm
- Pisón Mecánico
- Bandeja
- Taras
- Disco espaciador
- Papel filtro
- Dial de expansión
- Máquina de compresión con pistón de penetración CBR

Procedimiento:

- Para este primer paso, se debe conocer los valores del MDS y el OCH que se obtuvieron en el ensayo de Proctor Modificado.
- Se mezcla el suelo con agua hasta llegar al óptimo porcentaje de humedad. Este paso se realizará para 3 muestras diferentes.
- Se compacta la muestra en cada uno de los moldes, en 5 capas, con 56, 25 y 12 golpes en cada molde diferente. Se pesa la muestra compactada y se prepara para saturación.
- Se sumerge la muestra por un rango 96 horas y se tomará el registro de las expansiones al inicio, 24, 48, 72 y al finalizar.
- Después de ser sumergida la muestra, se extrae y se deja secar por 15 minutos, para luego ser colocado en la máquina de compresión. Este marcará a través de un dial la velocidad y la penetración del pistón.

Diseño de Pavimento – Método AASHTO 93

La metodología AASHTO 93 es un método que nos permite diseñar el paquete estructural que conforma el pavimento y se basa en un concepto llamado Número Estructural (SN), el cual es diseñado para soportar ciertas solicitaciones de carga [23]. Este parámetro será importante para determinar la medida del espesor de cada capa que conforma el pavimento. Para hallar el SN, se muestra la siguiente ecuación:

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log(M_R) - 8.07$$

Figura 8. Expresión para determinar el número estructural. Fuente: Calle [23]

Para calcular el número estructural del pavimento, se deberá tener los valores del Número de Ejes Equivalentes (W18), desviación estándar normal (Z_r), error estándar combinado de la predicción del Tráfico (S_o), Diferencia entre el índice de Serviciabilidad Inicial y la Serviciabilidad Final de Diseño (PSI) y el Módulo Resiliente de la Subrasante (M_r). Una vez calculado el número estructural del pavimento, se hallará las dimensiones de las capas de pavimento, con la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Figura 9. Número Estructural. Fuente: Calle [23]

Donde los valores de a_1 , a_2 y a_3 son los factores estructurales de capa; D_1 , D_2 y D_3 son los espesores de cada capa y m_1 , m_2 y m_3 son los factores de drenaje.

NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

Es el tránsito en ejes equivalente acumulados. Se le conoce como ESAL (Equivalent Single Axes Load), la cual se calcula por la siguiente ecuación:

$$ESAL = ADT \times T \times T_f \times D \times L \times G \times Y \times 365$$

Figura 10. Expresión para hallar W18. Fuente: Calle [23]

DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL

Es el valor estadístico relacionada con la confiabilidad que le demos. Este representa que una sección de pavimento soportará el tráfico durante el periodo de diseño con una confiabilidad respectiva. Existen tablas para hallar estos valores.

Tipo de carretera	Confiabilidad
Autopista o interestatal	80-99.9
Principal o federal	75-95
Secundaria o estatal	75-95
Rural o local	50-80

Figura 11. Confiabilidad de acuerdo al tipo de carretera. Fuente: Calle [23]

ERROR ESTANDAR

La guía ASHTO 93 proporciona valores del error tanto para pavimento flexibles como rígidos.

Tipo de pavimento	S_o
Flexible	0.40-0.50
Rigido	0.30-0.40

Figura 12. Valores de S_o , respecto al tipo de pavimento. Fuente: Calle [23]

INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL Y FINAL

La Serviciabilidad inicial (**po**) se conoce como la condición que presenta el pavimento una vez que haya sido construido. La Serviciabilidad final (**pt**) es la condición donde el pavimento necesita una reconstrucción o reparación. La expresión finalmente utilizada sería la diferencia de ambos valores.

pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

Figura 13. Valores de p_t , de acuerdo al tipo de carretera. Fuente: Calle [23]

MODULO RESILIENTE

Este valor es el más importante para el diseño de pavimentos, ya que nos indica la capacidad de un material de absorber energía sin sufrir deformación. Para casos prácticos mencionados en la guía, podemos relacionarlo con el valor de CBR, que se obtiene en laboratorios.

- Para suelos finos con CBR menor a 10%

$$M_r(\text{psi}) = 1500 \times CBR$$

- Para suelos finos con CBR menor a 20%

$$M_r(\text{psi}) = 1000 + 555 \times CBR$$

- Expresión General para M_r

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

Materiales y Métodos

Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al fin que persigue

La investigación es aplicada, ya que pretende resolver una problemática a través de la búsqueda y el empleo de conocimiento empírico ya establecido. De acuerdo a ello, la presente investigación busca mejorar las propiedades de las arenas de dunas y playas y que estas puedan ser utilizadas como subrasantes en carreteras, con el conocimiento en mejoramiento y estabilización de suelos.

De acuerdo a los datos utilizados

Es una investigación cuantitativa, ya que, gracias a los datos obtenidos de los ensayos, se podrá demostrar la hipótesis planteada.

Diseño de la investigación

Esta investigación es de carácter experimental, debido a la manipulación de las variables y las variaciones de las mismas al ser manipuladas, y como esto apoya la hipótesis planteada. Para esta investigación, la hipótesis es que la influencia de bentonita sódica puede mejorar las propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa, para que puedan ser usadas como subrasante en carreteras.

Población, muestra y muestreo

Población

Para esta investigación, la población será de las arenas de dunas y playas, las cuales serán ensayadas como muestra patrón y junto con la adición de bentonita sódica como muestra experimental.

Muestra

Para esta investigación, se consideraron todos los especímenes correspondientes a arenas de duna y playa en el grupo patrón y con la adición de bentonita con los porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16% en el grupo experimental.

Los especímenes son en total 12 muestras para el grupo patrón (**muestras naturales**) y 48 muestras para el grupo experimental (**muestras con adición de bentonita**), lo cual hace un total de 60 muestras.

Muestreo

Criterios de Selección de Muestra

Para la selección del muestreo, se tuvo en cuenta los ensayos que se van a realizar para demostrar la hipótesis.

a) Ensayo de Proctor Modificado y Ensayo de CBR

Para este ensayo, y basado en la norma de Especificaciones Técnicas EG 2013 para Carreteras, se ha tomado una cantidad de 3 muestras para el grupo patrón y experimental. Asimismo, esta cantidad permitirá trabajar con el valor promedio de los resultados, si en el caso la dispersión entre ellos es casi nula. Esto aplica para ambos ensayos.

b) Ensayo de Granulometría y Límites de Plasticidad

Debido a que estos ensayos son tomados como variables intervinientes y no apoyan directamente a la hipótesis, la cantidad a realizar es de 1 muestra por cada ensayo y por cada material.

Criterios de Selección de Lugar de Extracción

a) Arena de Duna

Las muestras de arena de Duna se extrajeron de las Dunas de Morrope, Distrito de Morrope, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque, siendo esta la más representativa y extensa de la región.

b) Arena de Playa

Las muestras de arena de Playa se extrajeron de la costa de Pimentel, Distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque, siendo esta la más representativa y extensa de la región.

Tabla 5.

Muestreo del grupo patrón y experimental

MUESTREO GRUPO PATRÓN			MUESTREO GRUPO EXPERIMENTAL		
PROCEDENCIA	ENSAYOS		% de Bentonita Sódica	ENSAYOS	
	Proctor Modificado	Ensayo CBR		Proctor Modificado	Ensayo CBR
Arenas de Duna (Desierto de Morrope)	3	3	4%	3	3
			8%	3	3
			12%	3	3
			16%	3	3
Arenas de Playa (Litoral Puerto Éten)	3	3	4%	3	3
			8%	3	3
			12%	3	3
			16%	3	3
# PARCIAL MUESTRAS	6	6	# PARCIAL MUESTRAS	24	24
# TOTAL DE MUESTRAS				60	

Operacionalización de variables

El objeto de estudio de la siguiente investigación son las arenas de duna y playa. Asimismo, la variable independiente para esta investigación, la cual será manipulada, es la bentonita sódica en porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16%. Por otro lado, la variable dependiente será las propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa.

Tabla 6.*Operacionalización de la variable dependiente*

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	RANGO DE APLICACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	METODO DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Bentonita de sodio	--	Cantidad de material	4%, 8%, 12% y 16%	Peso(%)	Balanza digital

Tabla 7.*Operacionalización de la variable independiente*

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	METODO DE MEDICIÓN (Instrumentos, Ensayo)
DEPENDIENTE	Propiedades físico-mecánicas de la arena estabilizada	Propiedades Mecánicas del Suelo	Maxima Densidad Seca	kg/cm ³	Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC – E115
			Capacidad Resistente o Portante del Suelo	kg/cm ²	California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC – E132 / Módulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO T 274, MTC – E128

Técnicas e instrumentos de investigación

Los ensayos serán desarrollados en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil Ambiental de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, en el cual se demostrará la hipótesis propuesta. Al ser una investigación de carácter experimental, la hipótesis será demostrada a través de los ensayos propuestos.

Metodologías de Investigación

a) Para el Muestreo

Se muestra a continuación el proceso de la obtención de muestras para el grupo experimental en relación a sus pesos del material adicinante como es la bentonita sódica.

b) Para el Desarrollo de Muestras

En el procedimiento de los ensayos, se tuvo algunas consideraciones que no están muy especificadas en la norma de Ensayos de Materiales y Suelos.

Tabla 8.*Porcentajes del grupo experimental con su codificación y pesos*

Material / Porcentaje	BS 4%	BS 8%	BS 12%	BS 16%
Muestra Natural	5280 gr	5060 gr	4840 gr	4620 gr
Bentonita	220 gr	440 gr	660 gr	880 gr

❖ Ensayo de Proctor Modificado

Para este ensayo, se utilizó un número de golpes por capa equivalente a 56 golpes, ya que el trabajo es investigativo. Esta consideración no es especificada en la norma de ensayos.

❖ Ensayo de CBR

Para este ensayo, las muestras no fueron sumergidas 96 horas como lo dice la normativa, ya que la muestra es un material granular y poco expansivo, y gracias a ese criterio se tomó esa decisión.

Diagrama de Flujos de Procesos

Se muestra a continuación un diagrama de flujo de procesos que nos permitirá un seguimiento continuo y ordenado para desarrollar la investigación y demostrar la hipótesis planteada.

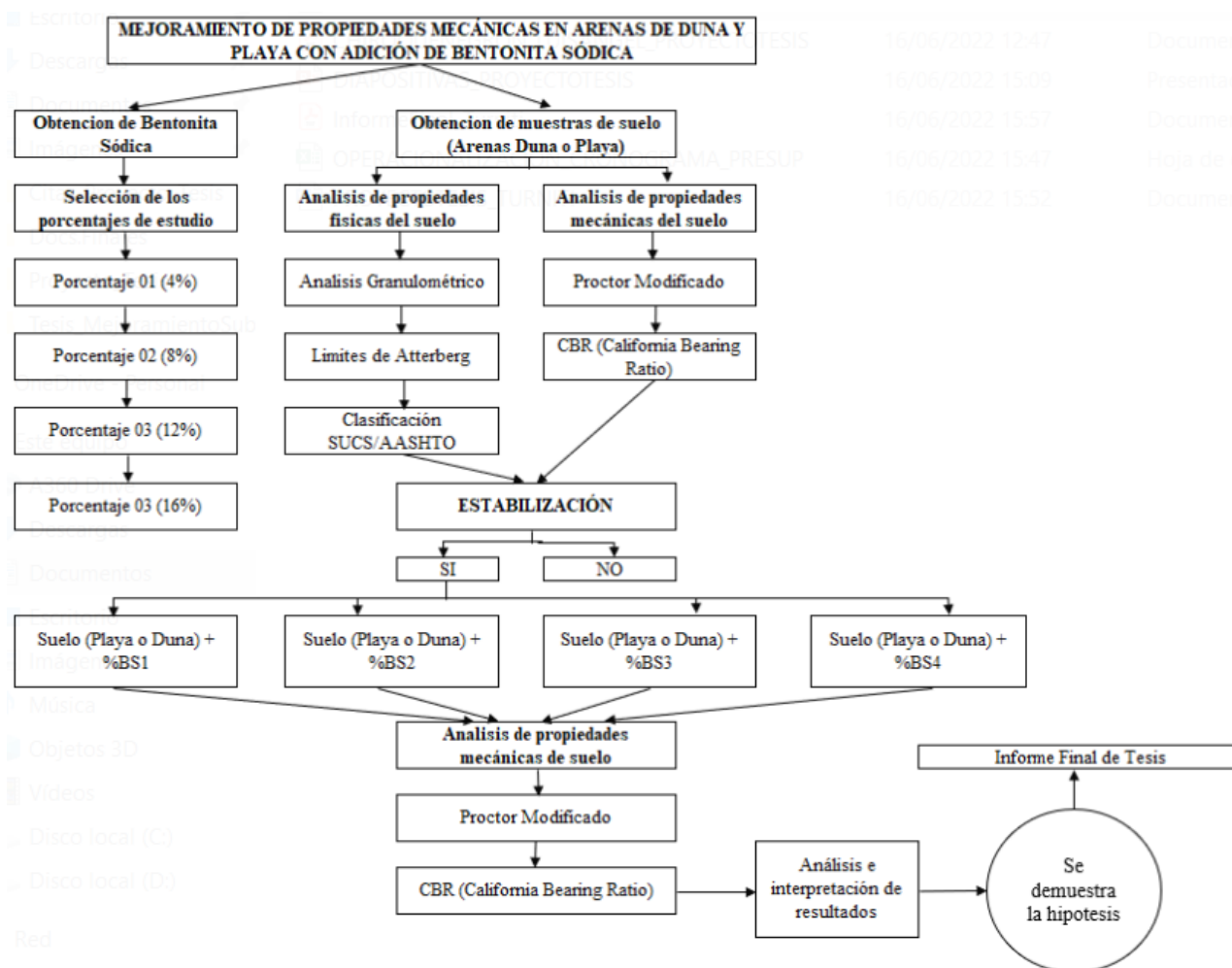


Figura 14. Diagrama de flujo de procesos.

Extracción de Muestras

Para la siguiente investigación, se tienen dos tipos de muestras: arenas de dunas y arenas de playa. Se muestra a continuación los lugares de extracción de las muestras citadas, así como un mapa referencial de las mismas.

- ❖ **ARENAS DE DUNAS:** Estas arenas son representativas en la región de Lambayeque. Las muestras fueron extraídas del Desierto de Dunas de Morrope, en el distrito de Morrope, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Las coordenadas en sistema UTM WGS84 son 608939 E y 9276269.9 W. Su referencia es en los alrededores de la Carretera Panamericana Norte Km 8.

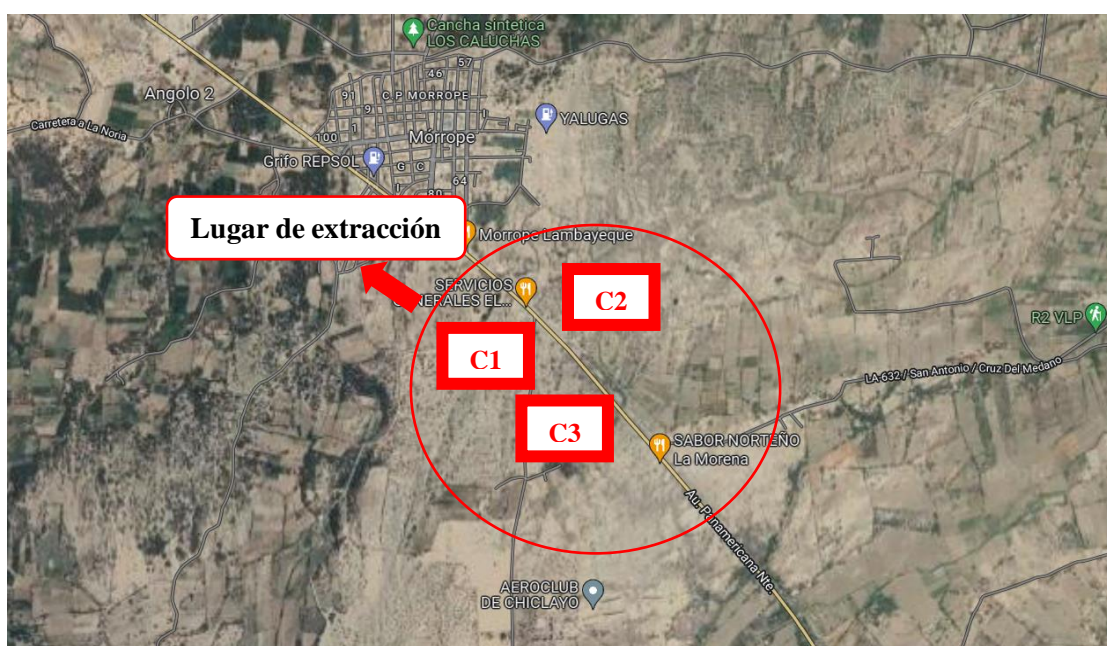


Figura 15. Ubicación del lugar de extracción de arenas de duna.



Figura 16. Proceso de excavación a 1.50m de la muestra de arena.

- ❖ ARENAS DE PLAYA: Se logran encontrar en todo el litoral de la región. Las muestras fueron extraídas en la playa de Pimentel, en el distrito de Pimentel, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Las coordenadas en sistema UTM WGS84 son 617722.9 E y 9243047.5 W. Su referencia es en los alrededores de la carretera Pimentel a Santa Rosa, cerca de la fábrica de hielo.



Figura 17. Ubicación del lugar de extracción de arenas de playa.



Figura 18. Lugar de extracción de la muestra a 1.50m de terreno.

Resultados y discusión

Resultados

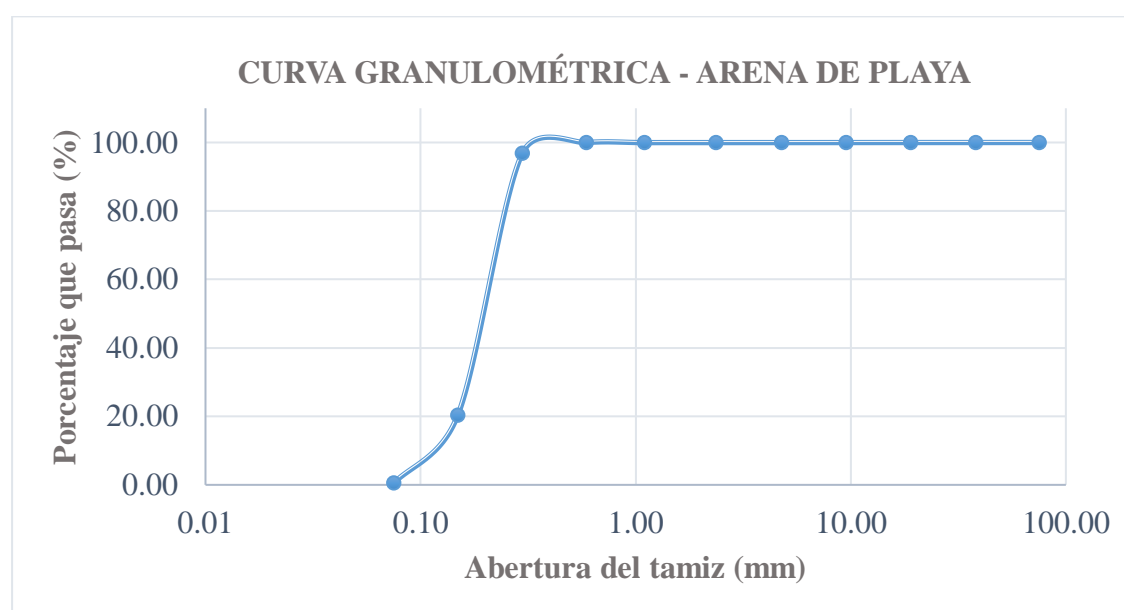
En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos de Laboratorio para las muestras de arena de duna y playa en estado natural y con las adiciones de bentonita sódica ya antes mencionadas. Los ensayos de Granulometría y Límites de Plasticidad se llevaron a cabo con la intención de caracterizar el suelo y calcular su índice plasticidad, el cual será importante dentro de la investigación. Cabe resaltar que este parámetro es primordial para la aceptación de una estabilización de suelo, ya que, según la norma de Suelos y Pavimentos, esta debe tener un IP mínimo. Asimismo, los ensayos de CBR y Proctor Modificado fueron esenciales para responder a nuestros objetivos de mejoramiento de las propiedades mecánicas de las arenas.

Por otro lado, en cada ensayo realizado se mostrará lo obtenido por cada muestra siendo este caso tanto para las arenas de duna y arenas de playa. Asimismo, se registrará por el muestreo que se ha establecido antes y encontrar la diferencia que ambas arenas tienen, tanto en sus propiedades física y químicas. Los formatos de los ensayos se adjuntan al final del informe.

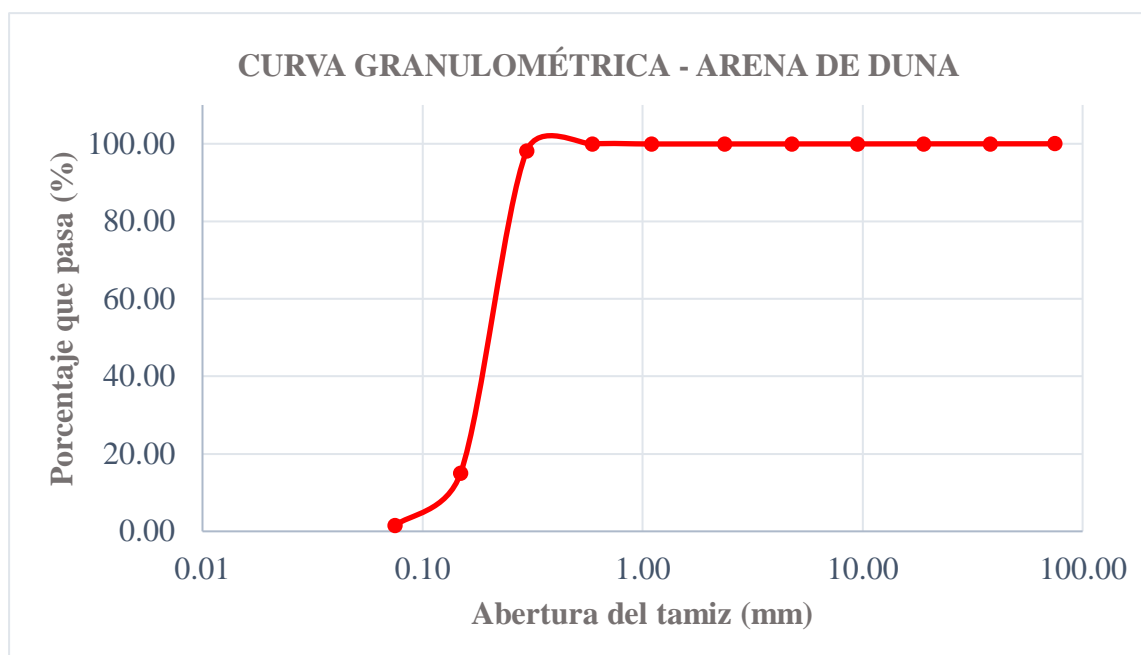
PROPIEDADES FÍSICAS

1. Granulometría

Se realizó el ensayo granulométrico en base a la norma MTC E 107 mencionada en el capítulo de bases teóricas. Solo se realizó el ensayo para la muestra natural en seco para las arenas, sin el muestreo experimental, debido a que la importancia de la investigación se limita a las propiedades mecánicas.



Gráfica 1. Curva granulométrica para muestra natural de arena de playa



Gráfica 2. Curva granulométrica para muestra natural de arena de duna

Según la gráfica N°1 y N°2, se muestra la curva granulométrica de las muestras de arena de duna y playa en su estado natural. En dicho gráfico se observa que la variación de la arena de duna y playa no difieren significativamente en relación a la distribución de sus granos. Asimismo, menos del 50% pasa por la malla N°200 (0.075mm) y más del 50% pasa por la malla N°4 (4.76mm), lo cual nos corrobora que se trata de un suelo granular como es el caso de una arena. Los gráficos serán primordiales para realizar la clasificación del material.

2. Clasificación SUCS y AASHTO

Clasificación SUCS.

Para realizar la clasificación por el método SUCS, para suelos gruesos, si la malla N°4 retiene más del 50% se considera una grava y será arena en el caso contrario.

Clasificación AASHTO

Para realizar la clasificación por el método AASHTO, se necesitará los datos de porcentajes de las mallas #10, #40 y #200; así como también valores como el índice de plasticidad y el tipo de material característico.

Tabla 9.

Clasificación AASHTO y SUCS para las muestras de arena

Clasificación / Material	SUCS	AASHTO
Arenas de Duna	SP	A-3
Arenas de Playa	SP	A-3

Como se muestra en la tabla N°11, las muestras de arena de duna y playa se clasifican como Arenas Pobrementemente Graduadas (SP), lo cual nos determina que la distribución de partículas de las muestras no es uniforme. Asimismo, según la metodología AASHTO se clasifican como suelos tipo A-3, los cuales son considerados como suelos finos y no presentan plasticidad.

Tabla 10.

Clasificación de las muestras con adiciones de 4%, 8%, 12% y 16%

Muestra		Clasificación	
		SUCS	AASHTO
Arenas de duna y playa	Suelo Natural	SP	A-3
	4% BS	SP	A-3
	8% BS	SP	A-3
	12% BS	SC	A-2-6
	16% BS	SC	A-2-6

Por otro lado, en la tabla N°12 se muestra como la clasificación de las muestras experimentales del 4%, 8%, 12% y 16% de bentonita sódica. Dicha información necesaria para la clasificación fue extraída del ensayo de plasticidad y del ensayo de granulometría que se realizó para las muestras naturales y experimentales. En dicha tabla nos muestra como la adición de 4% y 8% mantiene la clasificación de la muestra natural, ya que estas no presentan plasticidad, sin embargo, cambia cuando la adición es mayor a 12%. Para la clasificación SUCS, las muestras con adición mayor a 12% se convierten en una arena arcillosa (SC). Mientras que para la clasificación AASHTO estas muestras son arena del tipo A-2-6, considerado como arena arcillosa.

3. Límites e Índice de Plasticidad

En este apartado se realizaron el ensayo de límites de plasticidad, donde se halló el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP), bajo la normativa MTC E 110, para determinar el índice de plasticidad posteriormente. Cabe resaltar que dicho ensayo se realizó solo para un punto de extracción de arena, ya que como objetivo específico de la investigación es solo ver como influye en su plasticidad de la muestra.

A continuación, en la tabla N°13 y N°14 se muestran los valores del límite líquido y plástico de la muestra patrón y la muestra experimental de las arenas de duna y de playa, con las dosificaciones ya establecidas. Asimismo, en el gráfico N°2 se observa la variación del IP de las muestras experimentales (4%, 8%, 12% y 16%) y la muestra natural.

Tabla 11.

Valores del LL y LP de cada muestra natural y experimental de arena de duna

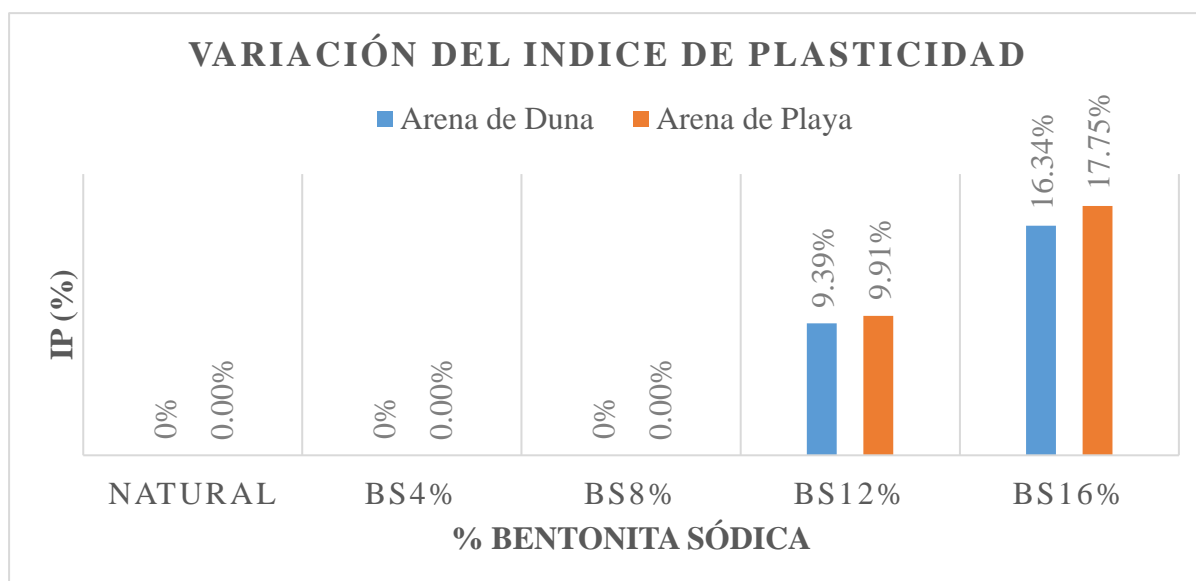
MUESTRA Arena de Duna	Límites de Atterberg	
	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)
MN	NP	NP
BS+4%	NP	NP
BS+8%	NP	NP
BS+12%	26.39 %	17.00 %
BS+16%	25.64 %	9.30 %

Tabla 12.

Valores del LL y LP de cada muestra natural y experimental de arena de playa

MUESTRA Arena de Playa	Límites de Atterberg	
	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)
MN	NP	NP
BS+4%	NP	NP
BS+8%	NP	NP
BS+12%	26.21 %	16.30 %
BS+16%	26.18 %	8.43 %

Se observa en la tabla N°13 que no existen valores de límite líquido y plástico para la muestra natural. Cabe resaltar que esto corrobora la característica principal de las arenas, la ausencia de partículas cohesivas como son los limos y arcillas. Asimismo, no se encuentra valor alguno en los porcentajes de 4% y 8% de bentonita sódica hasta alcanzar el 12% de adición, donde se obtienen valores de 26.39% y 25.64% para el LL y 17.00% y 9.30% para el LP. En la tabla N°14, se observa el comportamiento de la plasticidad en las arenas de playa casi similar al de las arenas de duna, donde con una adición de 12% alcanza un 26.21% y 16.30% de LL y LP respectivamente, y un valor de 26.18% y 8.43% para una adición de 16%. Por otro lado, en la gráfica N°03 se muestra el parámetro del índice de plasticidad donde hay un incremento, de 9.39% a 16.34% en las arenas de duna y, de 9.91% a 17.75% en arenas de playa.



Gráfica 3. Variación del IP de muestra patrón y experimental

4. Sales, sulfatos y Cloruros

Para la realización del ensayo de Sales, Sulfatos y Cloruros aplicados a la muestra de suelo natural (Arena de Playa y Duna), se utilizaron las normativas NTP 339 152, NTP 339 118 y NTP 339 177 respectivamente. Cabe resaltar que los ensayos químicos se realizaron como parte de la caracterización de las muestras naturales, más no tiene influencia en el diseño o el planteamiento de la hipótesis. Los datos de los ensayos se muestran a continuación:

Tabla 13.

Sales, sulfatos y cloruros para arenas de duna y playa

Tipo de Muestra	Sales (%)	Sulfatos (%)	Cloruros (%)
Arena de Playa	2.55	2.08	0.60
Arena de Duna	1.15	1.08	0.56

Según la tabla N°15, se observa que la muestra de arena de playa presentar un porcentaje de sales de 2.55% en comparación con la arena de duna con un 1.15% de concentración. Asimismo, para el ensayo de sulfatos se tiene una concentración de 2.08% y 1.08% para arenas de playa y duna respectivamente. Finalmente, en el ensayo de cloruros se tiene una concentración de 0.60% y 0.56% para arenas de playa y duna. Cabe resaltar que los ensayos químicos se realizaron para una calicata en ambas muestras.

PROPIEDADES MÉCÁNICAS

1. *Ensayo de Proctor Modificado*

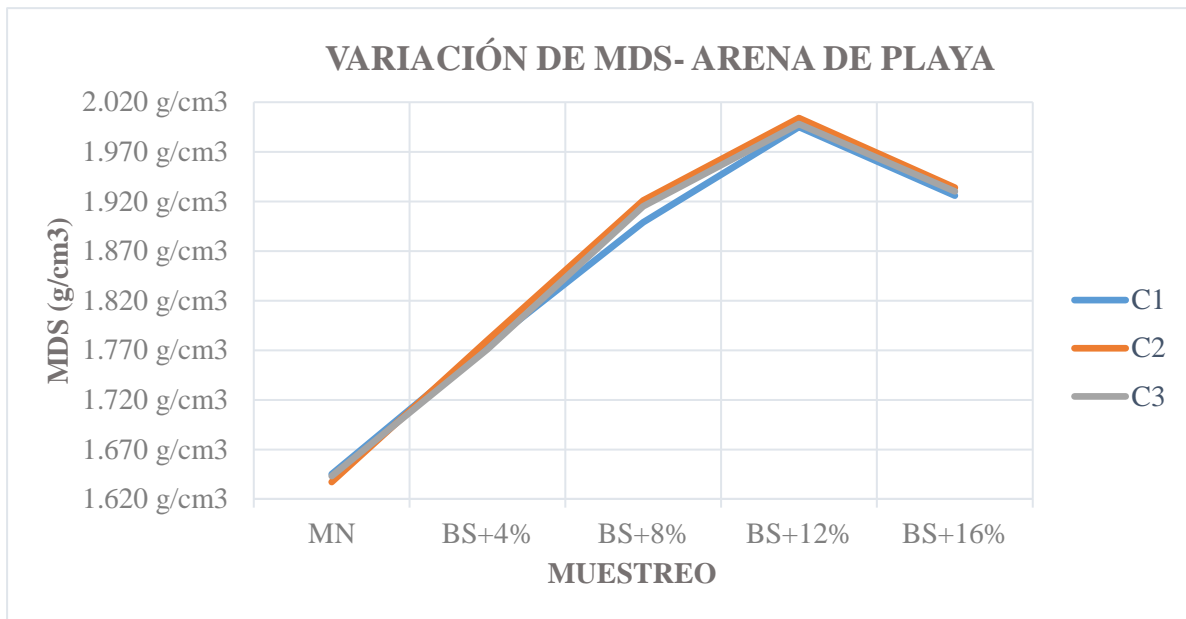
Para este apartado, se realizó con base en la normativa MTC E 115, teniendo en cuenta que es de carácter investigativo se tomaron consideraciones diferentes a lo mencionado en la normativa. Un ejemplo es el número de golpes utilizado que fueron 56 golpes por cada capa y se utilizó el molde de 4 pulgadas de diámetro. En la tabla N°15 se muestran los valores obtenidos de la máxima densidad seca y el porcentaje de humedad, para cada muestra natural y experimental, de las arenas de playa. De ambas muestras se tomaron para 3 puntos de extracción, los cuales fueron experimentados por separado.

Tabla 14.

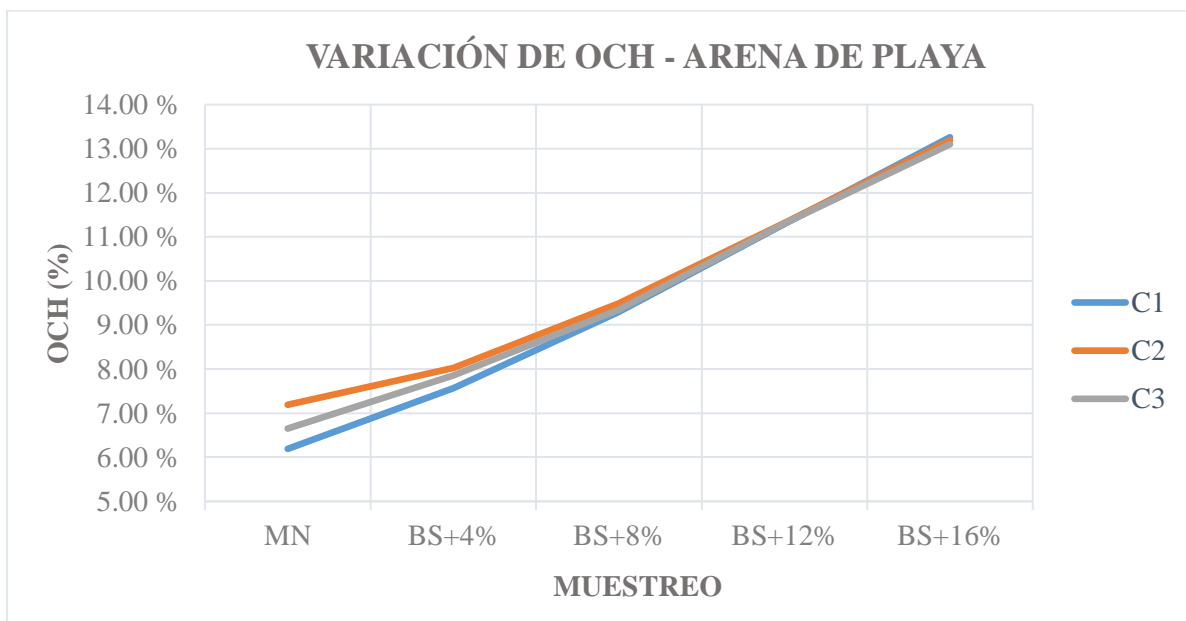
Valores de MDS y OCH para muestra natural y experimental de arena de playa

Descripción	Muestra Arena Playa	MN	BS +4%	BS +8%	BS +12%	BS +16%
Densidad Máxima Seca (g/cm ³)	C1	1.645 g/cm ³	1.775 g/cm ³	1.899 g/cm ³	1.995 g/cm ³	1.926 g/cm ³
	C2	1.637 g/cm ³	1.780 g/cm ³	1.921 g/cm ³	2.004 g/cm ³	1.934 g/cm ³
	C3	1.643 g/cm ³	1.771 g/cm ³	1.915 g/cm ³	1.998 g/cm ³	1.930 g/cm ³
Humedad Optima (%)	C1	6.19 %	7.57 %	9.30 %	11.29 %	13.26 %
	C2	7.19 %	8.02 %	9.49 %	11.32 %	13.19 %
	C3	6.65 %	7.85 %	9.35 %	11.30 %	13.10 %

En la tabla N°15 se muestra que los valores de la densidad seca y contenido de humedad para cada calicata de las arenas de playa. En la calicata N°01 se obtiene valores de la máxima densidad seca de 1.645 g/cm³ de la muestra natural a 1.995 g/cm³ con la adición de 12% de bentonita sódica, teniendo una disminución para el 16% de adición, con un valor de 1.926 g/cm³. Asimismo, en el porcentaje de humedad hubo un aumento de 6.19% a 13.26% desde la muestra patrón hasta el 16% de bentonita. Para la calicata N°02 y N°03, se observa el mismo comportamiento con valores cercanos de la máxima densidad seca y el porcentaje de humedad, teniendo valores de 1.637 g/cm³ y 1.643 g/cm³ para las muestras naturales, con un aumento a 2.004 g/cm³ y 1.998 g/cm³ respectivamente, hacia el 12% de bentonita.



Gráfica 4. Variación de la MDS de la muestra patrón y experimental de arena de playa



Gráfica 5. Variación del OCH de la muestra patrón y experimental de arena de playa

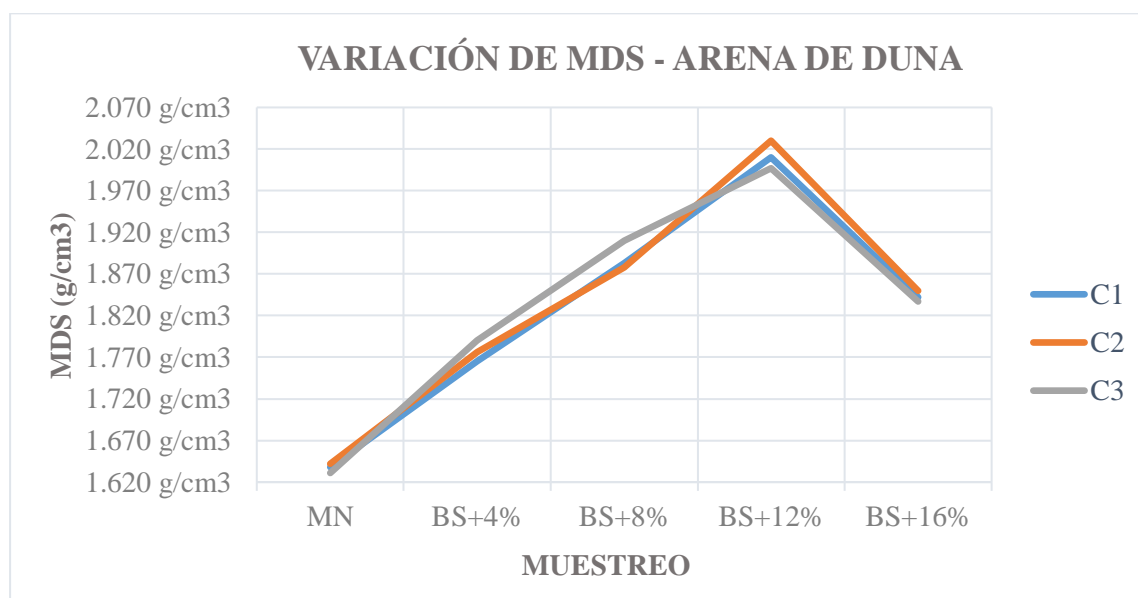
Asimismo, la gráfica N°04 nos muestra la variación que tiene la máxima densidad seca desde la muestra natural hasta la muestra con adición del 16% de bentonita sódica. Dichos valores fueron extraídos de la tabla N°15 y nos muestra un comportamiento creciente hasta el 12% de bentonita, luego presenta un comportamiento decreciente a partir de la adición del 16%. Por otro lado, la gráfica N°05 muestra el comportamiento del óptimo contenido de humedad, que es lineal en su totalidad, desde la muestra patrón hasta la última dosificación. Se puede deducir que el comportamiento de ambos parámetros es diferente hasta cierta dosificación.

Tabla 15.

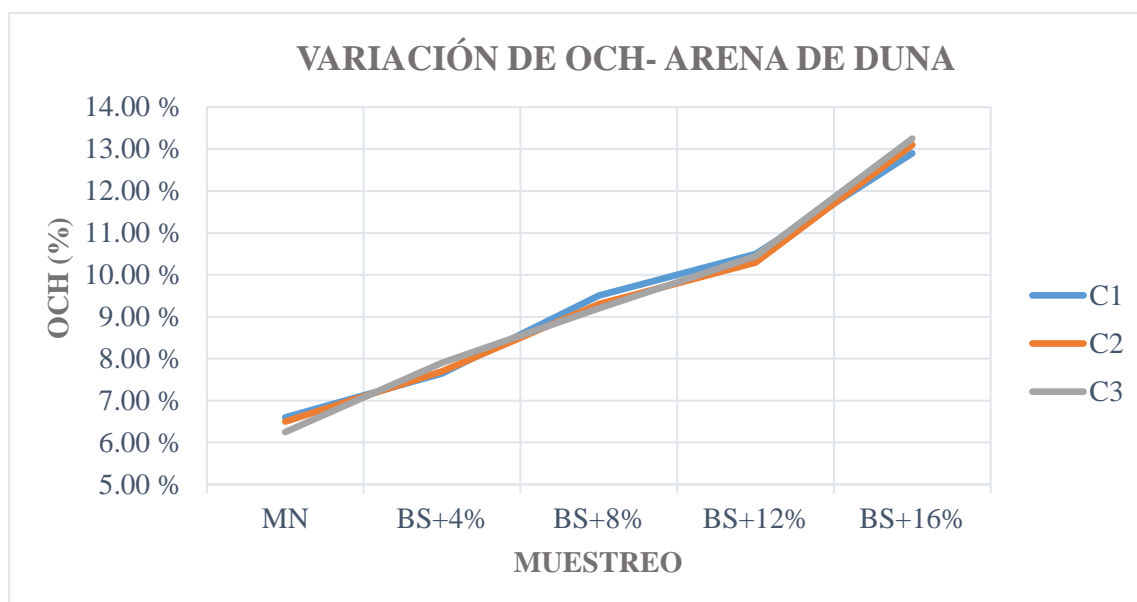
Valores de MDS y OCH para muestra natural y experimental de arena de duna

Descripción	Muestra Arena Duna	MN	BS +4%	BS +8%	BS +12%	BS +16%
Densidad Máxima Seca (g/cm ³)	C1	1.638 g/cm ³	1.765 g/cm ³	1.883 g/cm ³	2.010 g/cm ³	1.842 g/cm ³
	C2	1.642 g/cm ³	1.776 g/cm ³	1.878 g/cm ³	2.030 g/cm ³	1.850 g/cm ³
	C3	1.631 g/cm ³	1.790 g/cm ³	1.910 g/cm ³	1.997 g/cm ³	1.837 g/cm ³
Humedad Optima (%)	C1	6.60 %	7.65 %	9.50 %	10.50 %	12.90 %
	C2	6.50 %	7.70 %	9.30 %	10.30 %	13.10 %
	C3	6.25 %	7.90 %	9.20 %	10.45 %	13.25 %

Ahora a continuación, en la tabla N°16 se muestra que en la calicata N°01 se obtiene valores de la máxima densidad seca de 1.638 g/cm³ de la muestra natural a 2.010 g/cm³ con la adición de 12% de bentonita sódica, teniendo una disminución para el 16% de adición, con un valor de 1.842 g/cm³. Asimismo, en el porcentaje de humedad hubo un aumento de 6.60% a 12.90% desde la muestra patrón hasta el 16% de bentonita. Para la calicata N°02 y N°03, se observa el mismo comportamiento con valores cercanos de la máxima densidad seca y el porcentaje de humedad, teniendo valores de 1.642 g/cm³ y 1.631 g/cm³ para las muestras naturales, con un aumento a 2.030 g/cm³ y 1.997 g/cm³ respectivamente, hacia el 12% de bentonita.



Gráfica 6. Variación de la MDS de la muestra patrón y experimental de arena de duna



Gráfica 7. Variación del OCH de la muestra patrón y experimental de arena de duna

Adicionalmente, la gráfica N°06 nos muestra la variación que tiene la máxima densidad seca desde la muestra natural hasta la muestra con adición del 16% de bentonita sódica. Dichos valores fueron extraídos de la tabla N°16 y nos muestra un comportamiento creciente hasta el 12% de bentonita, luego presenta un comportamiento decreciente a partir de la adición del 16%. Por otro lado, la gráfica N°07 muestra el comportamiento del óptimo contenido de humedad, que es lineal en su totalidad, desde la muestra patrón hasta la última dosificación.

2. Ensayo de CBR

Para este ensayo, se tuvo en cuenta los valores de la máxima densidad seca y la humedad óptima de las muestras obtenidas en el ensayo de Proctor. Se realizó bajo la normativa MTC E 132 y se obtuvieron los valores de Relación de Soporte California (CBR) y los valores de expansión a las 96 horas de ser sumergidas la muestra. A continuación, se muestra el cuadro resumen de los valores de CBR que se obtuvieron para la muestra natural y junto con las adiciones de 4%, 8%, 12% y 16% de bentonita sódica.

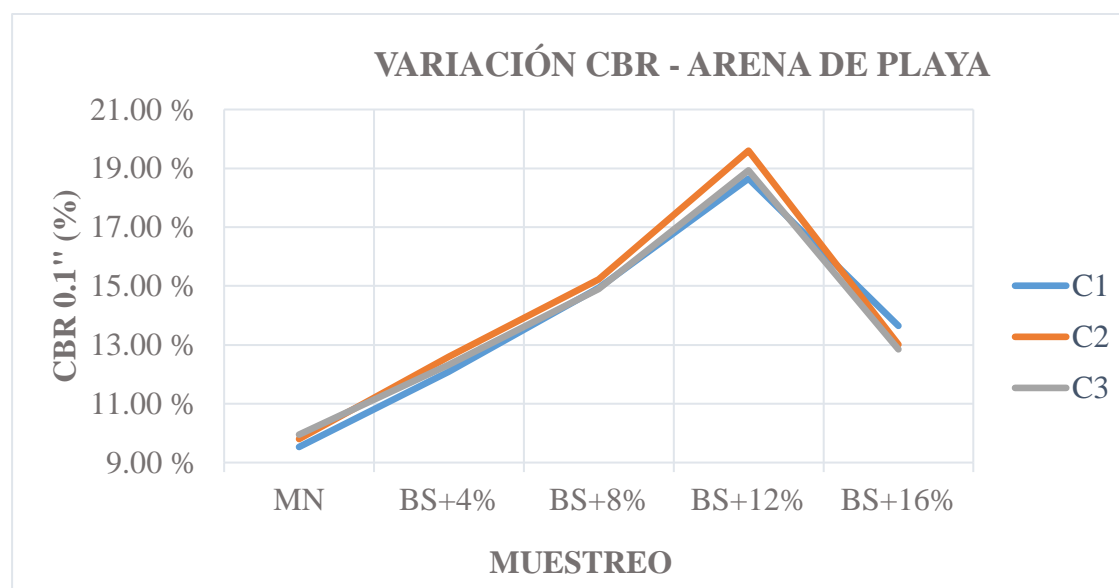
Se observa que la tabla N°17 se muestra los valores que tiene el CBR para penetrar 0.1" y 0.2" de cada una de las muestras experimentadas de las arenas de playa. Para la calicata N°01 se observa que la muestra natural obtiene un valor de 9.53% y 12.42% (0.1" y 0.2" respectivamente en adelante), teniendo un incremento de hasta 18.65% y 24.29%, con el 12% de bentonita sódica. Asimismo, para la dosificación del 16%, se muestra un decrecimiento hasta de 13.65% y 17.90%. Para la calicata N°02 se observa que la muestra natural obtiene un valor de 9.80% y 12.49%, teniendo un incremento de hasta 19.60% y 25.16%, con el 12% de

bentonita sódica. Asimismo, para la dosificación del 16%, se muestra un decrecimiento hasta de 13.02% y 16.62% Y, por último, para la calicata N°03 se observa que la muestra natural obtiene un valor de 9.95% y 12.33%, teniendo un incremento de hasta 18.93% y 24.58%, con el 12% de bentonita sódica. Asimismo, para la dosificación del 16%, se muestra un decrecimiento hasta de 12.85% y 16.33%. Por otro lado, se muestra en la gráfica N°08, la variación del CBR, desde la muestra natural con un valor hasta la muestra con 12%, llegando a su máximo valor de CBR y luego realizando una pendiente negativa a partir de la adición del 16% de bentonita.

Tabla 16.

Valores de CBR para la muestra patrón y experimental de arena de playa

Descripción	Muestreo Arena Playa	MN	BS +4%	BS +8%	BS +12%	BS +16%
CBR 0.1'' (%)	C1	9.53 %	12.09 %	14.93 %	18.65 %	13.65 %
	C2	9.80 %	12.60 %	15.22 %	19.60 %	13.02 %
	C3	9.95 %	12.33 %	14.90 %	18.93 %	12.85 %
CBR 0.2'' (%)	C1	12.42 %	15.64 %	19.29 %	24.29 %	17.90 %
	C2	12.49 %	16.01 %	19.61 %	25.16 %	16.62 %
	C3	12.71 %	15.56 %	19.01 %	24.58 %	16.33 %



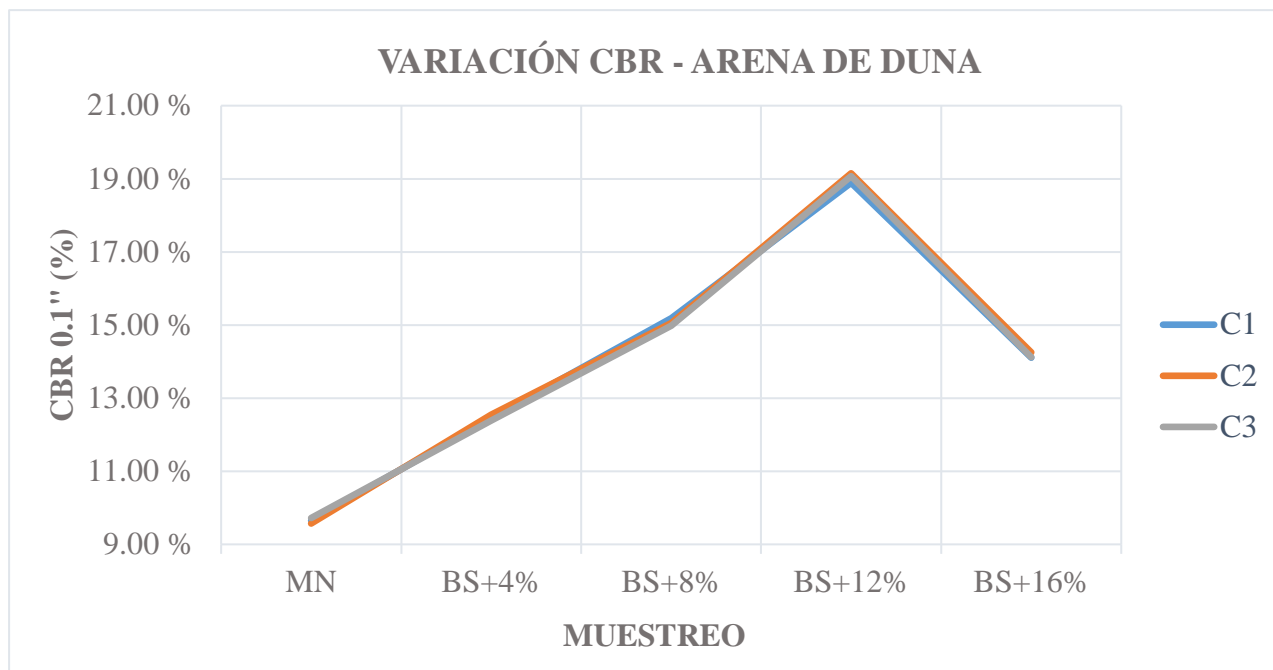
Gráfica 8. Variación del CBR para la muestra patrón y experimental de arenas de playa

Se observa que la tabla N°18 se muestra los valores que tiene el CBR para penetrar 0.1” y 0.2” de cada una de las muestras experimentadas de las arenas de duna. Para la calicata N°01 se observa que la muestra natural obtiene un valor de 9.65% y 12.76% (0.1” y 0.2” respectivamente en adelante), teniendo un incremento de hasta 18.89% y 24.35%, con el 12% de bentonita sódica. Asimismo, para la dosificación del 16%, se muestra un decrecimiento hasta de 14.10% y 18.05%. Para la calicata N°02 se observa que la muestra natural obtiene un valor de 9.57% y 12.58%, teniendo un incremento de hasta 19.15% y 24.64%, con el 12% de bentonita sódica. Asimismo, para la dosificación del 16%, se muestra un decrecimiento hasta de 14.25% y 17.97% Y, por último, para la calicata N°03 se observa que la muestra natural obtiene un valor de 9.72% y 12.65%, teniendo un incremento de hasta 19.07% y 24.48%, con el 12% de bentonita sódica. Asimismo, para la dosificación del 16%, se muestra un decrecimiento hasta de 14.12% y 18.11%. La gráfica N°08 muestra la variación del CBR desde la muestra natural hasta el 12%, donde alcanza su máximo valor. Asimismo, se muestra en gráfica N°09, la variación de la expansión a las 96 horas de las muestras patrón y experimental, como parte del ensayo de CBR. Los valores obtenidos siendo para la muestra natural 0% de expansión, ya que estos materiales son arenosos y estos no presentan expansión. Para el valor de 4%, presenta una expansión de 0.5 mm, para 8% de 1.07 mm, para 12% de 1.28 mm y para 16% de 2.27 mm, siendo este valor la máxima expansión.

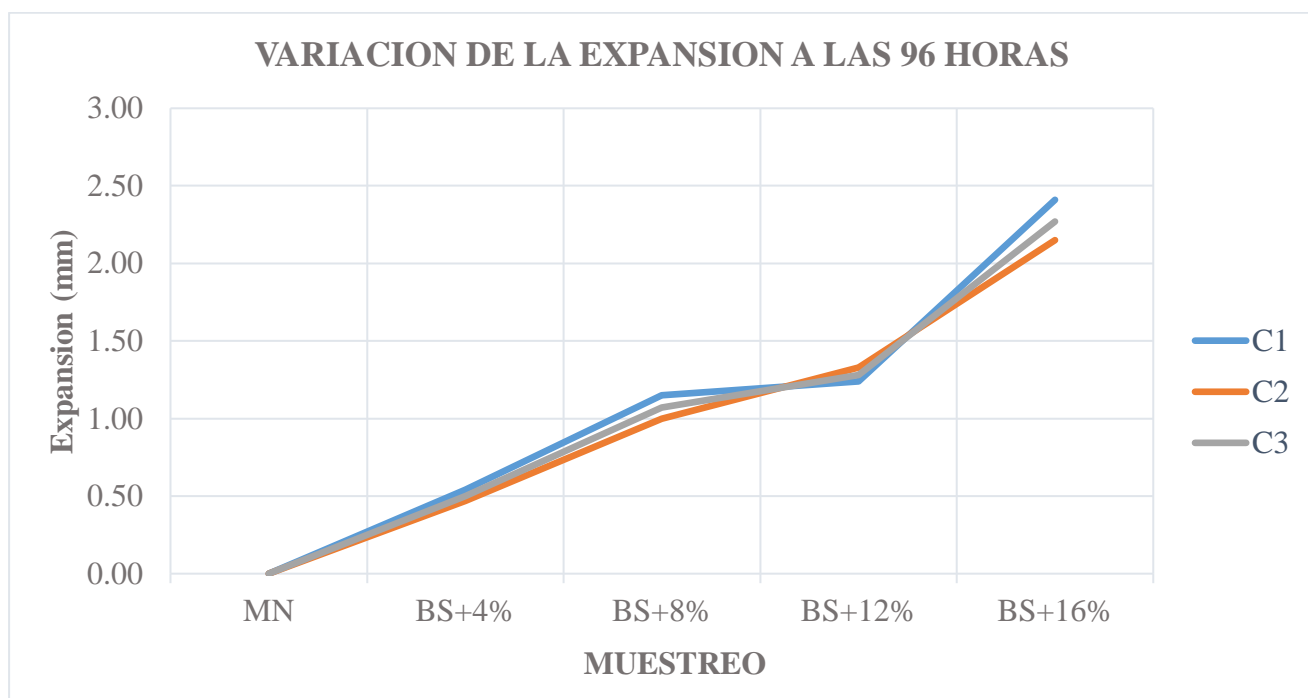
Tabla 17.

Valores de CBR para la muestra patrón y experimental de las arenas de duna

Descripción	Muestreo Arena Duna	MN	BS +4%	BS +8%	BS +12%	BS +16%
CBR 0.1” (%)	C1	9.65 %	12.45 %	15.18 %	18.89 %	14.10 %
	C2	9.57 %	12.54 %	15.05 %	19.15 %	14.25 %
	C3	9.72 %	12.38 %	14.98 %	19.07 %	14.12 %
CBR 0.2” (%)	C1	12.76 %	15.87 %	19.40 %	24.35 %	18.05 %
	C2	12.58 %	16.10 %	19.56 %	24.64 %	17.97 %
	C3	12.65 %	15.92 %	19.43 %	24.48 %	18.11 %



Gráfica 9. Variación del CBR para la muestra patrón y experimental de arenas de playa



Gráfica 10. Variación del CBR para la muestra patrón y experimental de arenas de duna

DISEÑO DE PAVIMENTO CONVENCIONAL Y ESTABILIZADO

Para este ítem, se evaluará la diferencia que existe entre los espesores del paquete estructural del pavimento, usando el material patrón y el material estabilizado con bentonita sódica. Los diseños previstos en la presente tesis se realizarán por medio el método de la AASHTO 93 que ya se ha definido. Se comparó el pavimento convencional y estabilizado:

Propuesta 1: Diseño del Pavimento Convencional

A continuación, en la tabla N°18 se muestra los valores de los parámetros utilizados para el diseño del pavimento convencional, que será de tipo flexible. El número de ejes equivalentes se tomó de acuerdo al Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo tránsito del MTC, lo cual toma un valor para la clase de tráfico T1 de 50,000 ejes equivalentes [24].

Tabla 18.

Diseño de pavimento convencional usando metodología AASHTO

DISEÑO DE PAVIMENTO CONVENCIONAL						
Numero de Ejes Equivalentes					5.00 E+04	
CBR Subrasante					9.76 %	
Nivel de Confianza					60%	
Desviación Estándar					-0.253	
Serviciabilidad Inicial					4.20	
Serviciabilidad Final					2.00	
Índice de Serviciabilidad					2.20	
Número Estructural Requerido				SN		3.798
Asfalto			a1 =	0.45	D1 (cm)	5
Base	m1 =	1.15	a2 =	0.13	D2 (cm)	8
Sub base	m2 =	1.05	a3 =	0.13	D3 (cm)	8
Espesor Total del Pavimento					DT (cm)	20
Numero Estructural Propuesto					SN'	4.372

Según los resultados mostrados en la tabla N°18, se observa que el número estructural requerido es 3.798. Asimismo, el número estructural que se propuso fue el de 4.372, lo cual cumple con los requerimientos del diseño. En consecuencia, los espesores de las capas de base y sub-base serán de 8 cm respectivamente, y la carpeta asfáltica de 5cm, siendo un total de 20 cm lo que será el paquete estructural. Por otro lado, en la gráfica N°10 se observa los espesores que conforman el pavimento.



Gráfica 11. Espesores del pavimento convencional

Propuesta 2: Diseño del Pavimento Estabilizado

Posteriormente en la tabla N°19 se muestra los valores de los parámetros utilizados para el diseño del pavimento estabilizado, que será de tipo flexible. Para este diseño se utilizó la adición de bentonita sódica con el 12% de dosificación y, en consecuencia, su valor de CBR obtenido en los ensayos anteriores.

Tabla 19.

Diseño de pavimento convencional usando metodología AASHTO

DISEÑO DE PAVIMENTO ESTABILIZADO						
Numero de Ejes Equivalentes					5.00 E+04	
CBR Subrasante					19.06 %	
Nivel de Confianza					60%	
Desviación Estándar					-0.253	
Serviciabilidad Inicial					4.20	
Serviciabilidad Final					2.00	
Índice de Serviciabilidad					2.20	
Número Estructural Requerido				SN	3.155	
Asfalto			a1 =	0.45	D1 (cm)	5
Base	m1 =	1.15	a2 =	0.13	D2 (cm)	5
Sub base	m2 =	1.05	a3 =	0.13	D3 (cm)	5
Espesor Total del Pavimento					DT (cm)	15
Numero Estructural Propuesto					SN'	3.582

Según los resultados mostrados en la tabla N°18, se observa que el número estructural requerido es 3.155 para soportar la carga de tráfico de 50,000 EE. Asimismo, el número estructural que se propuso fue el de 3.582, lo cual cumple con los requerimientos del diseño.

En consecuencia, los espesores de las capas de base y sub-base serán de 5 cm respectivamente, y la carpeta asfáltica de 5cm, siendo un total de 15 cm lo que será el paquete estructural. En la gráfica N°11 se muestra los espesores de la capa del pavimento estabilizado



Gráfica 12. Espesores del pavimento estabilizado con bentonita sódica

Después de mostrar los diseños de pavimentos convencional y estabilizado con bentonita, en el cuadro N°20 se procede a realizar una comparación sobre los espesores de cada una de las capas que lo conforman. Cabe resaltar que los espesores del pavimento no guardan relación con la altura de estabilización para el suelo, lo cual propone el Manual de Suelos y Pavimento que sea de 0.80m para este tipo de suelo [24].

Tabla 20.

Cuadro resumen de los espesores del pavimento convencional y estabilizado

CAPA DE MATERIAL	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2
	Espesores (cm)	
Asfalto	5.00	5.00
Base Granular	8.00	5.00
Sub Base Granular	8.00	5.00

ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO

Los costos unitarios aplicados para este objetivo nos permitirán realizar una comparación entre la estabilización de arenas utilizando bentonita sódica y la estabilización usando cemento o cal, respectivamente. Cabe resaltar que la bentonita sódica es un producto industrializado, así como el cemento y la cal. Además, la comparación económica solo se enfatizará en los costos unitarios de los materiales, más no de la mano de obra y maquinaria que se estipulen en la partida de estabilización de subrasante. En la tabla N°22 se muestra las dosificaciones de cada uno de los estabilizantes propuestos.

Tabla 21.*Porcentajes de los agentes estabilizantes a comparar*

Material Estabilizador	Porcentaje en peso (%)
Cemento	9.00 %
Cal	10.00 %
Bentonita Sódica*	12.00 %

En la tabla N°23 se muestra el costo unitario por m² de la partida de estabilización de subrasante con cemento. La conversión del porcentaje de cemento a bolsas se realizó multiplicando la densidad del suelo (dato extraído de los ensayos) sin tratar por la dosificación óptima, y a su vez multiplicado por el número de bolsas que tiene cada m³ del material. Cabe resaltar que, para el cemento, en 1 bolsa hay 0.03091 m³ de material. El precio por partida es de 62.35 soles.

Tabla 22.*Costo unitario de la estabilización de subrasante con cemento*

PARTIDA	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON CEMENTO (9%)					
Rendimiento	120	m ² /día			Unidad	m ²
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales						
Cemento	bolsas	-	0.684	28.70	0.00	
Costo de materiales s/.						19.63
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	0.067	24.38	1.63	
Peón	hh	2.00	0.133	17.83	2.38	
Costo de mano de obra s/.						4.00
Maquinaria, equipo y/o herramientas						
Herramientas manuales	%m. o	-	3.00	4.00	0.12	
Rodillo vibratorio	hm	1.00	0.067	250.00	16.67	
Motoniveladora	hm	1.00	0.067	219.97	14.66	
Camión cisterna 4x2	hm	1.00	0.067	108.53	7.27	
Costo de maquinaria, equipo y/o herramientas s/.						38.72
To t a l: s/.						62.35

En la tabla N°24 se muestra el costo unitario por m² de la partida de estabilización de subrasante con cal. Para este material, se comercializa en bolsas de 20kg, siendo así que por 1 bolsa equivale a 0.01454 m³. El precio unitario de esta partida es de 48.77 soles.

Tabla 23.

Costo unitario de la estabilización de subrasante con cal

PARTIDA		MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON CAL (10%)				
Rendimiento	120	m ² /día			Unidad	m ²
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales						
Cal	bolsas	-	0.358	16.90	0.00	
Costo de materiales s/.						6.05
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	0.067	24.38	1.63	
Peón	hh	2.00	0.133	17.83	2.38	
Costo de mano de obra s/.						4.00
Maquinaria, equipo y/o herramientas						
Herramientas manuales	%m. o	-	3.00	4.00	0.12	
Rodillo vibratorio	hm	1.00	0.067	250.00	16.67	
Motoniveladora	hm	1.00	0.067	219.97	14.66	
Camión cisterna 4x2	hm	1.00	0.067	108.53	7.27	
Costo de maquinaria, equipo y/o herramientas s/.						38.72
T o t a l: s/.						48.77

En la tabla N°25 se muestra el costo unitario por m² de la partida de estabilización de subrasante con bentonita sódica. Para este material, se comercializa en bolsas de 30 kg, siendo así que por 1 bolsa equivale a 0.02181 m³. El precio unitario de esta partida es de 56.89 soles.

Una vez mostrado los costos unitarios de la partida con diferentes estabilizantes, se logra determinar una diferencia significativa entre el precio del cemento y la bentonita sódica, con una disminución de 9.46 soles, representando el 17.88% menos de su precio. La comparación de la bentonita sódica con la cal es un escenario diferente, ya que la cal tiene una disminución de 4.12 soles, lo que representa 8.44% menos de su precio. Asimismo, se podría deducir que la bentonita sódica es más rentable que la estabilización con cemento. Por otro lado, se debería

verificar tanto para la cal y el cemento si ambas dosificaciones cumplen con los requerimientos técnicos que la bentonita puede ofrecer, tema que se ha demostrado en los ensayos de la investigación.

Tabla 24.

Costo unitario de la estabilización de subrasante con bentonita sódica

PARTIDA		MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON BENTONITA (12%)				
Rendimiento	120	m2/día			Unidad	m2
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales						
Bentonita	bolsas	-	0.644	22.00	0.00	
Costo de materiales s/.						14.17
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	0.067	24.38	1.63	
Peón	hh	2.00	0.133	17.83	2.38	
Costo de mano de obra s/.						4.00
Maquinaria, equipo y/o herramientas						
Herramientas manuales	%m. o	-	3.00	4.00	0.12	
Rodillo vibratorio	hm	1.00	0.067	250.00	16.67	
Motoniveladora	hm	1.00	0.067	219.97	14.66	
Camión cisterna 4x2	hm	1.00	0.067	108.53	7.27	
Costo de maquinaria, equipo y/o herramientas s/.						38.72
To t a l: s/.						56.89

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS: Mejoramiento de subrasante con bentonita sódica

En este ítem, se planteará las especificaciones técnicas para el uso de la bentonita sódica en la estabilización de subrasante, para un suelo de tipo arenoso. Asimismo, la información se basará en especificaciones técnicas similares como lo es el cemento, y en los resultados obtenidos en el laboratorio. No será necesario evaluar un tramo de prueba para este objetivo.

1. DESCRIPCIÓN

La siguiente especificación está definida para el mejoramiento en la conformación de la subrasante. Este trabajo consiste en el mezclado, preparación y compactación de la capa

subrasante con bentonita sódica como material estabilizante. La estabilización con bentonita sódica es primordial para suelos arenosos, ya que provee cohesión y resistencia mecánica a las arenas, para reducir los asentamientos diferenciales futuros. Aquellas indicaciones adicionales de este documento, deberán ser indicadas por el contratista y supervisadas por el ingeniero supervisor.

2. MATERIALES

Los materiales que se emplean en la ejecución del mejoramiento de la subrasante con bentonita sódica deben ser de buena calidad. Asimismo, deben ser aprobados por el ingeniero supervisor para su correcta aplicación.

2.1 Bentonita Sódica

Es un producto industrializado, a base de arcillas conocido como bentonita altamente hinchable, debido a su capacidad de hinchamiento. Asimismo, esta puede expandirse hasta 7 veces su volumen. Su característica principal es que puede mejorar significativamente las propiedades de un suelo en ausencia de finos. Su comercialización es en bolsas de 30 kg. Algunas especificaciones que este material debe tener son:

Tabla 25.

Especificación técnica de la bentonita sódica

PARAMETRO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
Contenido de montmorillonita	%	75.00
Gravedad Específica	g/cc	2.5
Humedad (105°C 1 hora)	%	10,0 máx
Rendimiento	Bb/tm	75 min

Algunas indicaciones para su aplicación sobre el terreno son:

- Los trabajadores deberán llevar mascarillas, guantes y ropa adecuada para evitar el contacto de la bentonita con la piel.
- La aplicación de este material se realizará con la metodología FIFO (Primero que entra, primero que sale)
- La altura máxima de apilamiento debe ser de 12 sacos por hilera.

3. EQUIPOS

Básicamente, el equipo estará constituido por equipos para la escarificación y la elaboración de la mezcla (máquina estabilizadora), motoniveladora, compactadores, cisternas para aplicar agua, elementos de transporte y herramientas menores. El Constructor deberá emplear en la obra el tipo de equipo señalado en los documentos del contrato.

4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Los trabajos para la ejecución del mejoramiento de la subrasante con bentonita sódica comprenderán lo siguiente:

a. Escarificación

Este trabajo consiste en la disgregación de la superficie del terreno. La escarificación se llevará a cabo en las zonas donde el Supervisor estipule, siendo así que la profundidad no debe ser menor a 15 cm ni mayor a 30 cm. Si la profundidad debe ser más de 30 cm, se deberá colocar una capa de un nuevo material.

b. Mezclado

Es el proceso donde se mezcla el estabilizante con el suelo natural escarificado. Se deberá colocar las bolsas del estabilizante sobre el tramo a estabilizar y esparcir el material. La mezcla deberá realizarse con un equipo rotovator o una motoniveladora.

c. Compactación

Este trabajo consiste en compactar la superficie del terreno una vez mezclado el suelo con el estabilizante. Para este trabajo se deberá conocer la granulometría, el tipo de maquinaria de compactación y el número de pasadas del equipo y la densidad de campo obtenida de la capa compactada debe ser igual a la máxima densidad seca obtenida en los ensayos.

5. ACEPTACIÓN DE LOS TRABAJOS

Para este apartado, el ingeniero supervisor deberá verificar las consideraciones necesarias para demostrar que el trabajo fue realizado correctamente. Para eso, el supervisor se registrará de los siguientes criterios:

a. Controles

El ingeniero supervisor deberá velar por la correcta ejecución de la partida para eso su función principal será:

- Comprobar que los materiales que se utilizan cumplan con los requisitos de calidad y se utilice la dosificación correcta.
- Exigir las medidas de seguridad para los trabajadores durante la ejecución de la partida.

- Evaluar que los equipos estén en buen estado y funcionamiento.
- Verificar que los trabajos realizados sean realizados de la manera correcta.

b. Calidad del trabajo terminado

El nivel de subrasante y la calidad de la misma deberá cumplir con los requerimientos que el Supervisor pueda evaluar, lo cual se tomará en cuenta las siguientes comprobaciones:

1. Compactación

Se deberá tomar la densidad de cada capa compactada y mejorada, los cuales se elegirá tramos al azar, dirigidas por el ingeniero supervisor. El número mínimo de densidades de campo son 6 por tramo. Para esta comprobación se deberá verificar que cada densidad individual debe ser el 95% de la máxima densidad seca, obtenida en el ensayo de Proctor Modificado.

$$D_i \geq 0.95 * D_e$$

Asimismo, el contenido de humedad a trabajar no debe variar en 2% respecto al porcentaje óptimo de humedad, obtenido en el ensayo de Proctor.

2. Espesor

Una vez escogidos los tramos a evaluar, también se determinará el espesor de la capa compactada y mejorada, la cual no deberá ser menor a la capa de diseño. Asimismo, cada espesor individual no deberá ser menos al 95% de la capa de diseño. En caso, el supervisor no acepte el trabajo, el contratista deberá ejecutar nuevamente o mejorar el trabajo con gastos por su propia cuenta, hasta que se logra la comprobación.

3. Protección del suelo mejorado

Aquí el contratista deberá asegurar que el trabajo terminado se conserve hasta que pueda colocarse la capa superior, en este caso la sub base. Asimismo, el supervisor deberá verificar que la superficie mejorada y compactada se conserve correctamente.

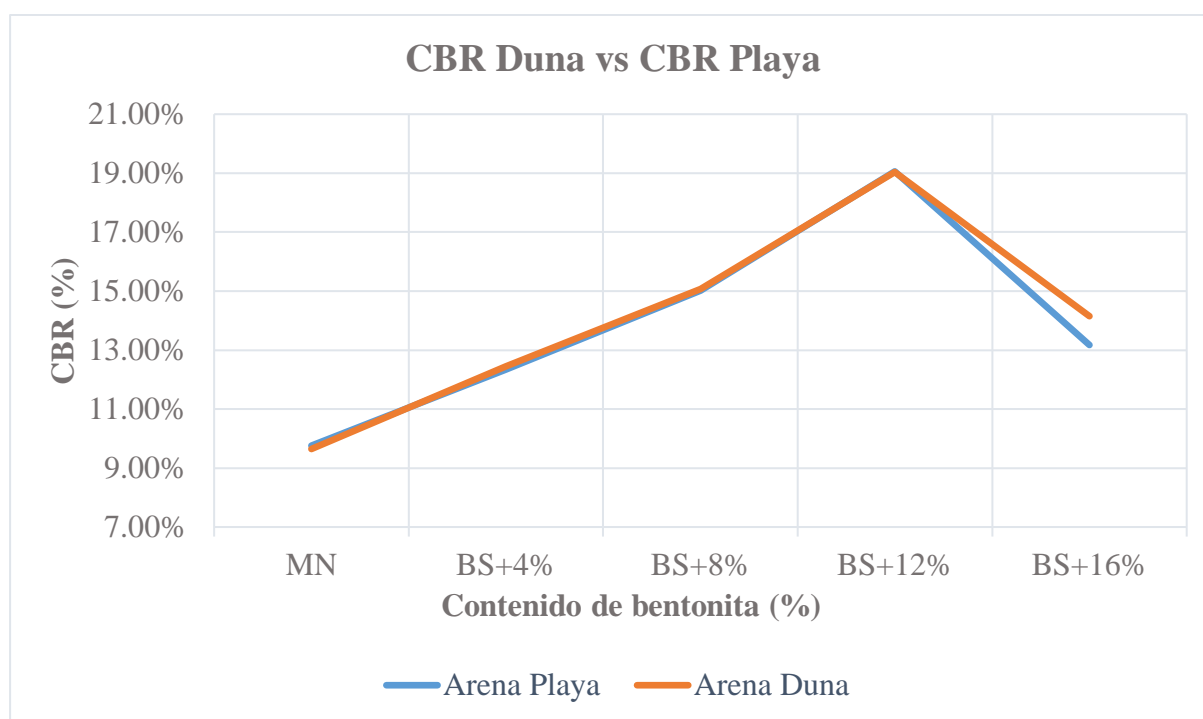
Discusión de resultados

Ensayos de Laboratorio

En esta investigación se plantearon los objetivos específicos que responderán al objetivo e hipótesis general de la misma. En primer lugar, era determinar la influencia de la adición de bentonita sódica con dosificaciones de 4%, 8%, 12% y 16% para mejorar la capacidad resistente del suelo conformado por arenas de duna y playa

Según los resultados obtenidos dentro del ensayo CBR se logra observar un incremento de la capacidad resistente con el 12% de adición, siendo este el máximo valor. Esto sucede para ambas muestras de arenas, tanto de duna como de playa, lo cual se muestra en la gráfica N°13 Asimismo, se muestra un descenso en la adición de 16% de bentonita para ambas muestras. La muestra natural alcanzó un valor de 9.76% hasta un valor máximo de 19.06%. del valor de CBR. El valor que se tomó es del 0.1” de penetración, según los requerimientos de la norma ASTM para este ensayo.

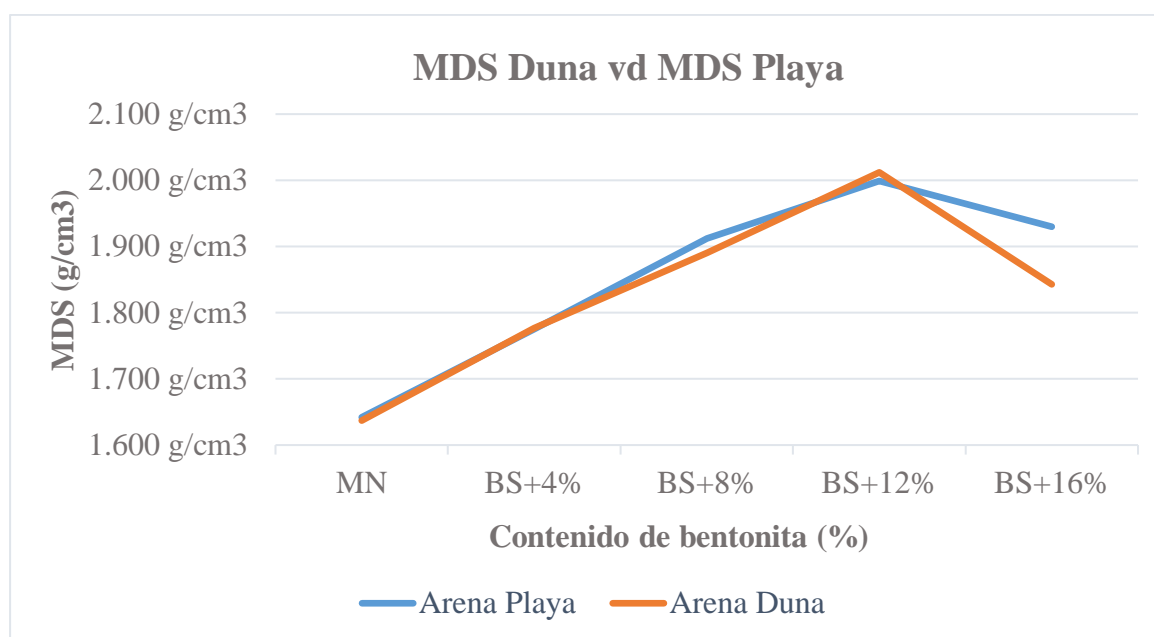
Este comportamiento podría explicarse y basarse en otras investigaciones realizadas con adiciones químicas, ya que el incremento de la capacidad portante no depende de la cantidad de material estabilizante, sino de la reacción química que sucede entre los granos del material natural y el material a estabilizar [25]. Por otro lado, según los valores obtenidos la muestra estabilizada se define como una subrasante buena, lo cual corrobora el objetivo que se planteó.



Gráfica 13. CBR de arena de duna y CBR de arena de playa

Algunas investigaciones afirman que sólo se evalúa el comportamiento del contenido de la bentonita en las propiedades mecánicas de la mezcla, mas no cómo la gradación de la arena influye en sus propiedades [25]. Por otro lado, Sivapullaiah y Sridharan [26] evaluaron diferentes porcentajes de bentonita con arena y concluyeron que los valores del límite líquido son mayores usando arena gruesa en comparación con la fina. Esto podría establecer que muchas de las propiedades físicas y mecánicas no solo depende de la cantidad de arcilla que presenta, sino en la distribución de sus partículas y como estas generan una interfaz arena-bentonita resistente.

Como parte del objetivo N°2 es determinar la influencia que tiene las adiciones de la bentonita sódica en el incremento de la máxima densidad seca. Dicho comportamiento se muestra en la gráfica N°14, donde posee un incremento lineal y descendente, casi similar al comportamiento del CBR con sus adiciones. Esto se debe a la explicación anteriormente explicada en el párrafo anterior.



Gráfica 14. MDS de arena de duna y MDS de arena de playa

Según el gráfico N°14, nos muestra la variación entre ambas muestras de arena para el parámetro de la máxima densidad seca. Las arenas de duna alcanzan un valor inicial de 1.637 g/cm³ hasta alcanzar un valor máximo de 2.012 g/cm³. Las arenas de playa alcanzan un valor inicial de 1.642 g/cm³ hasta un valor máximo de 1.999 g/cm³. Se logra determinar que los valores obtenidos son muy cercanos entre sí, siendo su diferencia poca significativa. Como parte de la hipótesis inicial, se pretendía encontrar una diferencia más significativa de ambas muestras, debido a su diferente naturaleza.

Ciertos estudios afirman que el comportamiento de las muestras ensayadas se debe a la capacidad de la bentonita sódica para absorber grandes cantidades de agua [11]. Un estudio reciente descubrió que en porcentajes superiores al 3% de bentonita, ésta aumentaba su capacidad de agua en un 10,2% [27]. Por otro lado, un estudio realizado mostrando el modelado de probetas cilíndricas de arena y bentonita con métodos discretos 3D, indica que la transferencia de fuerza interna aumenta con relación al contenido de bentonita [28]. Esta es una característica principal de los suelos granulares, que, al no tener cohesión, el comportamiento de sus partículas es totalmente diferente [29]. El estudio de la forma de contacto entre sus partículas es importante para evaluar cómo afecta a las propiedades mecánicas de suelos granulares como la arena.

Asimismo, la evaluación de la expansividad es necesaria para evitar problemas futuros como retracciones, asentamiento en el pavimento o inestabilidad de taludes [30], por lo que se debe evaluar su efecto en la mezcla. Cabe resaltar que a mayor cantidad de bentonita no significará un mayor grado de expansión. Según Pérez [31], es necesario evaluar la expansividad incluso con una pequeña mezcla de bentonita, ya que esta pueda influenciar mucho en esta propiedad. Para los datos obtenidos, se considera como un suelo con grado de expansividad bajo, según la clasificación de suelos expansivos de Holtz y Gibs.

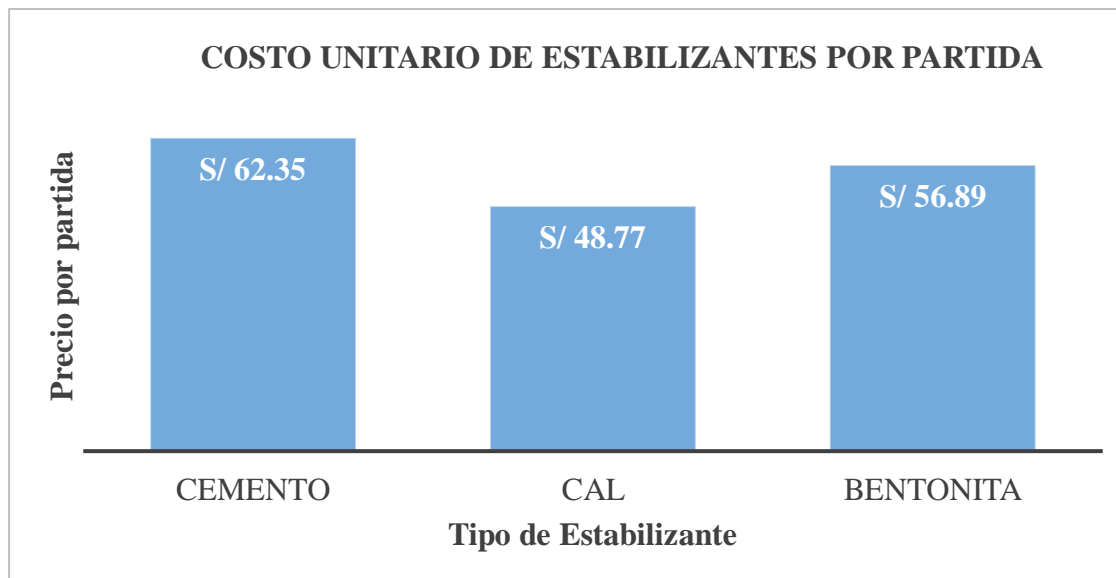
No obstante, también se realizó los ensayos químicos para las muestras naturales. Se nota que las arenas de playa presentan un porcentaje mayor de sales que el permisible, el cual es 0.5%. Para las arenas de duna, existe una reducción del valor de sales para su muestra. Esta diferencia se debe a la cercanía del lecho marino de las arenas de playa, por lo cual su porcentaje de arenas es mayor. Comportamiento similar sucede con los sulfatos y cloruros, pudiendo superar los máximos permisibles para la norma. Cabe resaltar que la norma de Suelos y Pavimentos, no hace mención a valores permisibles en subrasantes.

Tabla 26.

Valores permisibles de Sales, Cloruros y Sulfatos

Muestra	Sales (%)		Sulfatos (%)		Cloruros (%)	
	Real	Perm.	Real	Perm.	Real	Perm.
Arena de Playa	2.55	1.0	2.08	1.0	0.60	0.6
Arena de Duna	1.15		1.08		0.56	

Por otro lado, como parte del objetivo siguiente era evaluar el costo que tenía la partida de estabilización de subrasante utilizando bentonita sódica y en comparación con cemento o cal. Se realizó el costo unitario de cada uno de los materiales, y dicho comportamiento se muestra en la gráfica N°14.



Gráfica 15. Comparación de costo unitario de estabilizante por m2

En el gráfico N°15 se observa que hay una diferencia entre el cemento y la bentonita, lo cual implicaría una reducción en los costos de estabilización de subrasante por m2 dentro de un expediente técnico. Por otro lado, la cal en consecuencia es un material mucho más barato que la bentonita y cemento, debido a su producción. Sin embargo, como parte de la selección del estabilizador más óptimo para un suelo de características granulares como son las arenas, el más óptimo sería la bentonita sódica. Asimismo, al ser un producto industrializado, así como el cemento y la cal, su compra no escaparía de la realidad. A pesar de que la diferencia no es muy grande, en carreteras de longitudes de grandes dimensiones la variación tomará un valor significativo. Asimismo, esto traería consigo una mayor demanda de este material y no limitado a perforaciones o usos petroleros. Una reciente investigación evidencia que la instalación de más plantas de procesamiento de bentonita es más viable que el procesamiento de cemento, debido al bajo costo de la materia prima y los gastos administrativos [32]

Posteriormente, el objetivo N°4 propone realizar un diseño de un pavimento convencional y compararlo con la subrasante estabilizado, con la finalidad de reducir los espesores de las capas del pavimento. Dicho objetivo se desarrolló utilizando la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimento. Asimismo, se consideró que el diseño debería realizarse para una carretera

de bajo tránsito, ya que según los antecedentes mostrados afirman que el suelo granular como lo es la arena posee bajas capacidades portantes y que, a pesar de su estabilización, debería limitarse a vías donde no haya mucha demanda de tráfico. Teniendo estas consideraciones se resolvió que el pavimento convencional, tendría un espesor total de 20cm y el pavimento estabilizado con bentonita tendría 15cm de espesor. Estos 5cm de diferencia podría significar una reducción en los costos adicional, en comparación con traer material de una cantera y estabilizarlo con material de préstamo. Asimismo, podríamos reducir la brecha ambiental de extracción y utilizar más los materiales in situ.

Finalmente, como ultimo objetivo se tuvo el elaborar una especificación técnica para la partida de estabilización técnica con bentonita sódica, usando las consideraciones ya mencionadas para este material. Para este objetivo se tuvo en cuenta la dosificación optima obtenida de los ensayos de laboratorio. Así también, se tomo en cuenta que al ser un material industrializado como lo es el cemento y la cal, su aplicación en el suelo sería similar a estos materiales. Asimismo, las consideraciones adicionales como parte de la ejecución de la partida de estabilización, tales como el nivel freático o la altura de estabilización, deberán ser tema de decisión por parte del profesional responsable, más no como parte de este documento.

Conclusiones

- Se determinó a través de los ensayos físicos que la muestra natural era una arena pobremente graduada (SP) o un suelo A-3, con un índice de plasticidad de 0, debido a la ausencia de partículas cohesivas. Asimismo, se pudo determinar que la adición a partir del 12% de bentonita sódica, otorgaba plasticidad a la mezcla, siendo un factor importante en la estabilización de suelos. Se alcanza un índice de plasticidad del 16.20% con una adición del 16% de bentonita, siendo esta la mayor.
- Se concluye que la adición de bentonita sódica aumenta la máxima densidad seca de 1.642 g/cm³ de la muestra natural a 1.999 g/cm³ con un porcentaje de 12% de adición. Asimismo, la humedad necesaria en relación con la MDS aumenta progresivamente de 6.67% a 13.18%, debido a la capacidad de la bentonita de absorber grandes cantidades de agua. Se determina que la dosificación óptima, la cual alcanza valores mayores de la MDS es con el 12% de bentonita.
- Se concluye que existe una mejora en la capacidad resistente del suelo arenoso, alcanzado un incremento de 9.76% a 19.06% del valor de CBR, con una adición del 12% de bentonita. De la misma manera, se evaluó la expansión que tuvo las muestras ya que las arenas en estado natural no presentan esta propiedad, obteniéndose un incremento de hasta 2.5mm respecto a su volumen inicial con la dosificación mayor de bentonita. La dosificación óptima que alcanzó altos valores de CBR fue la de 12%.
- Se obtuvo valores de porcentaje de sales de 2.55% y 0.87%, sulfatos de 2.08% y 1.10% y cloruros de 0.60% y 0.56% para las muestras de arena de playa y duna respectivamente.
- En el diseño del pavimento, hubo una reducción en los espesores de las capas que lo conforman. Esto se verá reflejado en los costos por partida dentro de un expediente técnico real, ya que habrá una disminución de presupuesto.
- Dentro del análisis económico, se obtuvo que es mucho más barato utilizar bentonita sódica en comparación con el cemento, lo cual implicaría reducción en los costos de la partida. Sin embargo, se deberá evaluar el análisis más detallado con la cal, ya que este material es mucho más barato que la bentonita.
- Se desarrolló las especificaciones técnicas para el uso de la bentonita sódica como material de estabilización para suelos arenosos, para que cualquier profesional pueda usarlo ante presencia de este tipo de suelos.

Recomendaciones

- Se recomienda analizar la expansión más detalladamente, ya que cuando el suelo es expansivo, como es el caso de la bentonita sódica, podría provocar problemas futuros en el pavimento, provocando rajaduras y grietas en las capas del pavimento.
- Se recomienda el uso de una adición más, como por ejemplo los limos. Esto podría originar un tipo de suelo más ideal, ya que tendría porcentajes de arena, arcillas y limo en proporciones ideales, lo cual generaría un aumento en sus propiedades mecánicas.
- Se recomienda reforzar la adición con un cemento resistente a las sales y los sulfatos, ya que esto protegería a la estructura ante su efecto.
- Se recomienda evaluar cómo afecta la gradación de los materiales en el aumento de las propiedades mecánicas, ya que en la discusión se menciona que el material natural fue una arena pobremente graduada.
- Se recomienda reforzar el proceso constructivo dentro del mejoramiento de subrasante en arenas, ya que al ser un material granular su comportamiento es diferente. Una guía más cercana sería los ejemplos de países africanos y norteamericanos.

Bibliografía

- [1] J. L. Bonifaz, R. Urrunaga, J. Aguirre y P. Quequezana, «Brecha de Infraestructura en el Perú - Estimación de la brecha de infraestructura de largo plazo 2019-2038,» Banco Interamericano de Desarrollo, Lima, 2015.
- [2] D. G. d. I. DGIP, «Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública en carreteras,» Ministerio de Economía y Finanzas, Lima, 2015.
- [3] F. Reaño Palacios, «Evaluación experimental del uso de arena de duna como agregado fino para el concreto,» Universidad de Piura, Piura, 2019.
- [4] A. Huerta y W. Lavado, «Atlas: Zonas áridas del Perú,» Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima, 2021.
- [5] A. C. A. Programme, «Guideline on the use of sand in road construction in the SADC region,» Association of Southern African National Road Authorities, Botswana, 2014.
- [6] R. S. Requejo Carrillo, «Estabilización de suelos arenosos utilizando *Oryza sativa* (arroz), Pueblo Joven Las Dunas-Lambayeque-Perú 2019,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2020.
- [7] N. Hidalgo, A. Senese, E. Cano y P. Sarquis, «Caracterización y evaluación de la calidad de bentonitas provenientes de las provincias de San Juan y Río Negro (Argentina) para uso en industria petrolera y cerámica,» *Boletín Geológico y Minero*, vol. 127, n° 4, pp. 791-806, 2016.
- [8] M. Elsayy, «Performance of sand dunes in stabilizing highly expansive soil,» *Journal of GeoEngineering*, pp. 23-34, 2021.
- [9] R. Proia, P. Croce y G. Modoni, «Experimental investigation of compacted sand-bentonite mixtures,» *Procedia Engineering*, vol. 158, pp. 51-56, 2016.
- [10] Wayal, Ameta y Purohit, «Dune sand stabilization using bentonite and lime,» *Journal of Engineering Research and Studies*, pp. 58-60, 2012.
- [11] M. Y. Fattah y A. H. Al-Lami, «Behavior and characteristics of compacted expansive unsaturated bentonite-sand mixture,» *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. VIII, n° 5, pp. 629-639, 2016.

- [12] O. Ojuri y O. Opeyemi, «Strength and Hydraulic Conductivity Characteristics of Sand-Bentonite Mixtures Designed as a Landfill Liner,» *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. XI, n° 4, pp. 614-622, 2017.
- [13] T. Chalermyanont y S. Arrykul, «Compacted sand-bentonite mixtures for hydraulic containment liner,» *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 27, n° 2, pp. 313-323, 2015.
- [14] J. Sobti y S. K. Singh, «Strength and Compaction Analysis of Sand-Bentonite-Coal Ash Mixes,» *Materials Science and Engineering*, vol. 225, pp. 1-9, 2017.
- [15] I. J. Oblitas Vásquez, «Estudio comparativo de la resistencia del adobe con incorporación de dos estabilizantes: bentonita y cal, utilizando suelos del distrito de Oyotún, Chiclayo-Lambayeque,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2020.
- [16] J. J. Escobar Sulca, G. Quispe Sánchez, F. R. Quispe Salazar y J. B. Arana Soto, «Estabilización de una subrasante arcillosa de baja plasticidad con cenizas de cáscaras de arroz,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2020.
- [17] R. Zapata y S. Angelone, «Caracterización de suelos arcillosos y limosos,» Universidad Nacional de Rosario, Rosario, 2018.
- [18] D. McKevitt, «Analysis of California Coastal Dune and Beach Sand Samples,» *The Research and Scholarship symposium*, pp. 1-3, 2018.
- [19] M. Angulo Roldan y C. N. Zavaleta Papa, «Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, distrito San Juan-Maynas-Iquitos, 2019,» Universidad Científica del Perú, Maynas, 2019.
- [20] M. Y. Velandia Castelblanco, «Implementación de bentonita tratada térmicamente como llenante mineral en una mezcla asfáltica MDC-19,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2020.
- [21] L. R. Pinto Bellota y P. M. Castro Gutierrez, «Determinación fisicoquímica y balance de materia de la bentonita sódica en la utilización de cremas de uso tópico para la regeneración dérmica,» Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2017.
- [22] A. Rico Rodrigues y H. Del Castillo Mejía, «Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte,» Instituto Mexicano del Transporte, Ciudad de México, 2015.

- [23] S. E. Calle Llactahuamani y M. G. Arce Huahuachampi, «Estabilización con polímero acrílico de la subrasante de la zona del puente de Añashuayco para su uso como base y comparación frente a un pavimento convencional,» Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2018.
- [24] M. d. T. y. Comunicaciones, «Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito,» Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, 2008.
- [25] V. Srikanth y A. Mishra, «A Laboratory Study on the Geotechnical Characteristics of Sand-Bentonite Mixtures on the Role of Particle Size of Sand,» *International Journal of Geosynth and Ground Engineering*, pp. 1-10, 2016.
- [26] P. Sivapullaiah, A. Sridharan y V. Stalin, «Hydraulic conductivity of bentonite-sand mixtures,» *Can Geotech Journal*, pp. 406-413, 2015.
- [27] M. Abulimiti, J. Wang, C. Li, Y. Zhang y S. Li, «Bentonite could be an eco-friendly windbreak and sand-fixing material,» *Environmental Technology & Innovation*, vol. 29, pp. 1-12, 2023.
- [28] Y. Qin, D. Xu y B. Lalit, «Effect of Bentonite Content and Hydration Time on Mechanical Properties of Sand-Bentonite Mixture,» *Applied Sciences*, pp. 1-17, 2021.
- [29] Y. Khadim, R. A.J, A. Adhamii y M. Fattah, «Geotechnical properties of clayey soil improved by sludge ash,» *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 72, nº 1, pp. 34-47, 2022.
- [30] B. S. Idrovo Angumba, «Caracterización de suelos expansivos de la ciudad de Cuenca,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2019.
- [31] J. C. Pérez Rojas y J. A. Orjuela Ortiz, «Análisis experimental de la expansividad en suelos bentoníticos,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2018.
- [32] J. F. Hernández Santa Cruz y P. E. Rosadio Seselja, «Estudio de Pre-Factibilidad para la instalación de una planta procesadora de bentonita para perforaciones industriales,» Universidad de Lima, Lima, 2016.
- [33] B. B. Soberon Monja, «Estabilización de suelos arcillosos usando vidrio reciclado molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos en la Urb. Ciudad del Chofer, Chiclayo 2019,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2022.
- [34] M. d. T. y. Comunicaciones, «Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción,» Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, 2015.

- [35] M. d. T. y. Comunicaciones, «Manual de Carreteras: Suelos, Geología Geotecnia y Pavimentos,» Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, 2015.

Anexos**Anexo N°01: Panel Fotográfico**

Lugar de extracción de las arenas de dunas en la ciudad de Morrope



Planta de Vichayo, representativa en las arenas de duna y playa



Ensayo Granulométrico para las muestras naturales de arena



Realización de límite líquido para muestra natural y con adiciones



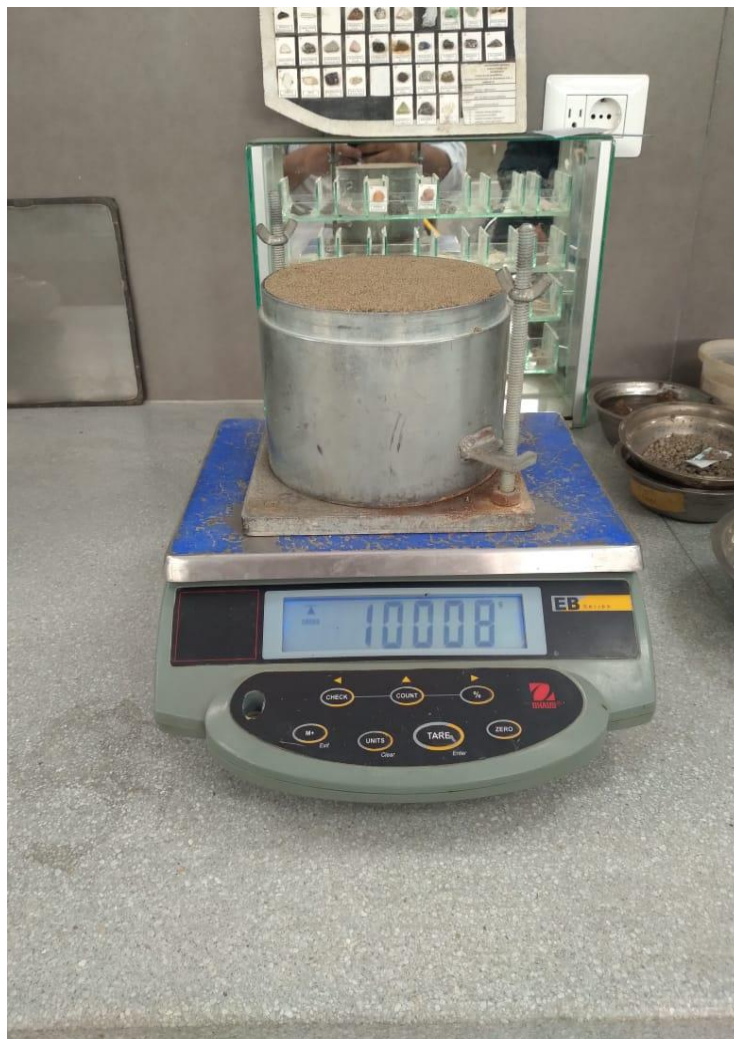
Muestras Experimentales con adición de bentonita para ser ensayados



Realización de la compactación en el ensayo de Proctor Modificado



Molde de 4 pulgadas para el ensayo de Proctor Modificado



Muestra compactada con 5 capas y 56 golpes cada una siendo pesada



Pesado de cada muestra experimental con su dosificación de Bentonita



Muestra y equipos necesarios para el ensayo de Proctor modificado



Moldes para 56, 25 y 12 golpes respectivamente del ensayo de CBR



Sumergimiento de las muestras en agua por 96 horas para la expansión



Toma de las expansiones con el dial de deformación cada 12 horas



Realización del ensayo de penetración para todo el muestreo

Anexo N° 02: Resultado de Ensayos de Laboratorio



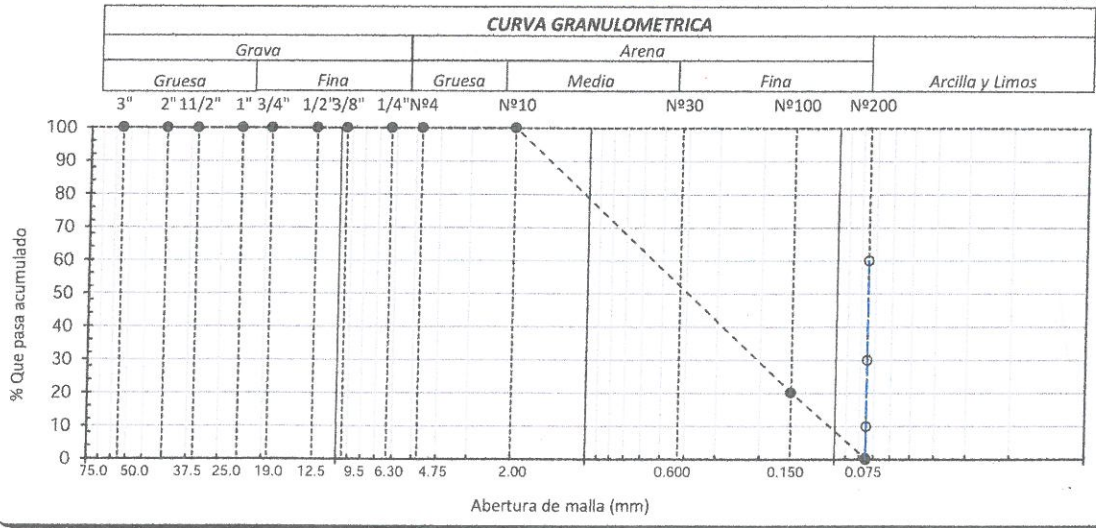
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Solicitante : INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
 TESISTA : LUIS ANGEL CHIROQUE NEGRON
 TESIS : MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECANICAS DE ARENAS DE DUNA Y PLAYA CON BENTONITA SODICA PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN CARRETERAS
 Ubicación : DISTRITO CHICLAYO, PROVINCIA CHICLAYO, DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE
 ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

Calicata: C-01 Muestra: Natural Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)					
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL : 500.00 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO : 500.00 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO FINO : 500.00 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE LIQUIDO : 26.4 %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE PLASTICO : 17.00 %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0	INDICE PLASTICIDAD : 9.37 %
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. AASHTO : A-2-4 (0)
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. SUCS : GP
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0	DESCRIPCIÓN DEL SUELO : <i>Arena Pobremente Graduada.</i>
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0	Ensayo Malla Nº200
Nº10	2.360	0.00	0.0	0.0	100.0	
Nº20	1.180	0.00	0.0	0.0	100.0	% HUMEDAD
N40	0.600	0.90	0.2	0.2	99.8	
Nº50	0.300	0.84	0.2	0.4	99.6	MODULO DE FINEZA
Nº100	0.150	396.80	79.4	79.8	20.2	
Nº200	0.075	99.46	19.9	99.7	0.3	Coef. Uniformidad : 1.9
< Nº 200	FONDO	84.82	17.0	116.7	-16.7	Coef. Curvatura : 1.0



Observaciones:

[Handwritten signature]
 ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Luis Angel Chiroque Negron
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de Octubre del 2022

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 399.127: 1998

Calicata: C-01

Muestra: Natural

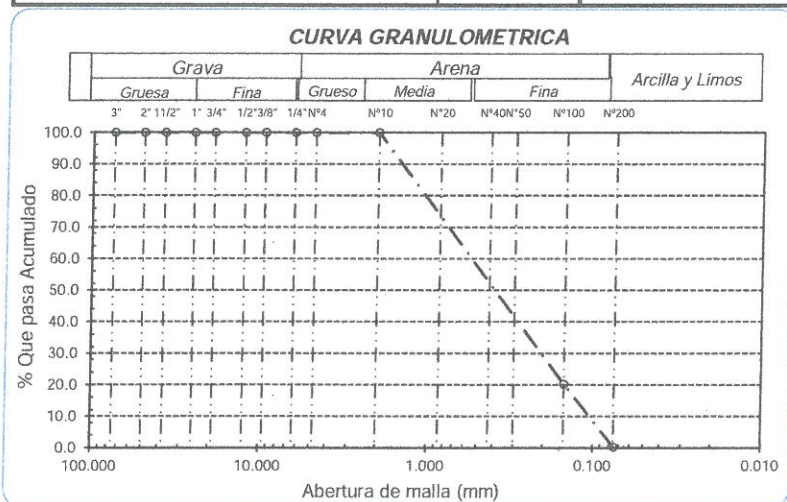
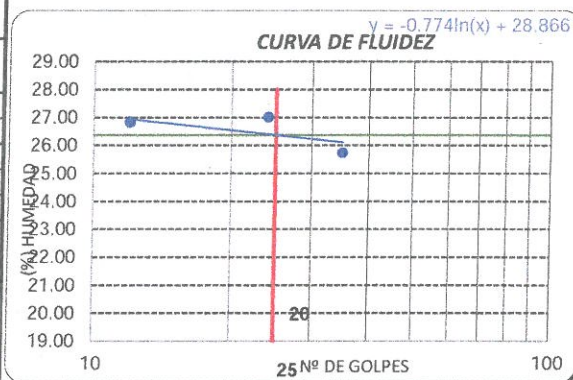
Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.0	100.0
N° 4	4.750	0.0	100.0
N° 10	2.000	0.0	100.0
N° 20	0.850	0.0	100.0
N° 50	0.300	0.4	99.6
N° 100	0.150	79.8	20.2
N° 200	0.075	99.7	0.3

Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	0.0	
	G.F. %	0.0	0.0
% Arena	A.G. %	0.0	
	A.M. %	0.2	
	A.F. %	99.5	99.7
% Arcilla y Limo		0.3	0.3
Total			100.0

Contenido de Humedad	
	0.5

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	26.38 (%)
Límite Plástico (LP)	17.00 (%)
Índice Plástico (IP)	9.37 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SP
Descripción del suelo	Arena Finamente Graduada
Clasificación (AASHTO)	A-2-4 (0)
Descripción	BUENO



[Handwritten signature]
ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



Solicitante : INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
TESISTA : LUIS ANGEL CHIROQUE NEGRON
TESIS : MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS DE DUNA Y PLAYA CON BENTONITA SÓDICA PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN CARRETERAS
Ubicación : DISTRITO CHICLAYO, PROVINCIA CHICLAYO, DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

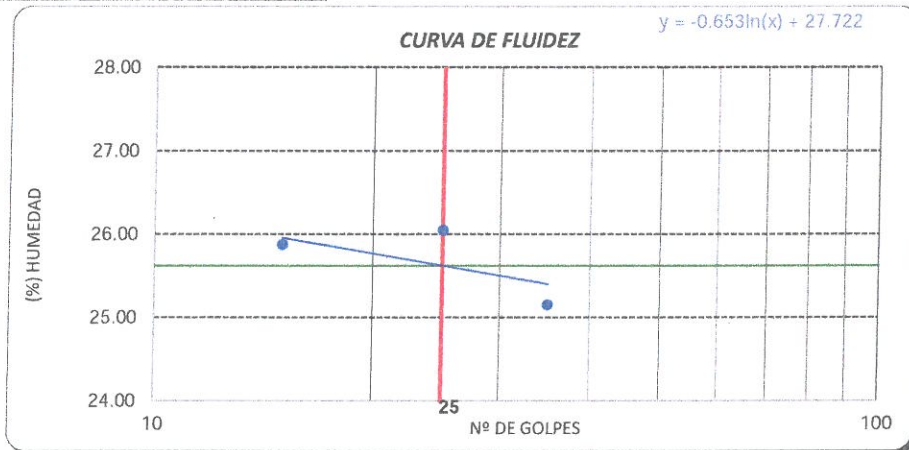
Calicata: C-01 Muestra: Natural+16% BS
0

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	L-3	L-2	L-9	L-11	
N° de tarro					
N° de golpes	35	25	15		
Tarro + suelo húmedo	30.58	33.19	32.19	22.62	
Tarro + suelo seco	28.04	30.06	29.22	22.22	
Agua	2.54	3.13	2.97	0.4	
Peso del tarro	17.94	18.04	17.74	17.92	
Peso del suelo seco	10.1	12.02	11.48	4.3	
Porcentaje de humedad	25.15	26.04	25.87	9.30	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA

Límite Líquido	25.62
Límite Plástico	9.30
Índice de Plasticidad	16.32



Observaciones:

[Firma manuscrita]
ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Solicitante : INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
TESISTA : LUIS ANGEL CHIROQUE NEGRON
TESIS : MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS DE DUNA Y PLAYA CON BENTONITA SÓDICA PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN CARRETERAS
Ubicación : DISTRITO CHICLAYO, PROVINCIA CHICLAYO, DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE

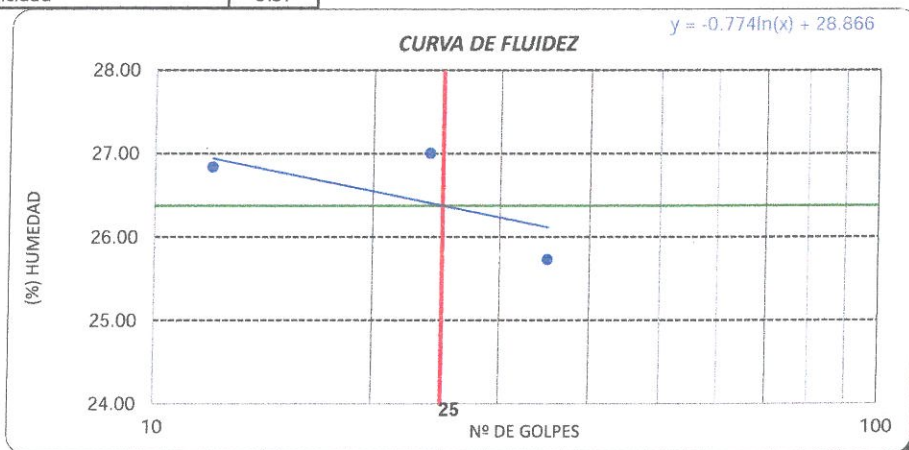
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: C-01 Muestra: Natural+12% BS Profundidad: 0.10m. - 1.50m.
 0

Datos de ensayo.	Límite Líquido			Límite Plástico	
	L-10	L-13	L-7	L-23	
N° de tarro					
N° de golpes	35	24	12		
Tarro + suelo húmedo	31.88	29.16	35.92	31.86	
Tarro + suelo seco	28.97	26.8	32.27	31.1	
Agua	2.91	2.36	3.65	0.76	
Peso del tarro	17.66	18.06	18.67	26.63	
Peso del suelo seco	11.31	8.74	13.6	4.47	
Porcentaje de humedad	25.73	27.00	26.84	17.00	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	26.38
Límite Plástico	17.00
Índice de Plasticidad	9.37



Observaciones:

[Firma manuscrita]
 ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



Solicitante : INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
TESISTA : LUIS ANGEL CHIROQUE NEGRON
TESIS : MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS DE DUNA Y PLAYA CON BENTONITA SÓDICA PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN CARRETERAS
Ubicación : DISTRITO CHICLAYO, PROVINCIA CHICLAYO, DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE

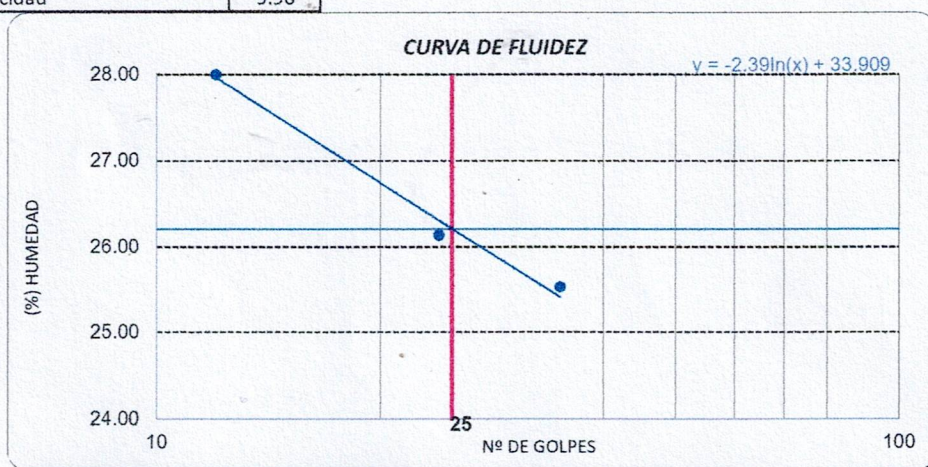
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: C-01 Muestra: Duna+12% BS Profundidad: 0.10m. - 1.50m.
0

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	L-10	L-13	L-7	L-23	
N° de tarro					
N° de golpes	35	24	12	35	24
Tarro + suelo húmedo	32.02	29.45	35.95	31.98	
Tarro + suelo seco	29.1	27.09	32.17	31.23	
Agua	2.92	2.36	3.78	0.75	
Peso del tarro	17.66	18.06	18.67	26.63	
Peso del suelo seco	11.44	9.03	13.5	4.6	
Porcentaje de humedad	25.52	26.14	28.00	16.30	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	26.21
Límite Plástico	16.30
Índice de Plasticidad	9.90



Observaciones:

ESTUDIANTE



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 - Muestra Natural (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

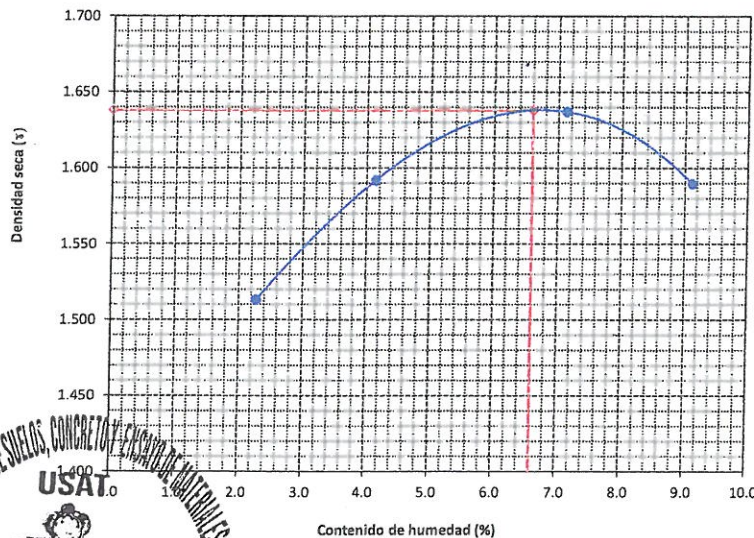
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	9290	9520	9720	9680
Peso del molde	g.	6060	6060	6060	6060
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3230	3460	3660	3620
Volumen del molde	cm ³	2087	2087	2087	2087
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.548	1.658	1.754	1.735

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		F-3	F-2	F-4	T-1
Peso del suelo húmedo + tara	g.	163.05	147.54	159.54	177.69
Peso del suelo seco + tara	g.	160.06	142.80	150.80	165.22
Peso de tara	g.	28.50	28.33	28.19	28.44
Peso de agua	g.	2.99	4.74	8.74	12.47
Peso de suelo seco	g.	131.56	114.47	122.61	136.78
Contenido de agua	%	2.3	4.1	7.1	9.1
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.513	1.592	1.637	1.590

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.638	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	6.60	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

Firma de Técnico Laboratorio

TÉCNICO DE LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando
una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 4% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

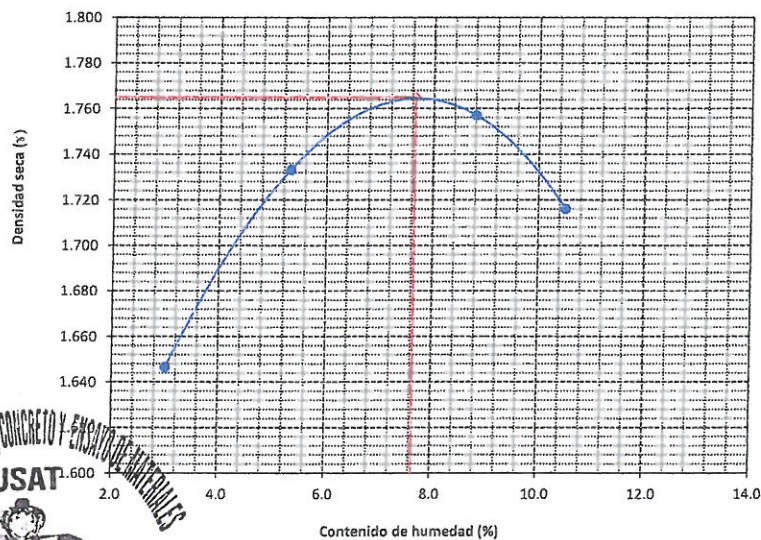
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	9600	9870	10050	10018
Peso del molde	g.	6060	6060	6060	6060
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3540	3810	3990	3958
Volumen del molde	cm ³	2087	2087	2087	2087
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.696	1.826	1.912	1.897

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		F-2	T-38	T-1	W-1
Peso del suelo húmedo + tara	g.	156.03	174.38	190.08	186.52
Peso del suelo seco + tara	g.	152.30	167.00	177.00	172.50
Peso de tara	g.	28.40	28.44	28.48	39.19
Peso de agua	g.	3.73	7.38	13.08	14.02
Peso de suelo seco	g.	123.9	138.56	148.52	133.31
Contenido de agua	%	3.0	5.3	8.8	10.5
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.647	1.733	1.757	1.716

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.765	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	7.65	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
Firma del Técnico de Laboratorio
TÉCNICO DE LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando
una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 8% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

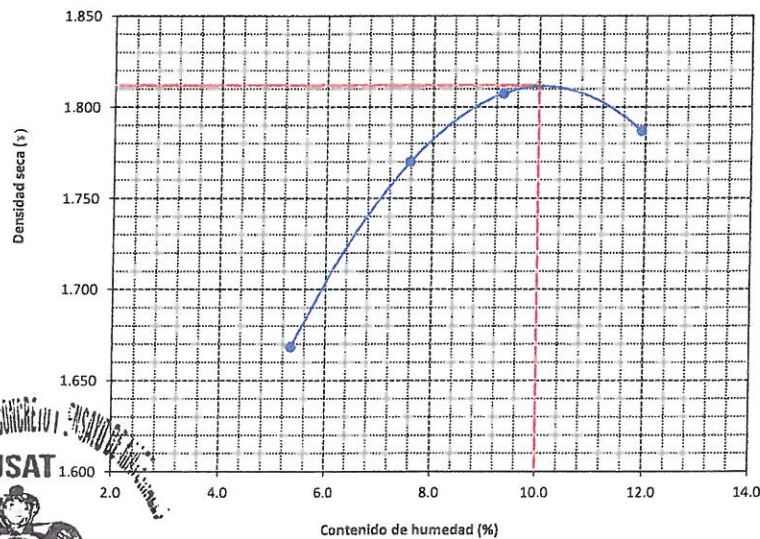
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	9794	10100	10250	10300
Peso del molde	g.	6126	6126	6126	6126
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3668	3974	4124	4174
Volumen del molde	cm ³	2087	2087	2087	2087
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.758	1.904	1.976	2.000

CONTENIDO DE HUMEDAD

N° Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	492.33	378.04	395.14	350.15
Peso del suelo seco + tara	g.	472.08	355.00	366.00	322.80
Peso de tara	g.	93.40	51.25	53.50	93.40
Peso de agua	g.	20.25	23.04	29.14	27.35
Peso de suelo seco	g.	378.68	303.75	312.5	229.4
Contenido de agua	%	5.3	7.6	9.3	11.9
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.668	1.770	1.807	1.787

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.812	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.00	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, GEOTECNIA Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT



Firma del Laboratorio

TÉCNICO DE LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando
una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 12% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

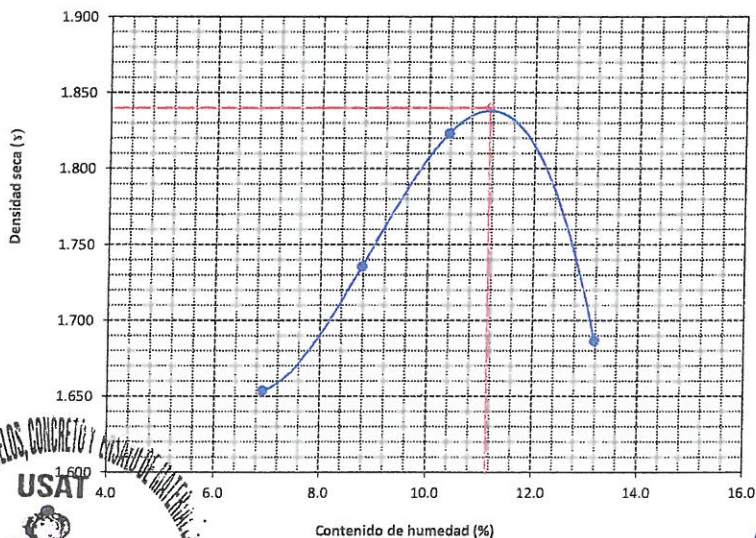
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	9750	10000	10260	10044
Peso del molde	g.	6060	6060	6060	6060
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3690	3940	4200	3984
Volumen del molde	cm ³	2087	2087	2087	2087
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.768	1.888	2.012	1.909

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	393.40	355.03	379.52	557.68
Peso del suelo seco + tara	g.	374.00	330.76	348.93	502.54
Peso de tara	g.	93.40	54.19	54.19	84.00
Peso de agua	g.	19.4	24.27	30.59	55.14
Peso de suelo seco	g.	280.6	276.57	294.74	418.54
Contenido de agua	%	6.9	8.8	10.4	13.2
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.654	1.736	1.823	1.687

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.840	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.15	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENRIQUECIMIENTO DE CARRETERAS
USAT

Firma de Técnico de Laboratorio

TÉCNICO DE LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)) N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 16% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

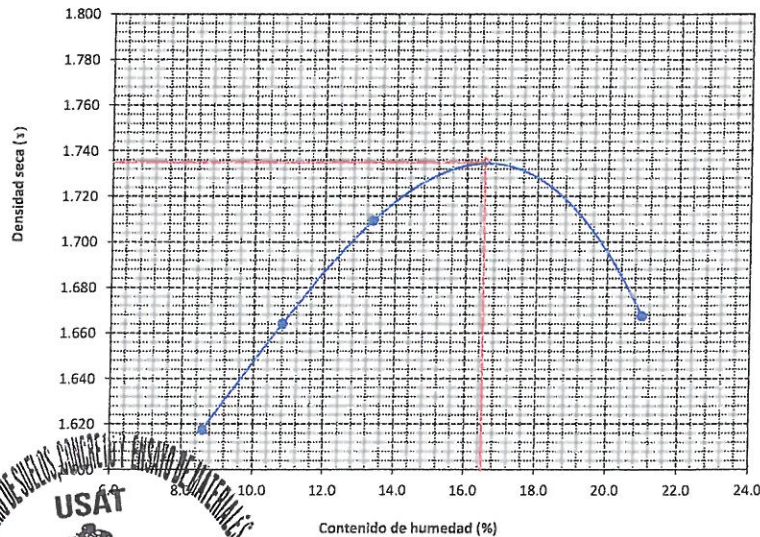
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	9725	9908	10104	10270
Peso del molde	g.	6060	6060	6060	6060
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3665	3848	4044	4210
Volumen del molde	cm ³	2087	2087	2087	2087
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.756	1.844	1.938	2.017

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	402.70	386.15	165.16	190.75
Peso del suelo seco + tara	g.	379.00	356.90	149.03	162.58
Peso de tara	g.	102.70	86.15	28.31	28.31
Peso de agua	g.	23.7	29.25	16.13	28.17
Peso de suelo seco	g.	276.3	270.75	120.72	134.27
Contenido de agua	%	8.6	10.8	13.4	21.0
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.617	1.664	1.709	1.667

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.735	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	16.50	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Firma de Técnico

LABORATORIO DE SUELOS, CANCHALES Y PAVIMENTOS DE MATERIALES
USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CANCHALES Y PAVIMENTOS DE MATERIALES
TÉCNICO DE LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/piel³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1

MUESTRA : M-1 - Muestra Natural

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

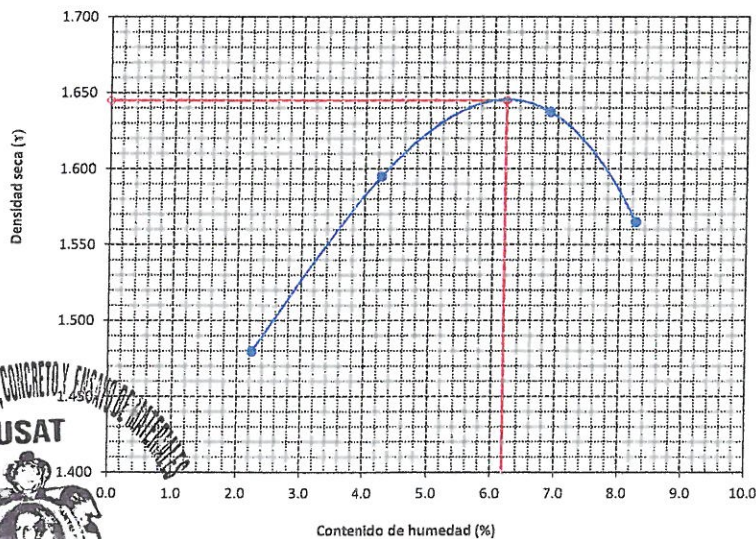
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	9926	10242	10426	10308
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3184	3500	3684	3566
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.513	1.663	1.750	1.694

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	640.00	390.00	337.00	442.00
Peso del suelo seco + tara	g.	626.00	374.10	315.30	408.30
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	14	15.9	21.7	33.7
Peso de suelo seco	g.	626	374.1	315.3	408.3
Contenido de agua	%	2.2	4.3	6.9	8.3
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.480	1.595	1.637	1.565

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.645	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	6.19	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
USAT



Firma del Técnico de Laboratorio

TÉCNICO DE LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 4% BS
PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

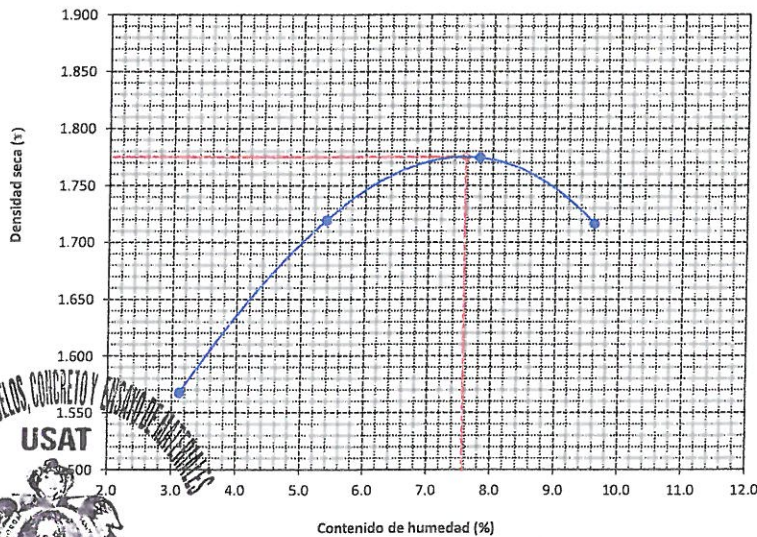
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10145	10556	10768	10702
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3403	3814	4026	3960
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.617	1.812	1.913	1.881

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	347.40	524.80	300.00	416.50
Peso del suelo seco + tara	g.	336.90	498.00	278.30	380.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	10.5	26.8	21.7	36.5
Peso de suelo seco	g.	336.9	498	278.3	380
Contenido de agua	%	3.1	5.4	7.8	9.6
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.568	1.719	1.774	1.716

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.775	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	7.57	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
USAT
Firma: [Firma] Laboratorio
TÉCNICO DE LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 8% BS
PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

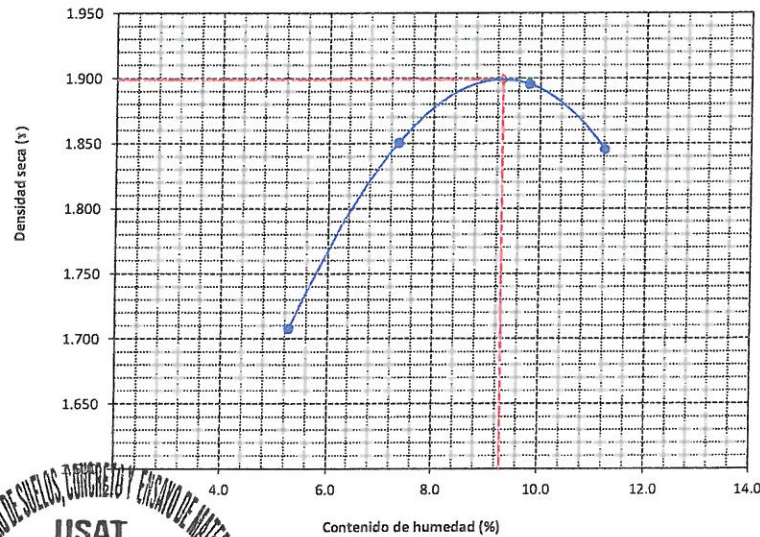
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10526	10923	11123	11062
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3784	4181	4381	4320
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.798	1.986	2.081	2.052

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	463.20	431.50	524.40	374.80
Peso del suelo seco + tara	g.	440.00	402.00	477.60	337.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	23.2	29.5	46.8	37.8
Peso de suelo seco	g.	440	402	477.6	337
Contenido de agua	%	5.3	7.3	9.8	11.2
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.708	1.850	1.895	1.845

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.899	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.30	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Firma de Técnico de Laboratorio

[Firma manuscrita]
TECNICO : LABORATORIO

Firma de Estudiante Tesista

[Firma manuscrita]



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 12% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

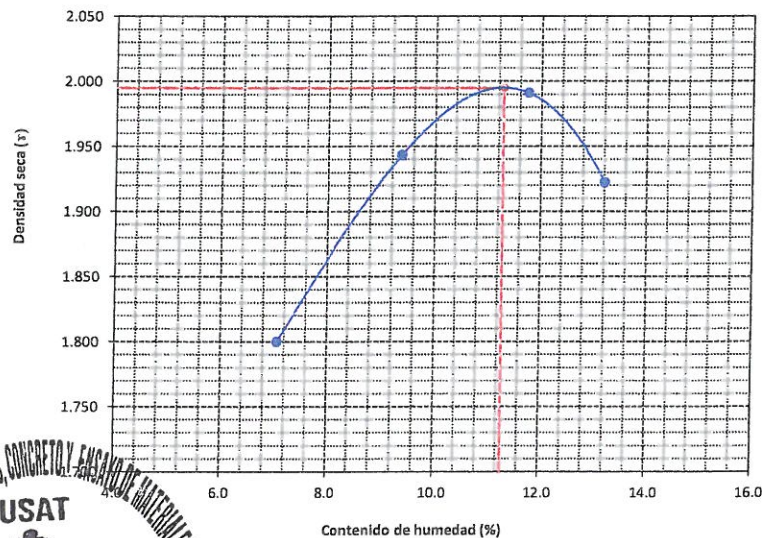
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10798	11216	11426	11323
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4056	4474	4684	4581
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.927	2.125	2.225	2.176

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	339.60	534.40	474.40	300.00
Peso del suelo seco + tara	g.	317.20	488.60	424.50	265.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	22.4	45.8	49.9	35
Peso de suelo seco	g.	317.2	488.6	424.5	265
Contenido de agua	%	7.1	9.4	11.8	13.2
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.800	1.943	1.991	1.922

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.995	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.29	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS, ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
Firma de Técnico del Laboratorio
TECNICO DE LABORATORIOS

Firma de Estudiante Tesista

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando
una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 16% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

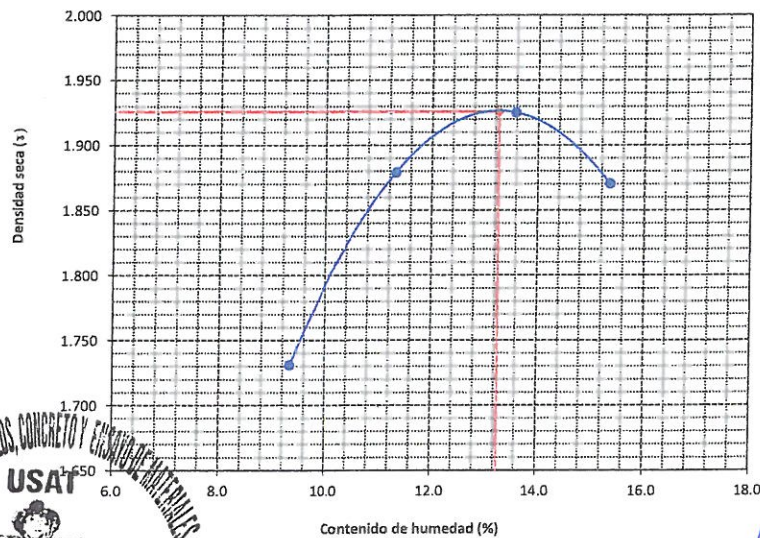
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10726	11145	11345	11284
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3984	4403	4603	4542
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.893	2.092	2.187	2.158

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	402.90	391.50	647.40	521.40
Peso del suelo seco + tara	g.	368.50	351.70	570.00	452.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	34.4	39.8	77.4	69.4
Peso de suelo seco	g.	368.5	351.7	570	452
Contenido de agua	%	9.3	11.3	13.6	15.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.731	1.879	1.925	1.871

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.926	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13.26	%

GRAFICO DEL PROCTOR



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENRIQUECIMIENTO DE MATERIAS
USAT
1-650

Firma del Técnico de Laboratorio

Firma de Estudiante Tesista

TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 - Muestra Natural
PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

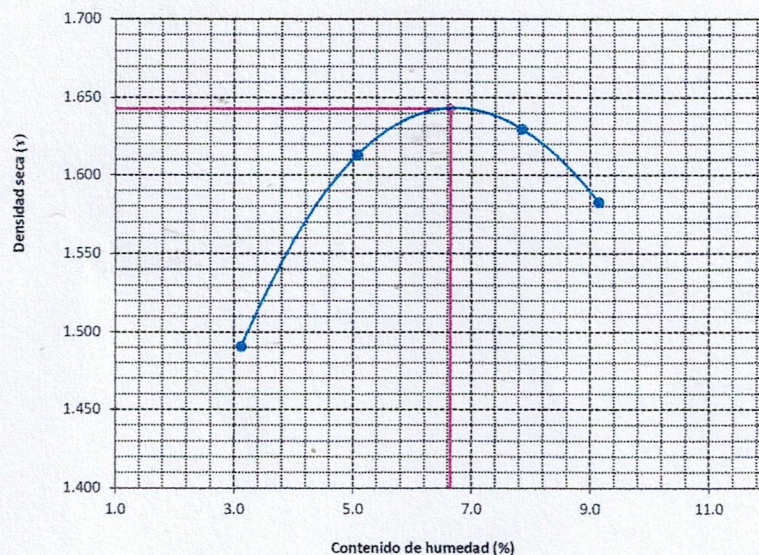
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	9978	10310	10442	10378
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3236	3568	3700	3636
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.537	1.695	1.758	1.727

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	366.90	411.90	457.50	528.80
Peso del suelo seco + tara	g.	355.80	392.00	424.20	484.50
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	11.1	19.9	33.3	44.3
Peso de suelo seco	g.	355.8	392	424.2	484.5
Contenido de agua	%	3.1	5.1	7.9	9.1
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.491	1.613	1.630	1.583

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.643	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	6.65	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Firma de Técnico de Laboratorio

Firma de Estudiante Tesista



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1

MUESTRA : M-1 + 4% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

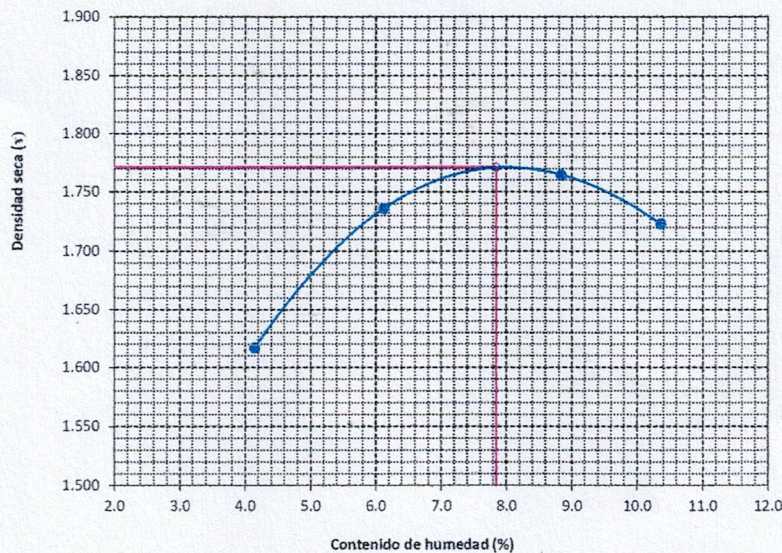
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10287	10620	10785	10745
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3545	3878	4043	4003
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.684	1.842	1.921	1.902

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	547.80	381.50	477.80	338.80
Peso del suelo seco + tara	g.	526.00	359.50	439.00	307.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	21.8	22	38.8	31.8
Peso de suelo seco	g.	526	359.5	439	307
Contenido de agua	%	4.1	6.1	8.8	10.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.617	1.736	1.765	1.723

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.771	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	7.85	%

GRÁFICO DEL PROCTOR



Firma de Técnico de Laboratorio

Firma de Estudiante Tesista



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 8% B5
PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

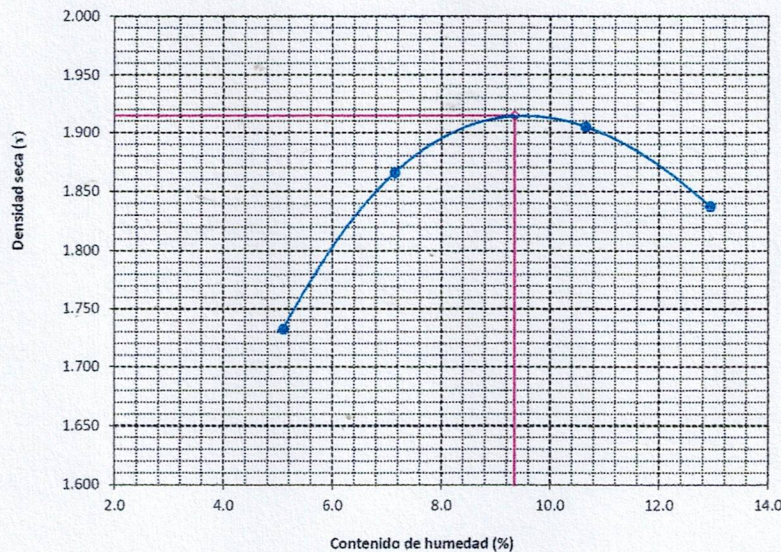
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10575	10950	11180	11110
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	3833	4208	4438	4368
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.821	1.999	2.108	2.075

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	284.80	300.00	400.00	581.60
Peso del suelo seco + tara	g.	271.00	280.00	361.50	515.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	13.8	20	38.5	66.6
Peso de suelo seco	g.	271	280	361.5	515
Contenido de agua	%	5.1	7.1	10.7	12.9
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.733	1.866	1.905	1.837

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.915	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.35	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Firma de Técnico de Laboratorio

Firma de Estudiante Tesista



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1

MUESTRA : M-1 + 12% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

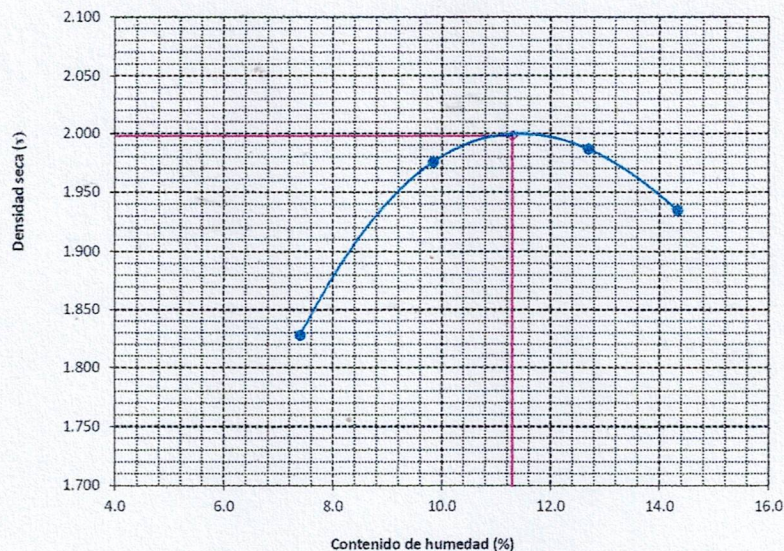
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10874	11310	11455	11398
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4132	4568	4713	4656
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.963	2.170	2.239	2.212

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	354.40	417.40	316.20	354.40
Peso del suelo seco + tara	g.	330.00	380.00	280.60	310.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	24.4	37.4	35.6	44.4
Peso de suelo seco	g.	330	380	280.6	310
Contenido de agua	%	7.4	9.8	12.7	14.3
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.828	1.976	1.987	1.935

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.998	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.30	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Firma de Técnico de Laboratorio

Firma de Estudiante Tesista



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 16% B5 PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

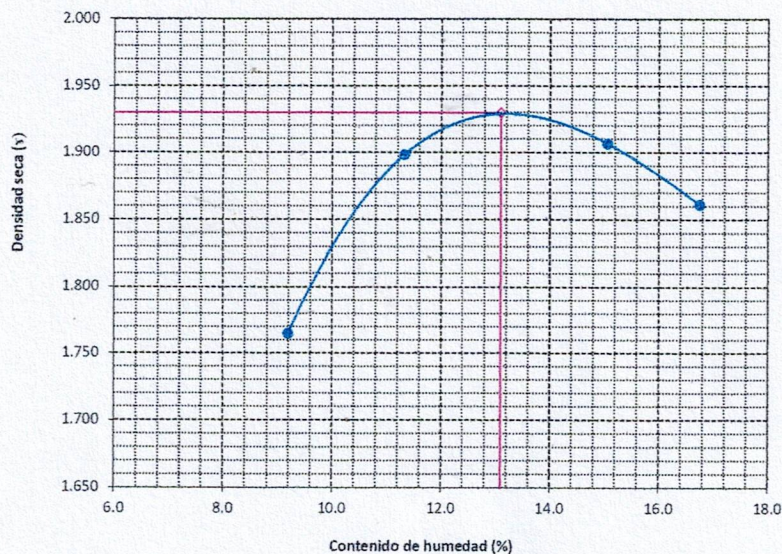
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10798	11190	11360	11316
Peso del molde	g.	6742	6742	6742	6742
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4056	4448	4618	4574
Volumen del molde	cm ³	2105	2105	2105	2105
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.927	2.113	2.194	2.173

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	406.50	299.80	321.00	361.90
Peso del suelo seco + tara	g.	372.30	269.30	279.00	310.00
Peso de tara	g.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	g.	34.2	30.5	42	51.9
Peso de suelo seco	g.	372.3	269.3	279	310
Contenido de agua	%	9.2	11.3	15.1	16.7
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.765	1.898	1.907	1.861

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.930	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13.10	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Firma de Técnico de Laboratorio

Firma de Estudiante Tesista

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 - Muestra Natural (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
N° Molde		11				54				2					
N° Capa		5				5				5					
N° Golpes por capa		56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo		11409		11456		11136		11245		11285		11456			
Peso de molde (g)		7657		7657		7576		7576		7894		7894			
Peso del suelo húmedo (g)		3752		3799		3560		3669		3391		3562			
Volumen del molde (cc)		2134		2134		2123		2123		2110		2110			
Densidad húmeda (g/cc)		1.758		1.780		1.677		1.728		1.607		1.688			
% de humedad		7.37		9.29		7.13		11.38		7.25		13.46			
Densidad seca (g/cc)		1.638		1.629		1.565		1.552		1.498		1.488			
HUMEDAD															
Tarro N°		-													
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		342.5	342.5	342.5	342.5	300.5	300.5	300.5	300.5	362.5	362.5	362.5	362.5		
Tarro + Suelo seco (gr.)		319.0	319.0	313.4	313.4	280.5	280.5	269.8	269.8	338.0	338.0	319.5	319.5		
Peso del Agua (gr.)		23.5	23.5	29.1	29.1	20.0	20.0	30.7	30.7	24.5	24.5	43.0	43.0		
Peso del tarro (gr.)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Peso del suelo seco (gr.)		319.0	319.0	313.4	313.4	280.5	280.5	269.8	269.8	338.0	338.0	319.5	319.5		
% de humedad		7.37	7.37	9.29	9.29	7.13	7.13	11.38	11.38	7.25	7.25	13.46	13.46		
Promedio de Humedad (%)		7.37		9.29		7.13		11.38		7.25		13.46			
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 11				MOLDE N° 54				MOLDE N° 2			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
				Lect. Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect. Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect. Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%
mm.	pulg.														
0.000	0.000	0'00"	0	0			0	0							
0.636	0.025	0'30"	23.4	1			18.9	1			15.5	1			
1.272	0.050	1'00"	41.5	2			34.5	2			28.9	1			
1.908	0.075	1'30"	66.3	4			54.6	3			42.5	2			
2.545	0.100	2'00"	99.4	6	6.9	9.8	81.1	4	5.4	7.7	68.8	3	4.4 6.3		
3.181	0.125	3'00"	135.4	8			103.4	6			89.2	5			
3.817	0.150	4'00"	171.5	10			115.4	7			116.9	6			
5.089	0.200	5'00"	224.1	12	13.2	12.5	146.09	9	10.4	9.9	148.5	8	8.4 18.0		
7.634	0.300	6'00"	334.8	16			245.5	10			191.5	10			
10.178	0.400	8'00"	415.9	20			291.4	13			224.1	11			
12.723	0.500	10'00"													


ESTUDIANTE


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAF
TECNICO DE LABORATORIO

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
 N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

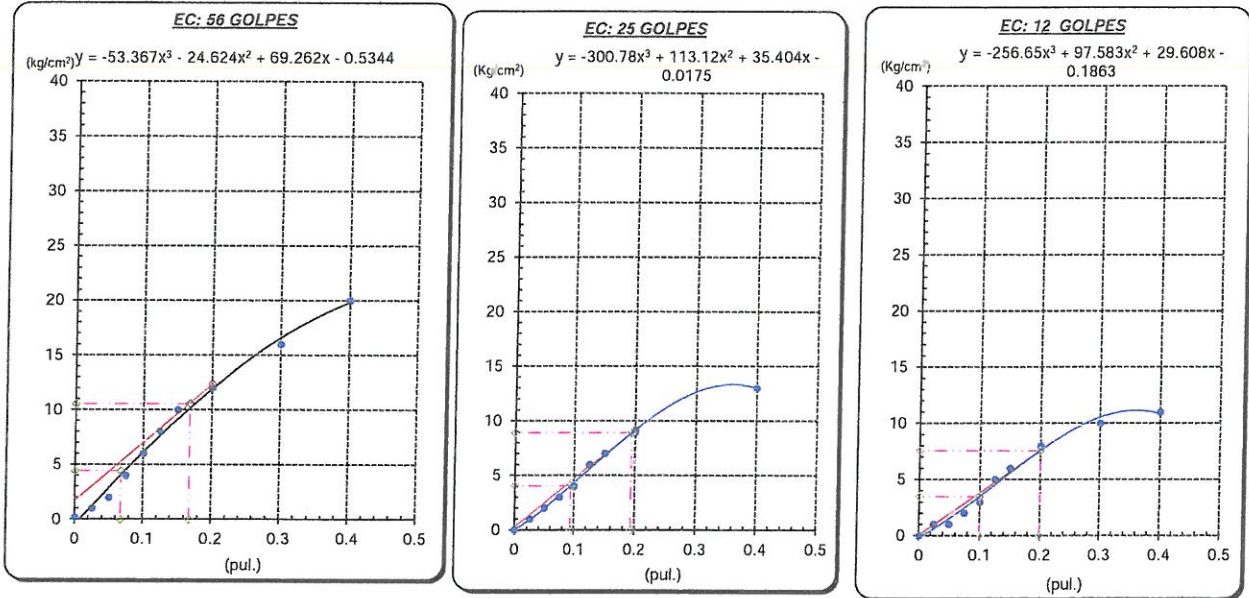


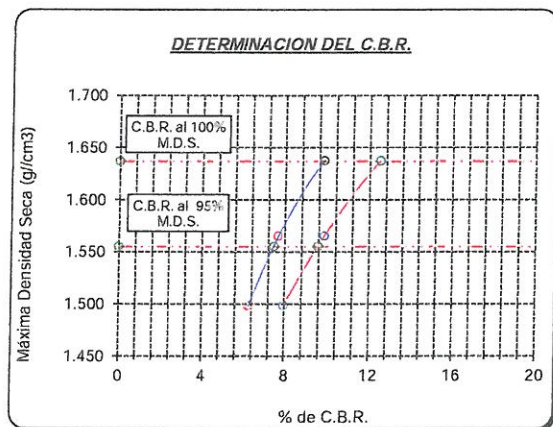
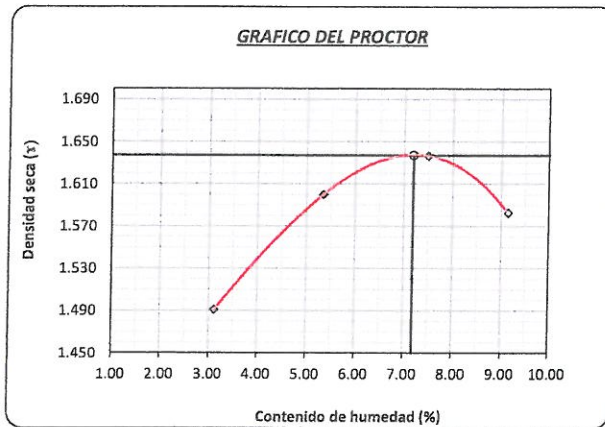
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.637 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.555 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	7.19 %

VALOR DEL C.B.R.

	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	9.8 %	12.5 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	7.5 %	9.6 %



ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 4% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	24				26				9					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12009	12068	11177	11306	10919	11114								
Peso de molde (g)	7934	7934	7239	7239	7145	7145								
Peso del suelo húmedo (g)	4075	4134	3938	4067	3774	3969								
Volumen del molde (cc)	2115	2115	2123	2123	2123	2123								
Densidad húmeda (g/cc)	1.927	1.955	1.855	1.916	1.778	1.870								
% de humedad	8.11	10.33	8.23	12.51	8.24	14.43								
Densidad seca (g/cc)	1.782	1.772	1.714	1.703	1.642	1.634								
HUMEDAD														
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	402.5	402.5	402.5	402.5	335.5	335.5	335.5	335.5	354.5	354.5	354.5	354.5		
Tarro + Suelo seco (gr.)	372.3	372.3	364.8	364.8	310.0	310.0	298.2	298.2	327.5	327.5	309.8	309.8		
Peso del Agua (gr.)	30.2	30.2	37.7	37.7	25.5	25.5	37.3	37.3	27.0	27.0	44.7	44.7		
Peso del tarro (gr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Peso del suelo seco (gr.)	372.3	372.3	364.8	364.8	310.0	310.0	298.2	298.2	327.5	327.5	309.8	309.8		
% de humedad	8.11	8.11	10.33	10.33	8.23	8.23	12.51	12.51	8.24	8.24	14.43	14.43		
Promedio de Humedad (%)	8.11		10.33		8.23		12.51		8.24		14.43			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21/09/2022	0.604	22	0	0.000	0	0.000	0	0	13.5	0.338	0			
22/09/2022	0.604	42	7.2	0.180	14.9	0.373	0.663	26.5	0.663	0.663	0.663			
23/09/2022	0.604	65	14.5	0.363	25.3	0.633	1.038	41.5	1.038	1.038	1.038			
24/09/2022	0.604	95	21.4	0.535	36.5	0.913	1.413	56.5	1.413	1.413	1.413			
			4.57	total	11.71	4.57	total	19.98	4.57	total	30.93			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº 24				MOLDE Nº 26				MOLDE Nº 9			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect. Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect. Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect. Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%
mm.	pulg.	kg/cm2												
0.000	0.000	0'00"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.636	0.025	0'30"	32.6	2	24.5	1	16.2	1	16.2	1	16.2	1	16.2	
1.272	0.050	1'00"	72.8	4	48.9	2	38.5	2	38.5	2	38.5	2	38.5	
1.908	0.075	1'30"	102.2	5	82.9	4	56.9	3	56.9	3	56.9	3	56.9	
2.545	0.100	2'00"	145.6	7	89	12.7	107.5	5	6.8	9.7	84.9	4	6.0	8.5
3.181	0.125	3'00"	186.9	9	145.6	7	108.4	5	108.4	5	108.4	5	108.4	
3.817	0.150	4'00"	236.5	12	185.5	9	142.9	7	142.9	7	142.9	7	142.9	
5.089	0.200	5'00"	316.5	16	17.0	16.1	239.6	12	13.4	12.7	202.8	10	11.8	11.2
7.634	0.300	6'00"	388.9	20	351.5	18	284.4	14	284.4	14	284.4	14	284.4	
10.178	0.400	8'00"	472.1	24	416.4	21	316.5	16	316.5	16	316.5	16	316.5	
12.723	0.500	10'00"												

E. S. TORIBIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesis : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

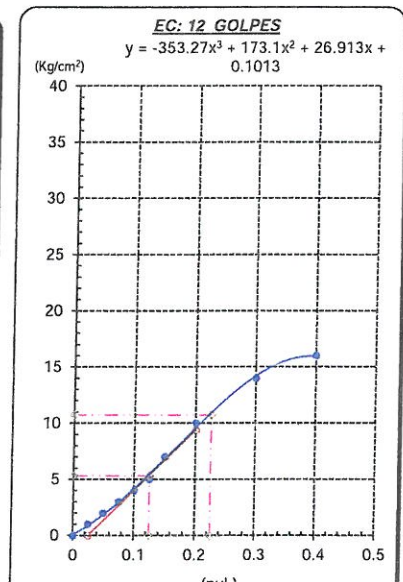
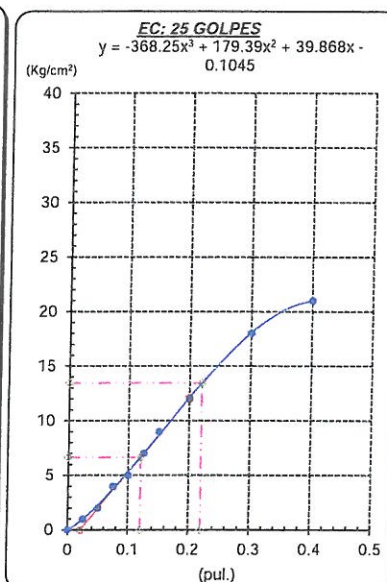
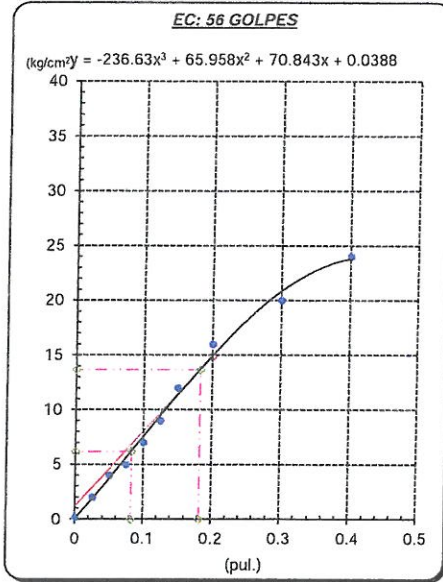


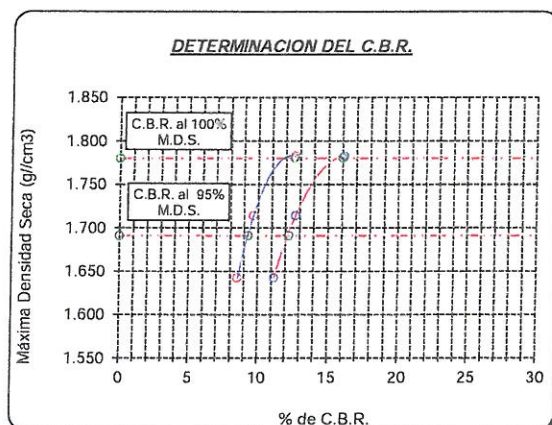
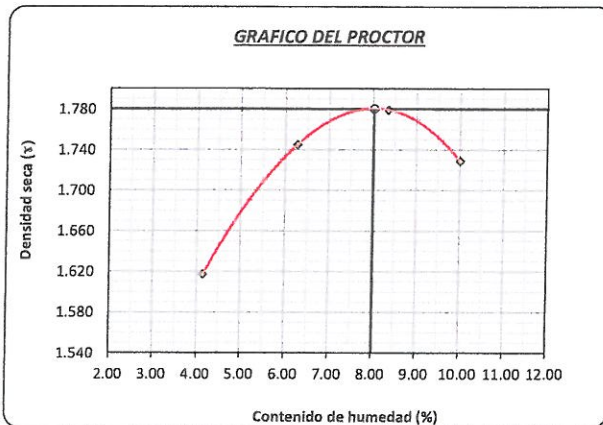
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.780 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.691 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	8.02 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	12.6 %	16.0 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	9.3 %	12.2 %



[Handwritten Signature]
 ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 8% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	44				3				26					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12335	12400	12313	12433	11376	11588								
Peso de molde (g)	7898	7898	8031	8031	7239	7239								
Peso del suelo húmedo (g)	4437	4502	4282	4402	4137	4349								
Volumen del molde (cc)	2110	2110	2110	2110	2123	2123								
Densidad húmeda (g/cc)	2.103	2.134	2.029	2.086	1.949	2.049								
% de humedad	9.46	11.66	9.60	13.35	9.42	15.64								
Densidad seca (g/cc)	1.921	1.911	1.852	1.841	1.781	1.771								
HUMEDAD														
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	416.5	416.5	416.5	416.5	384.7	384.7	384.7	384.7	357.8	357.8	357.8	357.8		
Tarro + Suelo seco (gr.)	380.5	380.5	373	373	351.0	351.0	339.4	339.4	327.0	327.0	309.4	309.4		
Peso del Agua (gr.)	36.0	36.0	43.5	43.5	33.7	33.7	45.3	45.3	30.8	30.8	48.4	48.4		
Peso del tarro (gr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Peso del suelo seco (gr.)	380.5	380.5	373.0	373.0	351.0	351.0	339.4	339.4	327.0	327.0	309.4	309.4		
% de humedad	9.46	9.46	11.66	11.66	9.60	9.60	13.35	13.35	9.42	9.42	15.64	15.64		
Promedio de Humedad (%)	9.46		11.66		9.60		13.35		9.42		15.64			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21/09/2022	0.604	22	12	0.300		24.9	0.623		41.4	1.035				
22/09/2022	0.604	42	14.5	0.363		38.5	0.963		56.9	1.423				
23/09/2022	0.604	65	23.6	0.590		51.4	1.285		71.9	1.798				
24/09/2022	0.604	95	45.4	1.135		68.9	1.723		84.6	2.115				
			4.57	total	24.85	4.57	total	37.72	4.57	total	46.31			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº 44				MOLDE Nº 3				MOLDE Nº 26			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%
mm.	pulg	kg/cm2												
0.000	0.000	0'00"	0	0			0	0			0	0		
0.636	0.025	0'30"	28.5	1			17.8	1			13.6	1		
1.272	0.050	1'00"	54.6	3			29.9	2			24.5	1		
1.908	0.075	1'30"	81.4	5			52.6	3			38.9	2		
2.545	0.100	2'00"	116.5	8	10.7	15.2	78	5	6.8	9.7	56.5	3	5.5 7.8	
3.181	0.125	3'00"	168.9	11			102.4	7			72.5	4		
3.817	0.150	4'00"	224.5	14			151.5	9			105.5	5		
5.089	0.200	5'00"	326.5	18	20.7	19.6	206.9	11	13.4	12.7	153.6	8	10.9 10.3	
7.634	0.300	6'00"	464.5	25			291.4	17			224.5	13		
10.178	0.400	8'00"	584.6	33			353.6	22			286.9	17		
12.723	0.500	10'00"												

ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TECNICO DE LABORATORIO



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

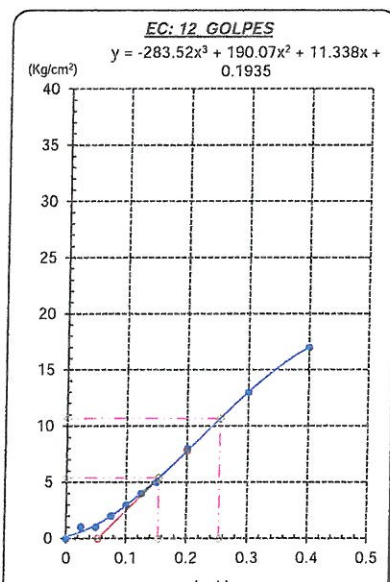
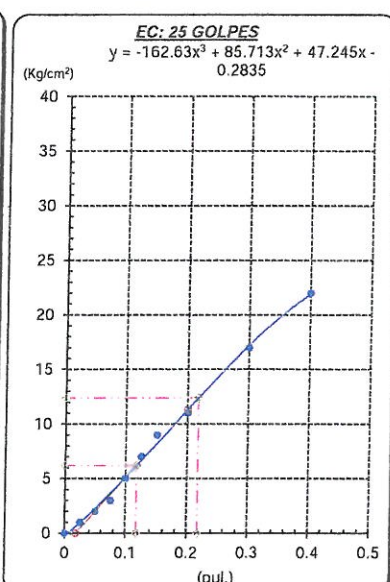
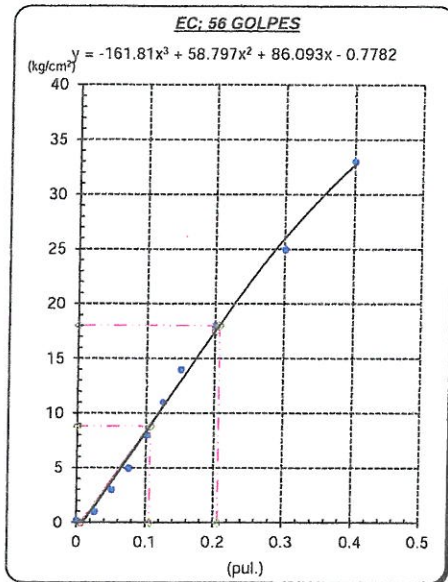


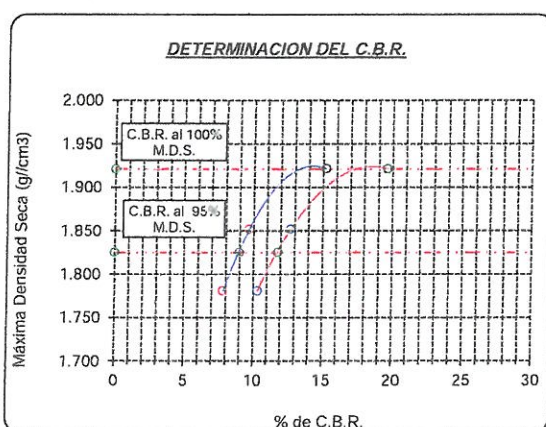
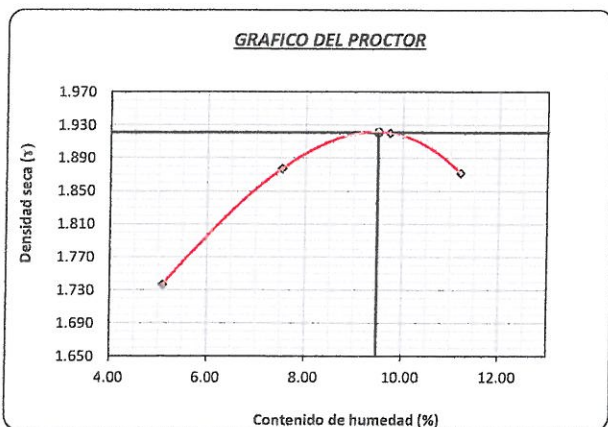
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.921 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.825 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	9.49 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	15.2 %	19.6 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	9.0 %	11.8 %



[Handwritten Signature]
 ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 12% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN																
Nº Molde		1				16				21						
Nº Capa		5				5				5						
Nº Golpes por capa		56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado				
Peso molde + Suelo húmedo		12248		12315		12255		12384		12170		12384				
Peso de molde (g)		7532		7532		7690		7690		7844		7844				
Peso del suelo húmedo (g)		4716		4783		4565		4694		4326		4540				
Volumen del molde (cc)		2113		2113		2116		2116		2086		2086				
Densidad húmeda (g/cc)		2.232		2.264		2.157		2.218		2.074		2.176				
% de humedad		11.34		13.42		11.45		15.37		11.21		17.49				
Densidad seca (g/cc)		2.004		1.996		1.936		1.923		1.865		1.852				
HUMEDAD																
Tarro Nº		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		291.5	291.5	291.5	291.5	419.6	419.6	419.6	419.6	324.5	324.5	324.5				
Tarro + Suelo seco (gr.)		261.8	261.8	257	257	376.5	376.5	363.7	363.7	291.8	291.8	276.2				
Peso del Agua (gr.)		29.7	29.7	34.5	34.5	43.1	43.1	55.9	55.9	32.7	32.7	48.3				
Peso del tarro (gr.)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Peso del suelo seco (gr.)		261.8	261.8	257.0	257.0	376.5	376.5	363.7	363.7	291.8	291.8	276.2				
% de humedad		11.34	11.34	13.42	13.42	11.45	11.45	15.37	15.37	11.21	11.21	17.49				
Promedio de Humedad (%)		11.34		13.42		11.45		15.37		11.21		17.49				
EXPANSIÓN																
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN						
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%					
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
21/09/2022	0.604	22	8.9	0.223		33.6	0.840		62.5	1.563						
22/09/2022	0.604	42	21.4	0.535		51.5	1.288		78.4	1.960						
23/09/2022	0.604	65	36.5	0.913		63.2	1.580		88.9	2.223						
24/09/2022	0.604	95	48.9	1.223		84.5	2.113		102.4	2.560						
			4.57	total	26.77	4.57	total	46.26	4.57	total	56.06					
PENETRACIÓN																
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND	MOLDE Nº 1				MOLDE Nº 16				MOLDE Nº 21				
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		
				Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	
mm.	pulg.	kg/cm2														
0.000	0.000	0'00"	0	0			0	0			0	0				
0.636	0.025	0'30"	35.5	2			25.6	1			15.4	1				
1.272	0.050	1'00"	71.8	4			65.9	3			35.6	2				
1.908	0.075	1'30"	118.4	6			92.5	5			62.6	3				
2.545	0.100	2'00"	172.5	9	13.8	19.6	124.5	6	10.0	14.2	85.6	4	7.3	10.4		
3.181	0.125	3'00"	245.1	12			165.8	8			115.2	6				
3.817	0.150	4'00"	324.4	16			228.4	12			156.95	8				
5.089	0.200	5'00"	441.1	22	26.6	25.2	332.2	17	19.5	18.5	229.6	12	14.4	13.6		
7.634	0.300	6'00"	615.8	31			456.9	23			332.2	18				
10.178	0.400	8'00"	771.7	39			605.8	31			431.9	22				
12.723	0.500	10'00"														


ESTUDIOS


USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

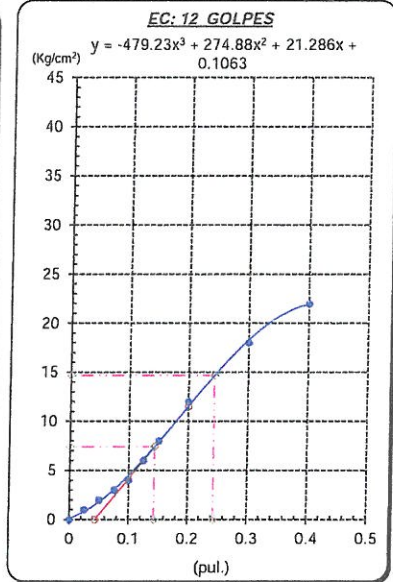
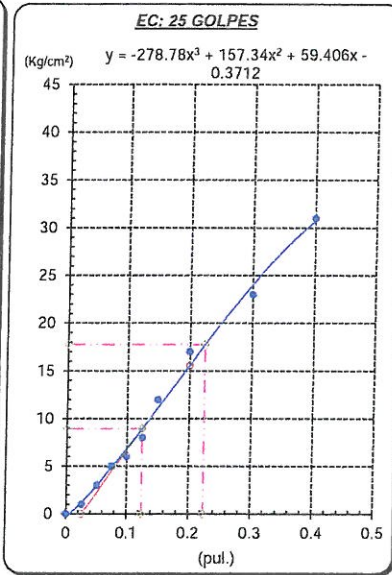
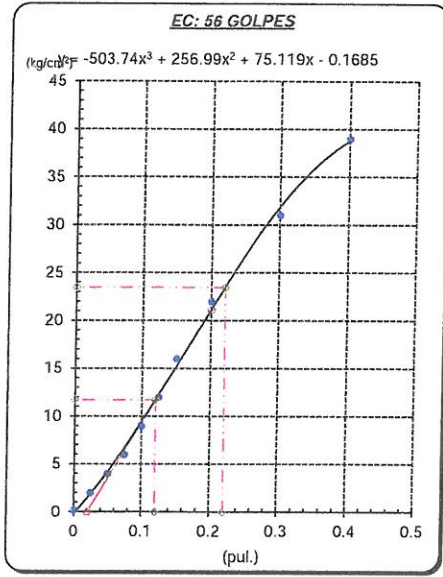


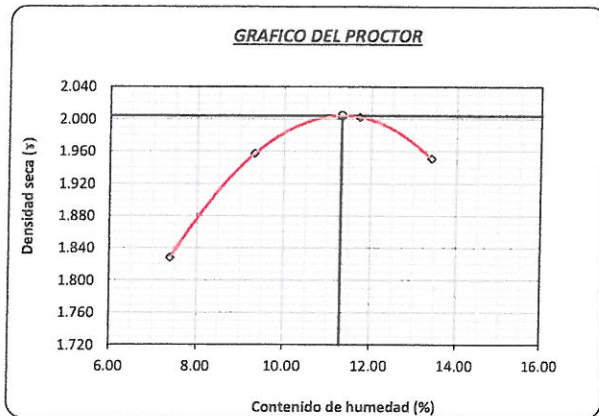
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	2.004 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.904 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	11.32 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	19.6 %	25.2 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	12.5 %	16.3 %




 ESTROBANE



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUUESTRA : M-1 + 16% BS (Arena Duna) PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	8				7				15					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12626	12695	12362	12502	12231	12416								
Peso de molde (g)	7971	7971	7910	7910	7912	7912								
Peso del suelo húmedo (g)	4655	4724	4452	4592	4319	4504								
Volumen del molde (cc)	2127	2127	2109	2109	2124	2124								
Densidad húmeda (g/cc)	2.189	2.221	2.111	2.177	2.033	2.121								
% de humedad	13.26	15.36	13.30	17.57	13.39	19.35								
Densidad seca (g/cc)	1.932	1.925	1.863	1.852	1.793	1.777								
HUMEDAD														
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	324.5	324.5	324.5	324.5	498.5	498.5	498.5	498.5	306.5	306.5	306.5	306.5		
Tarro + Suelo seco (gr.)	286.5	286.5	281.3	281.3	440.0	440.0	424	424	270.3	270.3	256.8	256.8		
Peso del Agua (gr.)	38.0	38.0	43.2	43.2	58.5	58.5	74.5	74.5	36.2	36.2	49.7	49.7		
Peso del tarro (gr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Peso del suelo seco (gr.)	286.5	286.5	281.3	281.3	440.0	440.0	424.0	424.0	270.3	270.3	256.8	256.8		
% de humedad	13.26	13.26	15.36	15.36	13.30	13.30	17.57	17.57	13.39	13.39	19.35	19.35		
Promedio de Humedad (%)	13.26		15.36		13.30		17.57		13.39		19.35			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21/09/2022	14:30	22	31.5	0.788	68.9	1.723	93.3	2.333						
22/09/2022	14:30	42	46.9	1.173	83.4	2.085	108.5	2.713						
23/09/2022	14:30	65	63.6	1.590	99.8	2.495	123.7	3.093						
24/09/2022	14:30	95	95	2.375	115.4	2.885	138.4	3.460						
			4.57	total	52.00	4.57	total	63.17	4.57	total	75.76			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 8				MOLDE Nº 7				MOLDE Nº 15			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.													
0.000	0.000	0'00"	0	0			0	0			0	0		
0.636	0.025	0'30"	34.6	2			21.5	1			12.4	1		
1.272	0.050	1'00"	78.8	4			42.5	2			23.6	2		
1.908	0.075	1'30"	116.2	6			69.6	4			35.6	3		
2.545	0.100	2'00"	165.6	8	9.1	12.9	98.5	5	6.2	8.8	52.6	4	5.1	
3.181	0.125	3'00"	223.2	11			131.5	7			75.4	5		
3.817	0.150	4'00"	265.8	13			162.2	8			101.9	6		
5.089	0.200	5'00"	324.5	16	17.4	16.5	216.9	11	12.2	11.6	136.9	9	9.9	
7.634	0.300	6'00"	431.8	22			316.5	16			224.5	12		
10.178	0.400	8'00"	514.8	27			381.9	19			278.8	15		
12.723	0.500	10'00"												


ESTUDIANTE


TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Illimo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

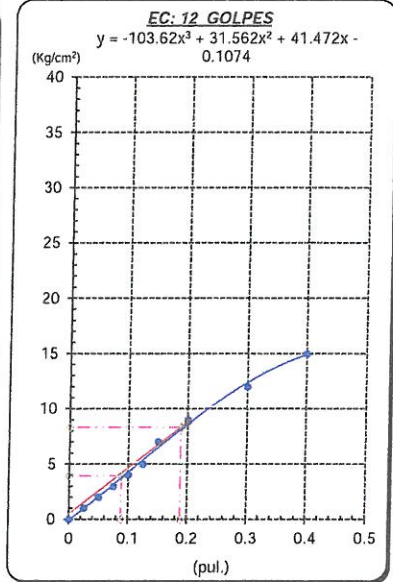
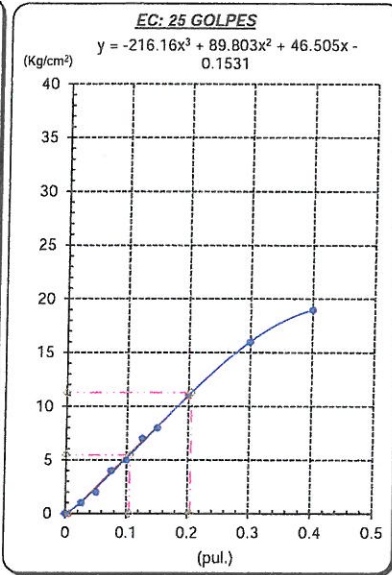
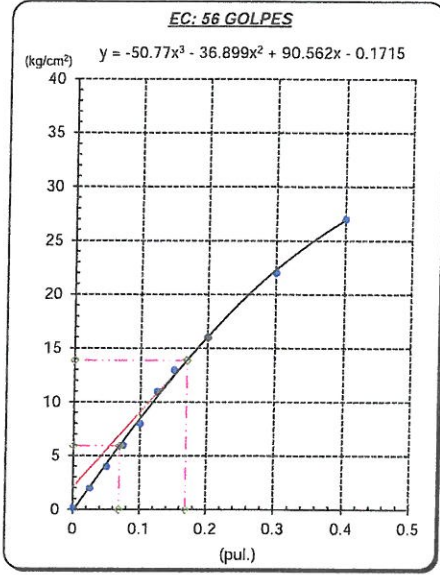


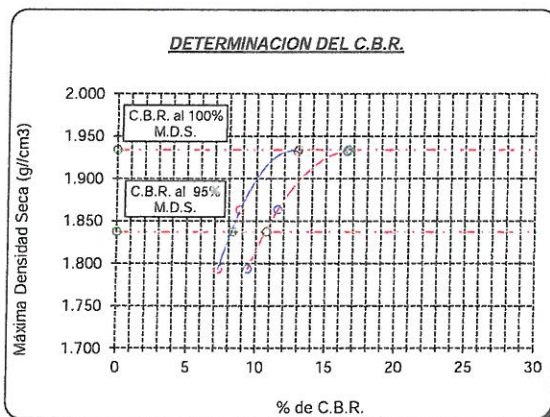
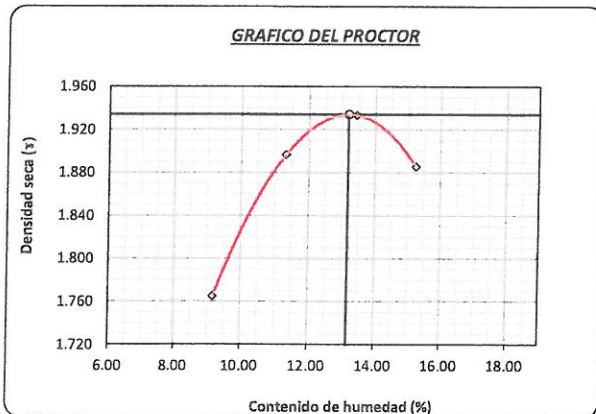
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.934 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.837 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	13.19 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	13.0 %	16.6 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	8.2 %	10.8 %



ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 - Muestra Natural
PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde	11				54				2						
Nº Capa	5				5				5						
Nº Golpes por capa	56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12031		12084		11302		11420		11423		11594				
Peso de molde (g)	8299		8299		7769		7769		8053		8053				
Peso del suelo húmedo (g)	3732		3785		3533		3651		3370		3541				
Volumen del molde (cc)	2134		2134		2110		2110		2108		2108				
Densidad húmeda (g/cc)	1.749		1.774		1.674		1.730		1.599		1.680				
% de humedad	6.32		8.57		6.22		10.53		6.18		12.35				
Densidad seca (g/cc)	1.645		1.634		1.576		1.565		1.506		1.495				
HUMEDAD															
Tarro Nº	-		-		-		-		-		-				
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	420.5	420.5	420.5	420.5	581.5	581.5	581.5	581.5	410.9	410.9	410.9	410.9			
Tarro + Suelo seco (gr.)	404.3	404.3	399	399	556.1	556.1	540.2	540.2	395.6	395.6	382.0	382.0			
Peso del Agua (gr.)	16.2	16.2	21.5	21.5	25.4	25.4	41.3	41.3	15.3	15.3	28.9	28.9			
Peso del tarro (gr.)	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148			
Peso del suelo seco (gr.)	256.3	256.3	251.0	251.0	408.1	408.1	392.2	392.2	247.6	247.6	234.0	234.0			
% de humedad	6.32	6.32	8.57	8.57	6.22	6.22	10.53	10.53	6.18	6.18	12.35	12.35			
Promedio de Humedad (%)	6.32		8.57		6.22		10.53		6.18		12.35				
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº 11				MOLDE Nº 54				MOLDE Nº 2			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm.	pulg.		kg/cm2	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%
0.000	0.000	0'00"		0	0			0	0			0	0		
0.636	0.025	0'30"		23.4	1			14.5	1			10.9	1		
1.272	0.050	1'00"		41.5	2			31.6	2			24.5	1		
1.908	0.075	1'30"		66.3	3			52.5	3			43.5	2		
2.545	0.100	2'00"	70	99.4	5	6.7	9.5	78.9	4	5.2	7.4	66.5	3	4.4	6.3
3.181	0.125	3'00"		135.4	7			103.4	5			85.9	4		
3.817	0.150	4'00"		171.5	9			132.2	7			108.9	6		
5.089	0.200	5'00"	105.5	224.1	11	13.1	12.4	175.9	9	10.2	9.7	145.8	7	8.4	8.0
7.634	0.300	6'00"		334.8	17			251.5	13			198.4	10		
10.178	0.400	8'00"		415.9	21			301.6	15			231.1	12		
12.723	0.500	10'00"													


ESTOVARINE


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TECNICO DE LABORATORIO

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

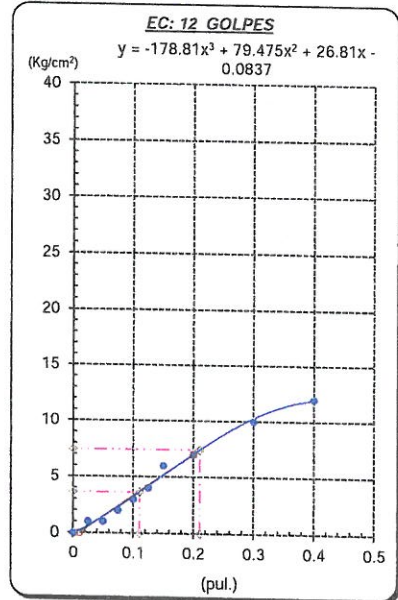
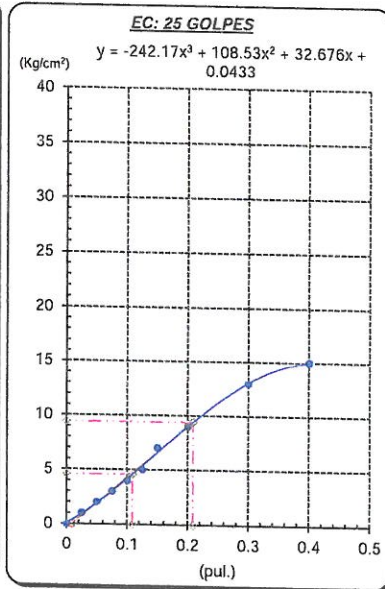
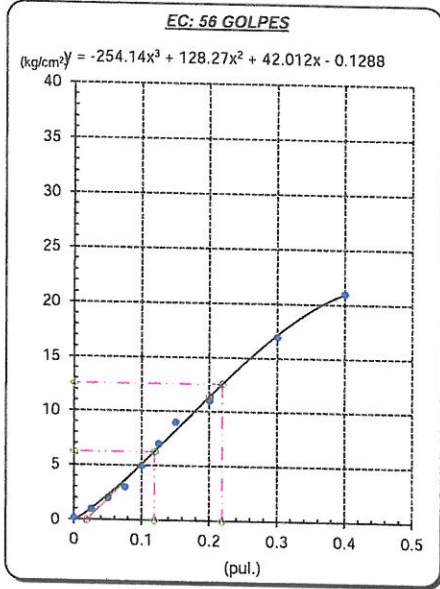


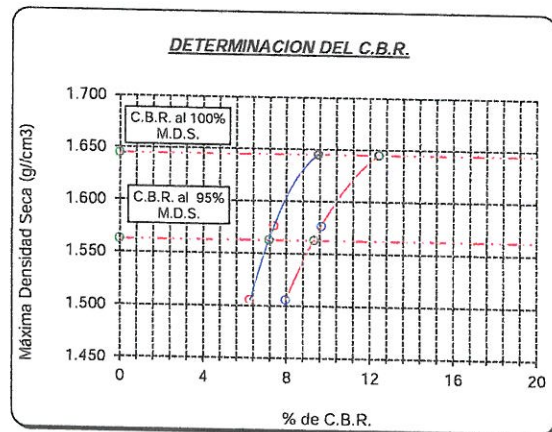
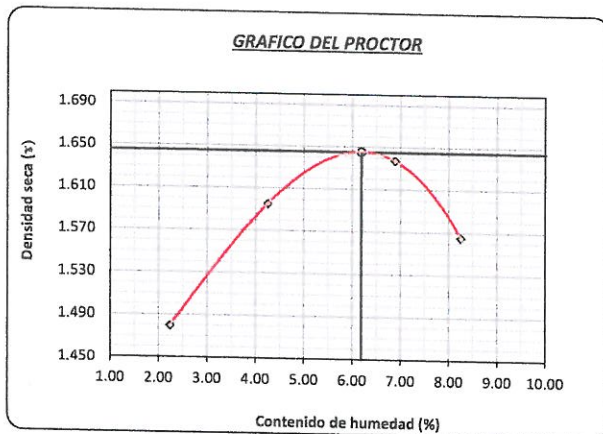
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.645 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.563 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	6.19 %

VALOR DEL C.B.R.

	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	9.5 %	12.4 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	7.2 %	9.3 %



ESTUDANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

TEL. DEL LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1

MUESTRA : M-1 + 4% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde	5				19				24						
Nº Capa	5				5				5						
Nº Golpes por capa	56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12158		12218		11280		11412		11648		11839				
Peso de molde (g)	8125		8125		7371		7371		7934		7934				
Peso del suelo húmedo (g)	4033		4093		3909		4041		3714		3905				
Volumen del molde (cc)	2114		2114		2134		2134		2115		2115				
Densidad húmeda (g/cc)	1.908		1.936		1.832		1.894		1.756		1.846				
% de humedad	7.48		9.69		7.45		11.72		7.28		13.52				
Densidad seca (g/cc)	1.775		1.765		1.705		1.695		1.637		1.626				
HUMEDAD															
Tarro Nº	-														
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	511.5	511.5	511.5	511.5	384.4	384.4	384.4	384.4	341.1	341.1	341.1	341.1			
Tarro + Suelo seco (gr.)	486.2	486.2	479.4	479.4	368.0	368.0	359.6	359.6	328.0	328.0	318.1	318.1			
Peso del Agua (gr.)	25.3	25.3	32.1	32.1	16.4	16.4	24.8	24.8	13.1	13.1	23.0	23.0			
Peso del tarro (gr.)	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148			
Peso del suelo seco (gr.)	338.2	338.2	331.4	331.4	220.0	220.0	211.6	211.6	180.0	180.0	170.1	170.1			
% de humedad	7.48	7.48	9.69	9.69	7.45	7.45	11.72	11.72	7.28	7.28	13.52	13.52			
Promedio de Humedad (%)	7.48		9.69		7.45		11.72		7.28		13.52				
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
21/09/2022	0.604	22	0	0.000	0	0.000	0	0.000	12.5	0.313	0				
22/09/2022	0.604	42	0	0.000	12.5	0.313	24.6	0.615	24.6	0.615	0.615				
23/09/2022	0.604	65	12	0.300	21.5	0.538	38.4	0.960	38.4	0.960	0.960				
24/09/2022	0.604	95	18.5	0.463	34.6	0.865	52.6	1.315	52.6	1.315	1.315				
			4.57	total	10.13	4.57	total	18.94	4.57	total	28.79				
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND kg/cm2	MOLDE Nº 5				MOLDE Nº 19				MOLDE Nº 24			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
				Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%
mm.	pulg.	0.000	0.000	0'00"	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0.636	0.025	0'30"	28.9	1	23.6	1	12.1	1	12.1	1	12.1	1			
1.272	0.050	1'00"	55.6	3	51.1	3	34.2	2	34.2	2	34.2	2			
1.908	0.075	1'30"	92.5	5	81.5	4	55.6	3	55.6	3	55.6	3			
2.545	0.100	2'00"	134.5	7	114.5	6	78.9	4	78.9	4	78.9	4			
3.181	0.125	3'00"	182.4	9	150.4	8	113.5	6	113.5	6	113.5	6			
3.817	0.150	4'00"	224.5	11	186.9	9	137.5	7	137.5	7	137.5	7			
5.089	0.200	5'00"	292.9	15	234.7	12	185.5	9	185.5	9	185.5	9			
7.634	0.300	6'00"	394.8	20	324.5	16	251.4	13	251.4	13	251.4	13			
10.178	0.400	8'00"	471.5	24	401.1	20	323.2	16	323.2	16	323.2	16			
12.723	0.500	10'00"													

ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TECNICO

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

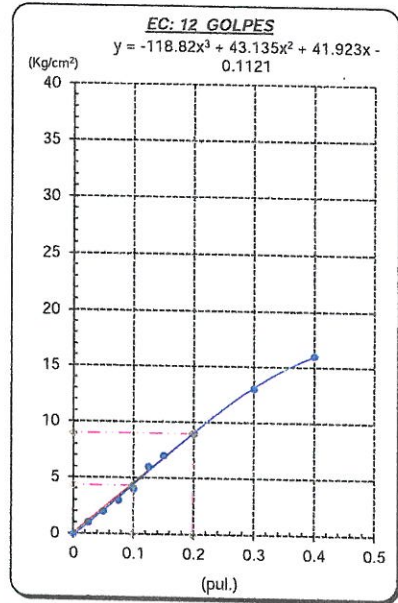
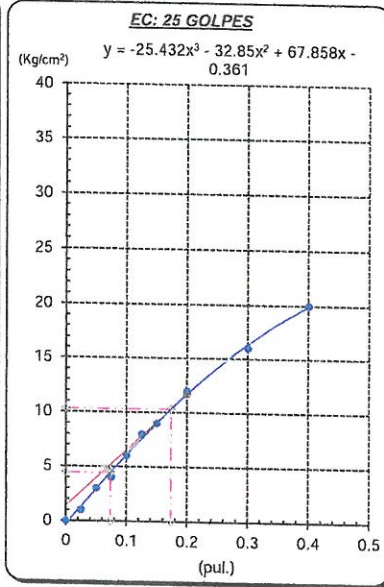
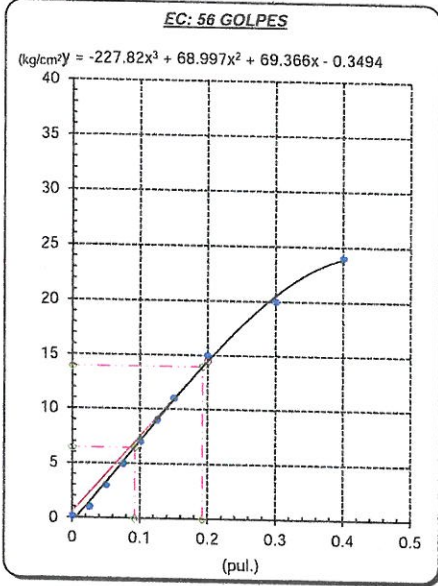


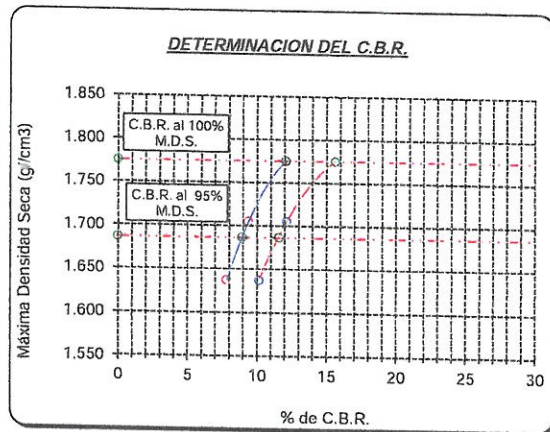
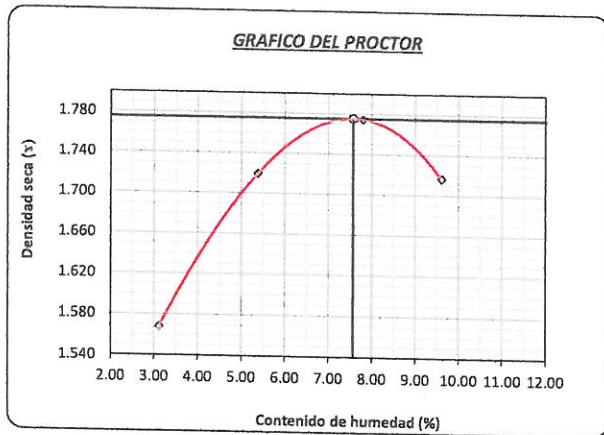
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.775 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.686 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	7.57 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	12.1 %	15.6 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	9.0 %	11.6 %



[Handwritten Signature]
 ESTUDANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO
[Handwritten Signature]

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1 + 8% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	30				24				8					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12292		12356		12166		12298		12006		12214			
Peso de molde (g)	7910		7910		7934		7934		7931		7931			
Peso del suelo húmedo (g)	4382		4446		4232		4364		4075		4283			
Volumen del molde (cc)	2109		2109		2115		2115		2123		2123			
Densidad húmeda (g/cc)	2.078		2.108		2.001		2.063		1.919		2.017			
% de humedad	9.55		11.69		9.51		13.60		9.27		15.52			
Densidad seca (g/cc)	1.897		1.888		1.827		1.816		1.757		1.746			
HUMEDAD														
Tarro Nº	-													
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	551.4	551.4	551.4	551.4	624.4	624.4	624.4	624.4	436.5	436.5	436.5	436.5		
Tarro + Suelo seco (gr.)	516.4	516.4	509.4	509.4	583.2	583.2	567.6	567.6	412.2	412.2	398.0	398.0		
Peso del Agua (gr.)	35.0	35.0	42.0	42.0	41.2	41.2	56.8	56.8	24.3	24.3	38.5	38.5		
Peso del tarro (gr.)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		
Peso del suelo seco (gr.)	366.4	366.4	359.4	359.4	433.2	433.2	417.6	417.6	262.2	262.2	248.0	248.0		
% de humedad	9.55	9.55	11.69	11.69	9.51	9.51	13.60	13.60	9.27	9.27	15.52	15.52		
Promedio de Humedad (%)	9.55		11.69		9.51		13.60		9.27		15.52			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21/09/2022	0.604	22	8.9	0.223	23.9	0.598	38.9	0.973	0	0	0			
22/09/2022	0.604	42	13.5	0.338	29.8	0.745	54.2	1.355						
23/09/2022	0.604	65	24.1	0.603	47.4	1.185	68.9	1.723						
24/09/2022	0.604	95	35.4	0.885	64.5	1.613	81.5	2.038						
			4.57	total	19.38	4.57	total	35.31	4.57	total	44.61			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 30				MOLDE Nº 24				MOLDE Nº 8			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%	Lect Dial	Kg /cm2	Kg /cm2	%
mm.	pulg.													
0.000	0.000	0'00"	0	0			0	0		0	0			
0.636	0.025	0'30"	28.5	1			17.8	1		13.6	1			
1.272	0.050	1'00"	54.6	3			29.9	2		24.5	1			
1.908	0.075	1'30"	81.4	4			52.6	3		38.9	2			
2.545	0.100	2'00"	116.5	6	10.4	14.8	78	4	6.7	9.5	56.5	3	4.9	
3.181	0.125	3'00"	168.9	9			102.4	5			72.5	4		
3.817	0.150	4'00"	224.5	11			151.5	8			105.5	6		
5.089	0.200	5'00"	326.5	17	20.1	19.1	206.9	10	12.8	12.1	153.6	10	9.6	
7.634	0.300	6'00"	464.5	24			291.4	15			224.5	13		
10.178	0.400	8'00"	584.6	30			353.6	18			286.5	16		
12.723	0.500	10'00"												

[Handwritten Signature]
ESTUDIANTE



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

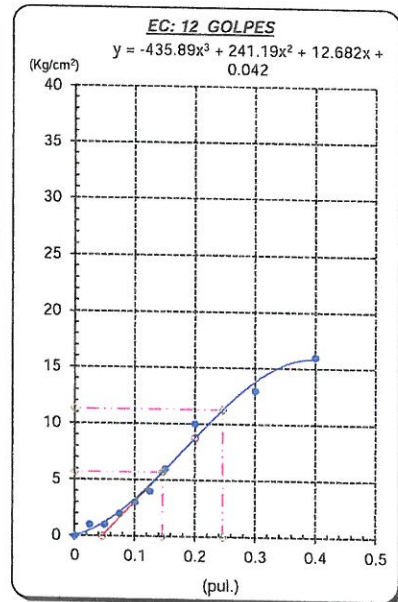
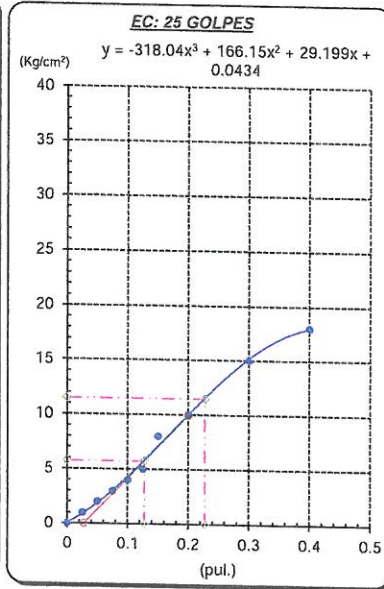
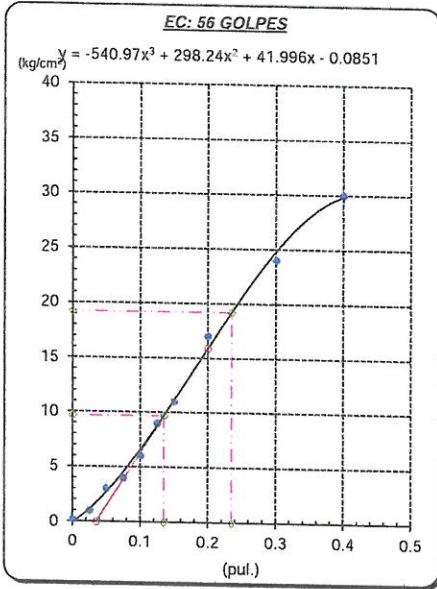


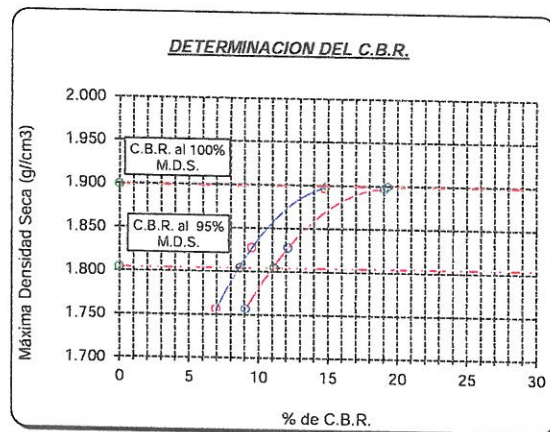
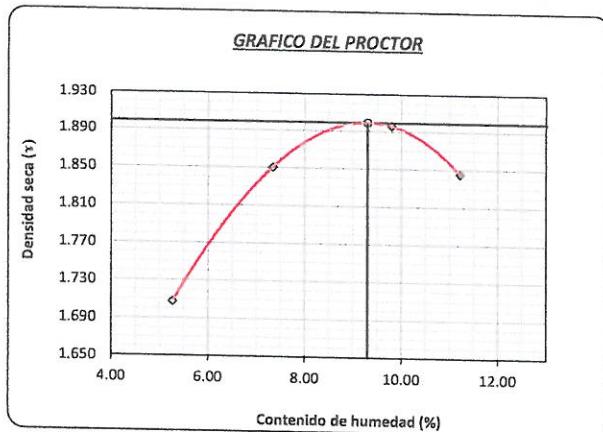
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.899 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.804 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	9.30 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	14.9 %	19.3 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	8.7 %	11.1 %



ESTUDIANTE



Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1

MUESTRA : M-1 + 12% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	1				16				21					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12156		12221		12356		12498		12052		12252			
Peso de molde (g)	7441		7441		7807		7807		7711		7711			
Peso del suelo húmedo (g)	4715		4780		4549		4691		4341		4541			
Volumen del molde (cc)	2119		2119		2121		2121		2099		2099			
Densidad húmeda (g/cc)	2.225		2.256		2.145		2.212		2.068		2.163			
% de humedad	11.55		13.66		11.39		15.61		11.49		17.43			
Densidad seca (g/cc)	1.995		1.985		1.925		1.913		1.855		1.842			
HUMEDAD														
Tarro Nº	-													
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	412.1	412.1	412.1	412.1	350.0	350.0	350	350	427.8	427.8	427.8	427.8		
Tarro + Suelo seco (gr.)	382.9	382.9	378.2	378.2	327.5	327.5	320.3	320.3	397.1	397.1	383.6	383.6		
Peso del Agua (gr.)	29.2	29.2	33.9	33.9	22.5	22.5	29.7	29.7	30.7	30.7	44.2	44.2		
Peso del tarro (gr.)	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130		
Peso del suelo seco (gr.)	252.9	252.9	248.2	248.2	197.5	197.5	190.3	190.3	267.1	267.1	253.6	253.6		
% de humedad	11.55	11.55	13.66	13.66	11.39	11.39	15.61	15.61	11.49	11.49	17.43	17.43		
Promedio de Humedad (%)	11.55		13.66		11.39		15.61		11.49		17.43			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21/09/2022	0.604	22	12	0.300		37.8	0.945		71.3	1.783				
22/09/2022	0.604	42	25	0.625		55.4	1.385		82.4	2.060				
23/09/2022	0.604	65	37.5	0.938		67.5	1.688		94.5	2.363				
24/09/2022	0.604	95	52.4	1.310		87.9	2.198		107.8	2.695				
			4.57	total	28.68	4.57	total	48.12	4.57	total	59.01			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 1				MOLDE Nº 16				MOLDE Nº 21			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.													
0.000	0.000	0'00"	0	0			0	0			0	0		
0.636	0.025	0'30"	44.5	2			26.9	1			14.5	1		
1.272	0.050	1'00"	106.9	5			48.2	2			27.8	1		
1.908	0.075	1'30"	162.5	8			76.5	4			38.9	2		
2.545	0.100	2'00"	211.9	11	13.1	18.6	112.1	6	9.1	12.9	56.5	3	6.6	
3.181	0.125	3'00"	285.5	14			151.5	8			81.5	4		
3.817	0.150	4'00"	371.5	19			193.5	10			116.9	6		
5.089	0.200	5'00"	465.8	24	25.6	24.3	294.5	15	17.9	17.0	195.4	10	12.3	
7.634	0.300	6'00"	642.5	33			424.5	22			262.6	13		
10.178	0.400	8'00"	781.3	40			542.4	28			324.4	16		
12.723	0.500	10'00"												


ESTUDIANTE


TECNICO DE LABORATORIO

Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACION

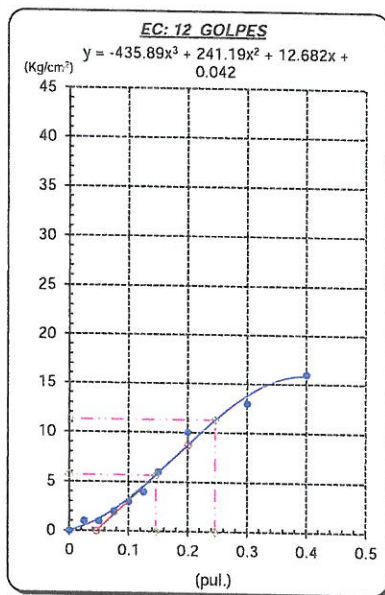
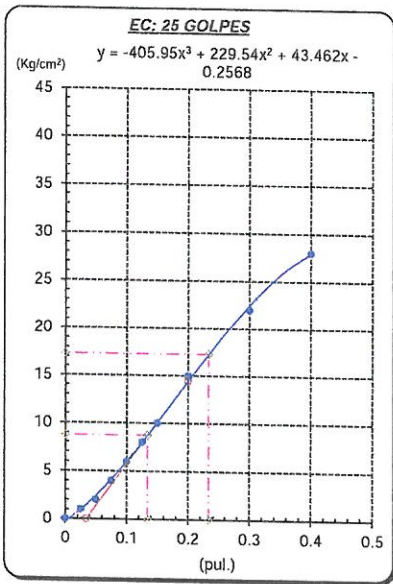
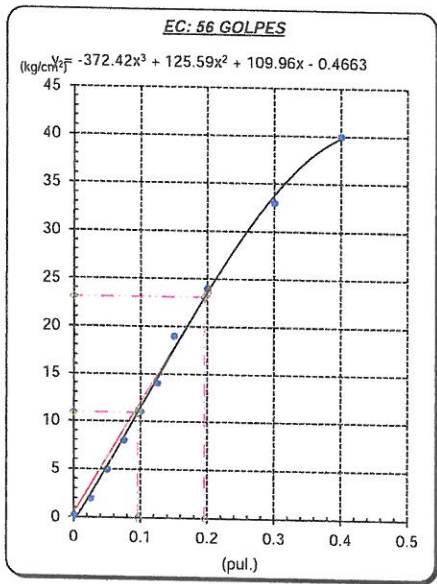


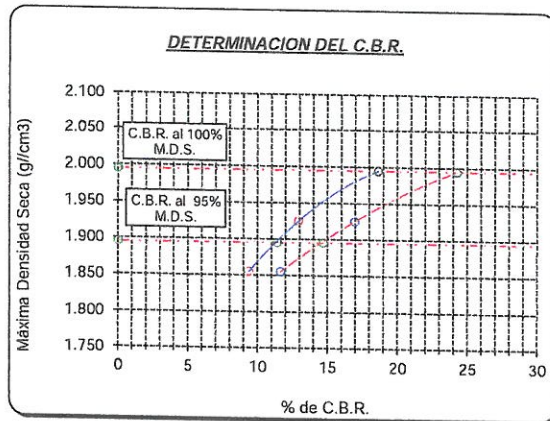
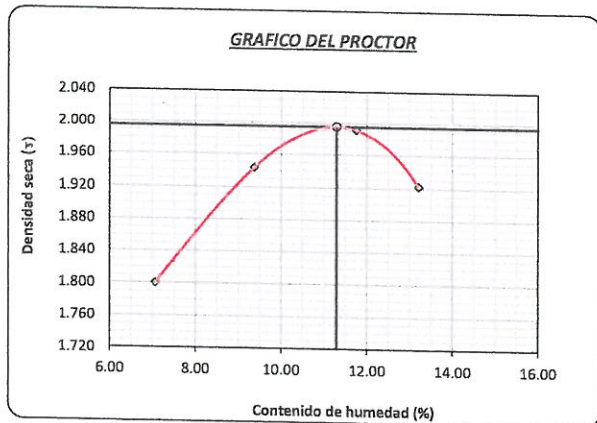
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.995 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.895 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	11.29 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	18.7 %	24.3 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	11.4 %	14.7 %



ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Chiroque Negrón Luis Angel
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1

MUESTRA : M-1 + 16% BS

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	8				7				15					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	12571		12629		11891		12023		12284		12478			
Peso de molde (g)	7931		7931		7426		7426		7976		7976			
Peso del suelo húmedo (g)	4640		4698		4465		4597		4308		4502			
Volumen del molde (cc)	2123		2123		2119		2119		2123		2123			
Densidad húmeda (g/cc)	2.186		2.213		2.107		2.169		2.029		2.121			
% de humedad	13.47		15.42		13.46		17.57		13.52		19.55			
Densidad seca (g/cc)	1.926		1.917		1.857		1.845		1.788		1.774			
HUMEDAD														
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	366.6	366.6	366.6	366.6	410.6	410.6	410.6	410.6	363.3	363.3	363.3	363.3		
Tarro + Suelo seco (gr.)	340.3	340.3	337	337	379.1	379.1	370.9	370.9	337.3	337.3	327.6	327.6		
Peso del Agua (gr.)	26.3	26.3	29.6	29.6	31.5	31.5	39.7	39.7	26.0	26.0	35.7	35.7		
Peso del tarro (gr.)	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145		
Peso del suelo seco (gr.)	195.3	195.3	192.0	192.0	234.1	234.1	225.9	225.9	192.3	192.3	182.6	182.6		
% de humedad	13.47	13.47	15.42	15.42	13.46	13.46	17.57	17.57	13.52	13.52	19.55	19.55		
Promedio de Humedad (%)	13.47		15.42		13.46		17.57		13.52		19.55			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
20/09/2022	14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21/09/2022	14:30	22	28.9	0.723	68.9	1.723	93.3	2.333						
22/09/2022	14:30	42	43.5	1.088	83.4	2.085	108.5	2.713						
23/09/2022	14:30	65	66.7	1.668	99.8	2.495	123.7	3.093						
24/09/2022	14:30	95	84.5	2.113	115.4	2.885	138.4	3.460						
			4.57	total	46.26	4.57	total	63.17	4.57	total	75.76			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND	MOLDE Nº 8				MOLDE Nº 7				MOLDE Nº 15			
			CORRECCIÓN				CORRECCIÓN				CORRECCIÓN			
			Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.	kg/cm2												
0.000	0.000	0'00"	0	0			0	0			0	0		
0.636	0.025	0'30"	28.8	1			19.5	1			12.4	1		
1.272	0.050	1'00"	56.5	3			32.4	2			23.6	1		
1.908	0.075	1'30"	81.7	4			54.7	3			35.6	2		
2.545	0.100	2'00"	116.5	6	9.6	13.7	81.5	4	6.4	9.1	52.6	3	4.6	6.5
3.181	0.125	3'00"	165.8	8			112.1	6			75.4	4		
3.817	0.150	4'00"	224.5	11			151.3	8			101.9	5		
5.089	0.200	5'00"	308.5	16	18.9	17.9	204.4	10	12.5	11.8	136.9	7	9.0	8.5
7.634	0.300	6'00"	452.4	23			298.6	15			224.8	11		
10.178	0.400	8'00"	588.6	30			356.9	18			278.9	14		
12.723	0.500	10'00"												


ESTUDIANTE



Tesista : Chiroque Negron Luis Angel
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto/Tesis : "Mejoramiento de propiedades mecánicas de las arenas de duna y playa con bentonita sódica para su uso como subrasante en carreteras"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
 N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACION

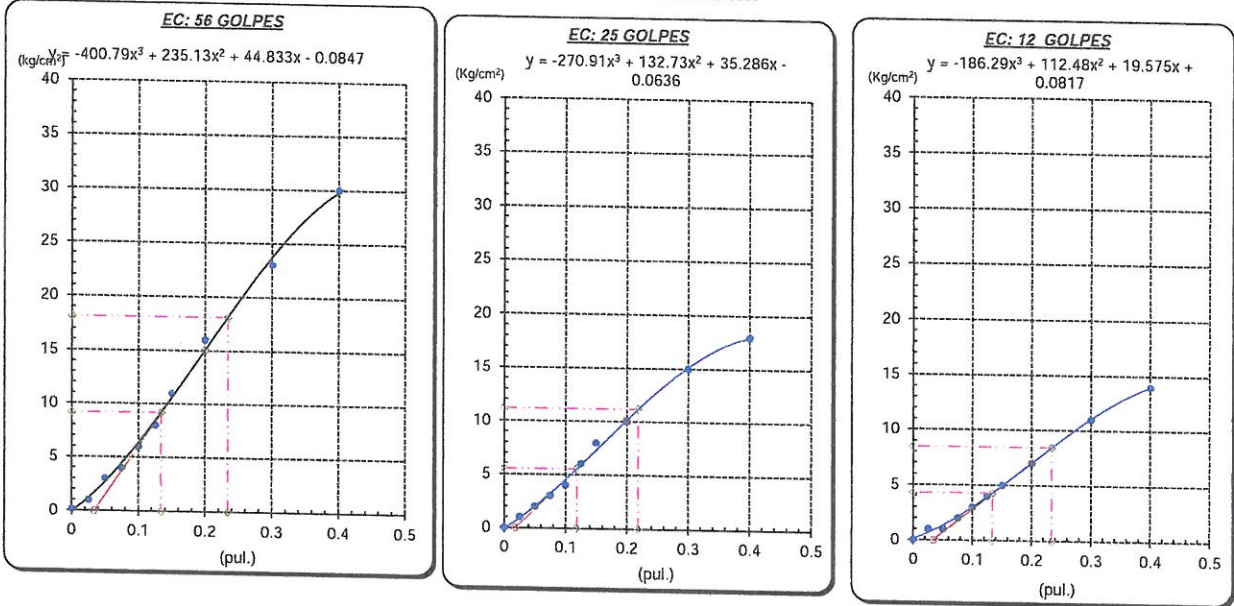


GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

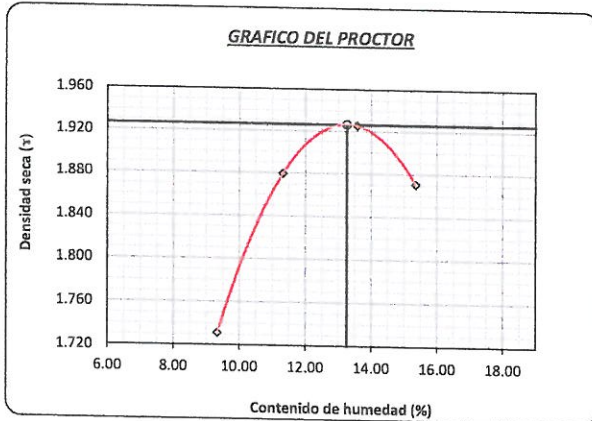
DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.926 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.830 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	13.26 %

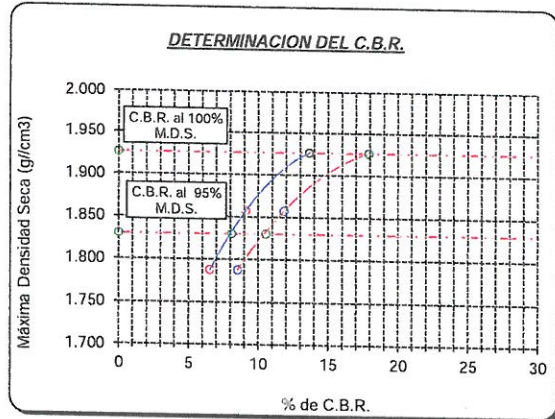
VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	13.7 %	17.9 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	8.1 %	10.5 %

GRAFICO DEL PROCTOR



DETERMINACION DEL C.B.R.



[Handwritten Signature]
 ESTUDIANTE

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

CERTIFICADO DE ENSAYO:

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES, SULFATOS Y CLORUROS

PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS DE DUNA Y PLAYA CON BENTONITA SÓDICA PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN CARRETERA	MUESTREADO POR:	SOLICITANTE
UBICACIÓN:	CHICLAYO	ENSAYADO POR:	J.M.LLJ
CONSULTOR:		NORMATIVA:	NTP 339.152
SOLICITANTE:	LUIS ANGEL CHIROQUE NEGRON		NTP 339.177 NTP 339.173
FECHA DE ENSAYO:	miércoles, 11 de Octubre de 2023	CODIGO DE EXPEDIENTE:	00132-2023/GLLEIRL

MUESTRA:	CAPA:	UBICACIÓN:
-----------------	--------------	-------------------

SALES SOLUBLES

1	Muestra		A	B	PROM.
2	Peso de muestra	g	50	50	-
3	Volumen de agua destilada	ml	250	250	-
4	Número de beaker	-	-	-	-
5	Peso de beaker	g	27.72	26.90	-
6	Peso de beaker + residuo de sales	g	27.87	27.26	-
7	Volumen de solución evaluado	ml	50	50	-
8	Relación: mezcla suelo - agua destilada	-	5.00	5.00	-
9	Residuo de sales	g	0.15	0.36	-
10	Constituyentes de sales solubles totales	ppm	15000	36000	25500
11	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	1.50%	3.60%	2.55%

SULFATOS

1	Volumen de agua destilada	ml	250
2	Peso de suelo seco	g	50
3	Número de crisol		1
4	Peso del crisol	g	55.16
5	Peso del crisol + residuo de sulfatos	g	56.2
6	Peso del residuo de sulfatos	g	1.04
7	Volumen de solución tomada	ml	35
8	Peso de muestra en volumen de solución	g	50
9	Concentración de Ión sulfato	ppm	20800
10	Contenido de sulfatos	%	2.080%

CLORUROS

1	Volumen de agua destilada	ml	250
2	Peso de suelo seco	g	50
3	Volumen de solución tomada	ml	50
4	Titulación de la solución de nitrato de plata	t	0.146
5	Consumo de solución de nitrato de plata	ml	50
6	Peso de muestra en volumen de solución	g	24
7	Contenido de cloruros	ppm	6083
8	Contenido de cloruros	%	0.608%

GRUPO LLIFI E.I.R.L

TECNICO
Nombre y firma:
 JÓRGE M. LLICÁN JACINTO LABORATORISTA

ESPECIALISTA
Nombre y firma:
 ROBERTO ENRIQUE CHAMDERGO MONTEJO INGENIERO CIVIL R. CIP N° 161037

CERTIFICADO DE ENSAYO:

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES, SULFATOS Y CLORUROS

PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS DE DUNA Y PLAYA CON BENTONITA SÓDICA PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN CARRETERAS	MUESTREADO POR:	
UBICACIÓN:	CHICLAYO	ENSAYADO POR:	
CONSULTOR:		NORMATIVA:	NTP 339.152
SOLICITANTE:	LUIS ANGEL CHIROQUE NEGRON		NTP 339.177 NTP 339.178
FECHA DE ENSAYO:	miércoles, 11 de Octubre de 2023	CODIGO DE EXPEDIENTE:	

MUESTRA: DUNA	CAPA: 1.5	UBICACIÓN: CHICLAYO
----------------------	------------------	----------------------------

SALES SOLUBLES

1	Muestra		A	B	PROM.
2	Peso de muestra	g	50	50	-
3	Volumen de agua destilada	ml	250	250	-
4	Número de beaker	-	-	-	-
5	Peso de beaker	g	27.62	26.90	-
6	Peso de beaker + residuo de sales	g	27.70	27.05	-
7	Volumen de solución evaluado	ml	50	50	-
8	Relación: mezcla suelo - agua destilada	-	5.00	5.00	-
9	Residuo de sales	g	0.08	0.15	-
10	Constituyentes de sales solubles totales	ppm	8000	15000	11500
11	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.80%	1.50%	1.15%

SULFATOS

1	Volumen de agua destilada	ml	250
2	Peso de suelo seco	g	50
3	Número de crisol		1
4	Peso del crisol	g	55.16
5	Peso del crisol + residuo de sulfatos	g	55.7
6	Peso del residuo de sulfatos	g	0.54
7	Volumen de solución tomada	ml	35
8	Peso de muestra en volumen de solución	g	50
9	Concentración de Ión sulfato	ppm	10800
10	Contenido de sulfatos	%	1.080%

CLORUROS

1	Volumen de agua destilada	ml	250
2	Peso de suelo seco	g	50
3	Volumen de solución tomada	ml	50
4	Titulación de la solución de nitrato de plata	t	0.136
5	Consumo de solución de nitrato de plata	ml	50
6	Peso de muestra en volumen de solución	g	24
7	Contenido de cloruros	ppm	5667
8	Contenido de cloruros	%	0.567%

GRUPO LLIFI E.I.R.L.

TECNICO

Nombre y firma:

JORGE M. LLICAN JACINTO
LABORATORISTA

ESPECIALISTA

Nombre y firma:

ROBERTO ENRIQUE CHAMBERGO MONTEJO
INGENIERO CIVIL
R. CIP N° 161007