

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“Comportamiento de la subrasante en la carretera Huaraz-
Unchus con adición de 10% Y 20% de cloruro de sodio”**

Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil

Autor

Cerna Montalvo, Cesar Junior

Asesor

Cerna Chávez, Rigoberto

Chimbote – Perú

2019

Palabras clave

TEMA	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, SUBRASANTE, CLORURO DE SODIO
ESPECIALIDAD	MECÁNICA DE SUELOS

Key words

THEME	SOIL STABILIZATION, SUBGRADE, SODIUM CHLORIDE
SPECIALTY	SOIL MECHANICS

Línea de investigación

Línea de investigación: Transporte

Área: Ingeniería y tecnología

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería del transporte

Sub-líneas o Campos de investigación: Pavimentos

**Comportamiento de la subrasante en la carretera Huaraz-
Unchus con adición de 10% Y 20% de cloruro de sodio**

RESUMEN

El propósito fundamental de este trabajo de investigación fue evaluar el comportamiento del suelo natural de la subrasante con adición de cloruro de sodio, comúnmente llamado sal de mesa, para intensificar las propiedades físicas y mecánicas del suelo: permeabilidad, soporte y estabilidad; aprovechando sus propiedades higroscópicas, capacidad de absorción de la humedad de los materiales.

Para desarrollar los trabajos de esta tesis se obtuvieron muestras de suelo natural presente en el tramo de la carretera Huaraz-Unchus, que posteriormente fueron sometidos a ensayos de laboratorio para obtener sus características: pH del suelo natural, contenido de humedad, ensayo granulométrico, límites de Atterberg, peso específico, Proctor Modificado y CBR. A partir de ello se evaluó el comportamiento del mismo suelo con la aplicación del aditivo (NaCl), y determinar sus nuevas propiedades físicas y mecánicas adicionándolo en diferentes porcentajes: 10% y 20%, para una penetración de CBR al 0.1" (2.5mm) y 0.2" (5mm).

Luego de realizar los ensayos de penetración en laboratorio se obtuvieron resultados para 0.1" y 0.2", donde el CBR al 0.1" de penetración tiene mayor porcentaje de CBR al ser adicionado con cloruro de sodio con respecto a la muestra patrón, siendo la muestra con dosificación del 10% más óptima que la del 20%, cuyo valor de CBR decrece.

ABSTRACT

The fundamental purpose of this research work was to evaluate the behavior of the natural soil of the subgrade with the addition of sodium chloride, commonly called table salt, to intensify the physical and mechanical properties of the soil: permeability, support and stability; taking advantage of its hygroscopic properties, ability to absorb moisture.

To develop the work of this thesis, natural soils were obtained from the stretch of the Huaraz-Unchus road, which were subsequently subjected to laboratory tests to obtain their characteristics: pH of natural soil, moisture content, granulometric test, Atterberg limits, specific gravity, Modified Proctor and CBR. From this the behavior of the same soil was evaluated with the application of the additive (NaCl), and to determine its new physical and mechanical properties by adding it in different percentages: 10% and 20%, for a penetration of CBR to 0.1" (2.5mm).

After performing the penetration tests in the laboratory, results were obtained for 0.1 "and 0.2", where the CBR at 0.1 "penetration has a higher percentage of CBR when added with sodium chloride with respect to the standard sample, the sample being dosage of 10% more optimal than 20%, whose CBR value decreases.

ÍNDICE

Tema	Pág. N°
Palabras clave: en español e inglés – Línea de investigación	i
Título de la investigación	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice	v
Introducción	1
Metodología	32
Resultados	48
Análisis y discusión	66
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Referencias bibliográficas	72
Anexos	73
Panel fotográfico	91

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la importancia de la construcción de carreteras, tanto en su forma rígida o flexible, siendo estas últimas las que se realizan en mayor proporción, ya que presentan un menor costo constructivo y son una alternativa rápida para satisfacer la demanda de desarrollo de los pueblos al interior del país.

El funcionamiento satisfactorio, a largo plazo, de proyectos de construcción de carreteras depende de la calidad de los suelos donde se fundan las mismas. Con el diseño y técnicas de construcción apropiados se pueden reducir los cambios no deseados en los suelos de la subrasante y los utilizados en bases y sub-bases, con el fin de evitar el colapso de la carretera. Una buena técnica para controlar el comportamiento de los suelos es la de estabilizar los materiales a utilizar. Existen varios métodos para estabilizar un suelo.

El tratamiento con cloruro de sodio es un método para estabilizar los suelos, aumenta el tiempo de evaporación, hace que no pierdan la humedad rápidamente y ayuda a transformar las características mecánicas de los suelos inestables en materiales utilizables.

El cloruro de sodio (NaCl) funciona como un retardante de pérdida de humedad, proporciona una manera confiable y económica de estabilizar los suelos utilizados en bases y sub-bases. Puede ser utilizado en el tratamiento de suelos, en varios porcentajes o cantidades, dependiendo del objetivo.

Debido al bajo costo del cloruro de sodio (NaCl), en comparación con otros materiales utilizados para la estabilización de suelos, se determinó estabilizar con cloruro de sodio para disminuir el costo el mejoramiento de la subrasante y emplear para este estudio información bibliográfica veraz. Asimismo, se realizó ensayos de laboratorio confiables para obtener datos certeros, que proporcionen una información real del comportamiento de los suelos estabilizados con de cloruro de sodio.

Con este estudio se determinó si es confiable y eficiente el método de estabilización con cloruro de sodio y se verificaron las propiedades físicas y comportamientos mecánicos de los suelos, para proporcionar datos confiables a los constructores de carreteras.

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

a. Antecedentes Internacionales

Roldán J. (2010), en su tesis “Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases” desarrollada en la ciudad de Guatemala concluye que el porcentaje de compactación para los materiales arena limosa y arena caliza tienen un aumento con las adiciones de NaCl en porcentajes no mayores al 2%, sin embargo, el porcentaje de CBR no se comporta de la misma manera. Para el material arena limosa el porcentaje de CBR disminuye, mientras que para el material arena caliza el porcentaje de CBR aumenta para la probeta compactada a 65 golpes.

Solano R. & Niño C. (2010) en su tesis titulada “Evaluación de la estabilización de arcillas expansivas en laboratorio implementando pilotines con cal y sal” desarrollada en la ciudad de Santander concluyó que entre los aditivos utilizados cal y sal, se encontró resultados más óptimos con la cal, obteniéndose una disminución significativa en los límites de Atterberg y en su potencial de expansión; con la sal también se pudo conseguir disminución, pero menos considerable.

W. Quinche, W. Caraguay, A. Cartuche & A. Zúñiga (2011), en su artículo científico “Estabilización de suelos para uso en vías terrestres” desarrollado en la ciudad de Loja después de evaluar el comportamiento de un suelo arcillo mediante la adición de cloruro de sodio y cal concluye que las características de compactación para cada uno de los suelos es similar, debido a que existe un incremento en la densidad seca máxima y una variación en la disminución

del contenido óptimo de humedad, en lo referente al ensayo CBR, en porcentajes de 2% y 5 % de cloruro de sodio existe variación de la capacidad portante y en los porcentajes de 10% y 20% de cloruro de sodio la capacidad portante aumenta de 2.1 del suelo natural a 3.0 y 3.7 de la capacidad portante.

b. Antecedentes Nacionales

Palomino Y. (2016), en su tesis titulada “Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice California Bearing Ratio de un suelo arcilloso” desarrollada en el departamento de Cajamarca concluyó que la adición del cloruro de sodio en porcentajes de 4%, 8% y 12% incrementa el valor del CBR hasta en un 10% en comparación a la muestra patrón. Puesto que el índice CBR para 0.1” varía un 9.48% de la muestra patrón, mientras que para 0.2” el índice CBR varía 9.69 % de la muestra patrón.

c. Antecedentes Locales

A la fecha no se ha encontrado información.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

a. Justificación social

La presente investigación pretende contribuir de manera técnica para dar solución a la baja capacidad portante del suelo de fundación en el tramo de la carretera Huaraz-Unchus, realizando mejoras en sus propiedades físicas y mecánicas, y como resultado de esta investigación se demostrará que es factible la ejecución de obras viales con diferentes tipos de pavimentos (asfáltico o de concreto hidráulico) según propuesta, ya que la ejecución de las mismas trae consigo beneficios económicos y sociales a su población.

b. Justificación técnica

Esta investigación permite conocer cómo el cloruro de sodio influye en el índice de California Bearing Ratio (CBR) en un suelo arcilloso tanto en una muestra patrón como en muestras de 10% y 20% adicionados con cloruro de sodio, además permite conocer cómo varían los límites de Atterberg y el peso específico, puesto que existe la necesidad de realizar una estabilización de suelo durable y sostenible en la zona de investigación para la posible ejecución de proyectos de ingeniería en el futuro. La investigación que se realizó sobre el cloruro de sodio en esta tesis, permitió proponer una alternativa de estabilización física y mecánica para el mejoramiento de las propiedades de un suelo arcilloso, en el tramo de la carretera Huaraz-Unchus y otras aplicaciones del Perú y del departamento de Ancash en especial, debido a la gran variedad de suelos que cuenta la zona.

PROBLEMA

a. Planteamiento del problema

La mayoría de los suelos al perder humedad sufren un cambio en sus propiedades físicas y mecánicas, que ocasionan problemas significativos y de alto costo económico en la infraestructura de carreteras. El problema que presenta el tramo de la carretera Huaraz-Unchus es que no puede realizarse la construcción de carretera debido a que el suelo de fundación es de baja capacidad de soporte, la cual traería problemas técnicos estructurales en el pavimento y así elevar el costo de mantenimiento con respecto a la ejecución inicial del proyecto.

Esta investigación tiene como propuesta técnica controlar el comportamiento de los suelos arcillosos con su estabilización a través de un aditivo óptimo, eficiente, disponible y económico.

b. Formulación del problema

¿Cómo influirá la adición de 10% y 20% de cloruro de sodio en el comportamiento de la subrasante de la carretera Huaraz-Unchus?

MARCO REFERENCIAL

a. Suelos

Técnicamente, el suelo es una mezcla de partículas de roca o mineral, agua y aire. Es sobre la base de estos constituyentes que las propiedades de suelo difieren de una zona a otra. Además, los diferentes tipos de suelos se comportan de forma diferente en los trabajos de construcción. El tipo de suelo para una obra de construcción tiene una enorme influencia en el diseño y los costos de la edificación que se construirá. Así, el análisis del suelo ayuda en la determinación de si será requerido trabajo adicional, para preparar el sitio de construcción (Osorcio, 2015).

El suelo está formado por tres fases: la líquida, la sólida y la gaseosa. En la mayor parte de los suelos, la fase sólida la forman partículas minerales que constituyen el esqueleto estructural en el que está absorbido el humus o las partículas orgánicas. Entre las partículas de la fase sólida existen espacios porosos los cuales son llenados con la fase líquida y gaseosa, juntamente (Cruz, 2009).

En ingeniería civil todas las obras se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados (Nicholson, 2015).

b. Clasificación SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos) y Clasificación AASHTO (American Association of State Highway Officials)

b.1. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación

puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado con moldes de tamiz de diferentes diámetros u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casagrande (Crespo, 2004).

Este sistema divide los suelos en dos grandes grupos: granos gruesos y granos finos.

b.1.1. Clasificación para suelos gruesos

Los primeros tienen más del 50% de granos mayores que el tamiz N°200 (0.075 mm). Se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz N° 4 (4.75 mm), y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz N° 4 (4.75 mm). A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la gradación: W, buena gradación con poco o ningún fino; P, gradación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla (NTP 339.134, 1999).

b.1.2 Clasificación para suelos finos

Los suelos finos, con más del 50% bajo el tamiz N°200 (0.075 mm), se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O). Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50% y H, si es mayor.

- Arcilla. Es un suelo que pasa la malla estándar N° 200 y puede exhibir plasticidad (propiedades plásticas) dentro de un cierto rango de

contenido de humedad y que tiene una considerable resistencia cuando está seco. Con propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción de grano fino de un suelo, con un índice plástico igual o mayor que 4, y su ubicación dentro de un gráfico de índice plástico versus límite líquido cae en o sobre la línea “A”.

- Limo. Suelo que pasa la malla estándar N° 200, que es no plástico o muy poco plástico y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire. Con propósitos de clasificación, un limo es un suelo de grano fino, o la porción de grano fino de un suelo, con un índice plástico menor de 4 o que su ubicación en el gráfico índice plástico versus límite líquido cae por debajo la línea “A”.
- Arcilla orgánica. Una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que podría ser clasificado como una arcilla, excepto que el valor líquido después del secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.
- Limo orgánico. Un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación, un limo orgánico es un suelo que podría ser clasificado como un limo, excepto que el valor de su límite líquido después del secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.
- Turba. Un suelo compuesto de tejido vegetal en varios estados de descomposición, usualmente con un olor orgánico, un color oscuro a negro, una consistencia esponjosa y una textura que va desde la fibrosa a amorfa (NTP 339.134, 1999).

b.2. La clasificación AASHTO (American Association of State Highway Officials) se clasifica en siete grupos (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices N° 200, 40 y de los límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz N° 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz N° 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz N° 200).

La categoría de los suelos granulares (gravas, arenas) está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento es de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

- ❖ A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.

A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado

A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.

- ❖ A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos están por encima de los límites fijados para dichos grupos.

A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y cuya

fracción que pasa por el tamiz N° 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.

A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con tienen las características de los grupos A-6 y A-7.

- ❖ A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.
- ❖ A-4: El suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz N° 200. También se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arenas.
- ❖ A-5: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.
- ❖ A-6: El suelo típico de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz N° 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino

arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

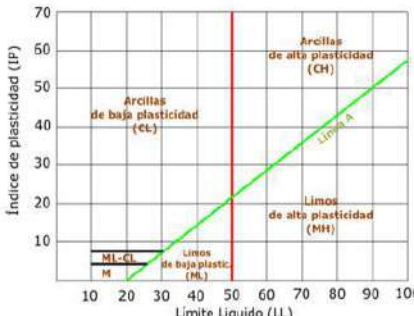
- ❖ A-7: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.

A-7-5: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.

A-7-6: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes.

TABLA N° 01: SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Fuente: NTP339. 134, 1999

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% - >GW, GP, SW, SP. >12% - >GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S) 	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
			OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	G= Grava, S=Arena, O=Suelo Organico, P=Turba M=Limo, C= Arcilla, W= Bien Graduado, P=Mal Graduado, L=Baja Comprensibilidad, H=Alta Comprensibilidad	
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
			PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		
	Suelos muy orgánicos					

c. Generalidades de las estabilizaciones

Estabilizar un suelo natural consiste en mejorar sus características físicas y/o mecánicas, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil (Brazzini, 2011).

La estabilización de suelos consiste en mejorar un suelo existente adicionando un material. Las ventajas directas que obtenemos de la estabilización son, entre otras, las siguientes: aprovechar suelos de baja calidad, evitando su extracción y transporte a vertedero; reducir la sensibilidad al agua del suelo, aumentando su resistencia a la erosión, a la helada y otros agentes climáticos; permitir la circulación por terrenos impracticables y obtener una plataforma estable de apoyo del firme de infraestructuras lineales que colabore estructuralmente con el mismo. Los procedimientos más utilizados son la estabilización con cal y la estabilización con cemento, aunque también se utilizan otros aditivos, destacando los procesos de estabilización con ligantes hidrocarbonados y la estabilización con cloruros (Yepes, 2015).

La necesidad de estabilizar suelos puede deberse a algunos u varios de estos requerimientos:

- Disminuir asentamientos de estructuras
- Disminuir el potencial de expansión y contracción de los suelos
- Aumentar la resistencia de los suelos
- Facilitar el trabajo de construcción
- Reducir la permeabilidad de ciertos suelos Escasez de materiales de construcción.

- Disminuir el potencial de daños causados durante el congelamiento y descongelamiento progresivo de suelos.
- Mejorar las propiedades del suelo temporalmente (solamente durante la etapa de construcción (Nolasco, 2015).

Por otro lado, no debe pensarse en el uso de la estabilización solamente como una medida correctiva sino también como medida preventiva o de seguridad contra condiciones adversas que se desarrollen durante la construcción o durante la vida de la estructura (Solano & Niño, 2010).

c.1. Métodos de estabilización de suelos

c.1.1. Estabilización mecánica

La estabilización mecánica pretende mejorar las propiedades del suelo. Consiste mejorar la trabazón mecánica por acciones de compactación, estática o dinámica. El método incluye también la adición de roca triturada o el tamizado para remover las partículas de cierto tamaño que son perjudiciales para fines ingenieriles. Este tipo de estabilización se lleva a cabo por compactación, vibración y uso de explosivos (Rodríguez, 2008).

c.1.2. Estabilización química

Es la aplicación de un agente estabilizador químico que tiene como objetivo estabilizar el suelo al mezclarse con este. Estabilización química, que se refiere al cambio de las propiedades del suelo por efectos físico-químicos de superficie mediante la adición de cal, cemento, asfalto, cloruro de sodio, entre otros permeabilizantes. Un ejemplo claro es en el desarrollo de un proyecto de vía; estas adiciones químicas se la

aplican principalmente a bases, sub-bases y terraplén para proveerle una estabilización garantizada a la vía. (Duarte, 1015).

Entre los agentes químicos más utilizados se encuentran el cemento Portland, asfalto, cloruro de sodio, cenizas volantes, cloruro de calcio y desperdicios de fábricas de papel; estos materiales se usan para modificar la plasticidad, controlar el cambio de volumen y mejorar la resistencia (Rodríguez, 2008).

c.2. Criterios geotécnicos para establecer estabilización de suelos

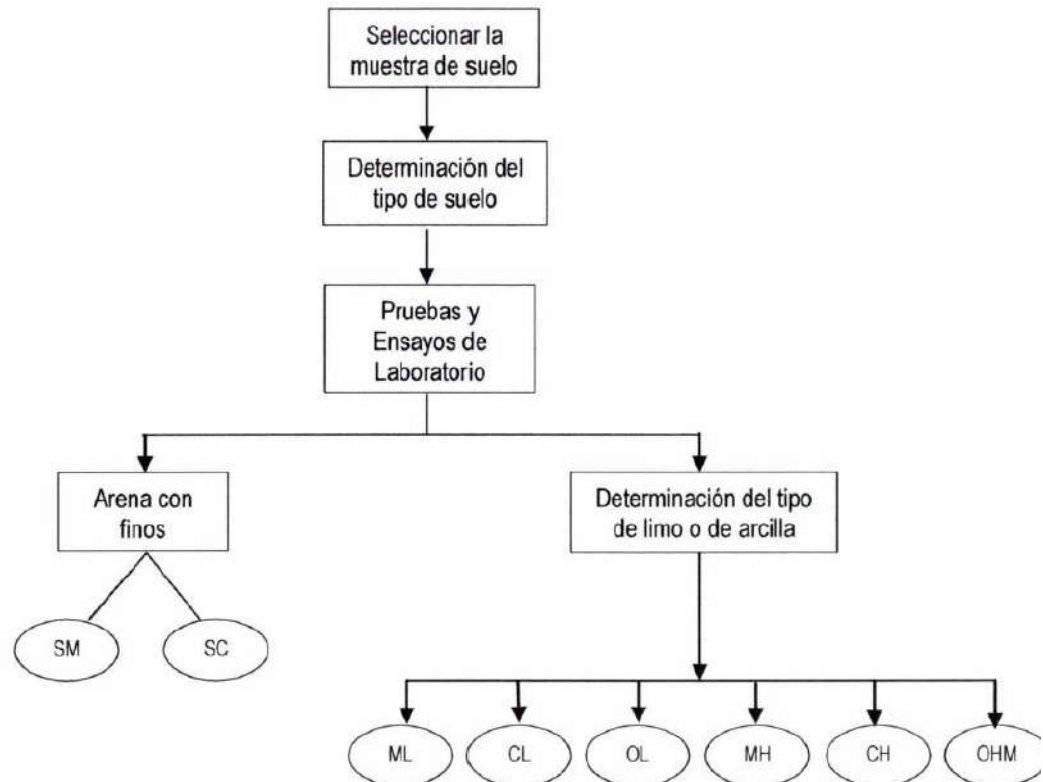
c.2.1. Se consideran como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con $\text{CBR} \geq 6\%$. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.

c.2.2. Cuando la capa de sub rasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm de espesor como mínimo.

c.2.3. Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

Gráfico N° 01: Proceso para la identificación del tipo de suelo

Fuente: Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos

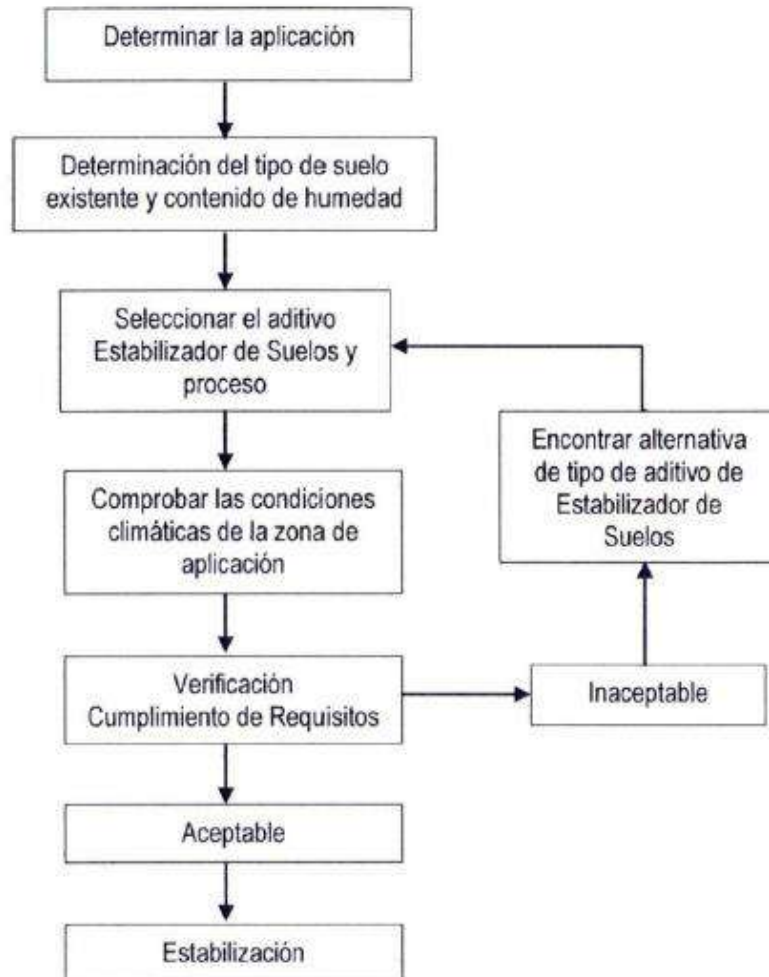


c.2.4. Los factores que se consideraron al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- Tipo de suelo a estabilizar
- Uso propuesto del suelo estabilizado
- Tipo de aditivo estabilizador de suelos
- Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- Disponibilidad de tipo de aditivo estabilizador
- Disponibilidad de equipo adecuado
- Costos comparativos

Gráfico N° 02: Proceso de selección del tipo de estabilización

Fuente: Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos



d. Cloruro de Sodio (NaCl)

El cloruro de sodio está formado por cristales, fácilmente solubles en agua, los cuales tienen la propiedad de atraer y mantener el agua líquida o en vapor, y se pueden obtener en el mercado tamaños grandes de cristales o polvo fino y de diferente tamaño de pureza, esta característica hace que el cloruro de sodio pueda servir como enlace entre las partículas (Gárnica, 2002).

El cloruro de sodio (NaCl) se obtiene por tres métodos diferentes, el primero mediante la utilización de los rayos solares, que consiste en colocar agua salada (agua de mar) en lugares donde la energía del sol evapora el agua y el resultado son residuos de sal. El segundo método consiste en la extracción de minas de sal que existen en el país y el tercero mediante la utilización de hornos industrializados que evaporan el agua del océano y recopilan los residuos que son convertidos en sal (Reyes, 2004).

Algunos autores manifiestan que la adición de sales al material granular y a las arcillas crea disminución en su contracción volumétrica, que sumado a la formación de microcapas de sal y la reducción de la variación de la humedad, mantienen más unidas las partículas, siendo éstas menos susceptibles a la abrasión del tráfico y al desgaste (Pérez, 2002).

La estabilización con sal, tiene múltiples aplicaciones y no solo en caminos donde pueden estabilizarse carpetas de rodado, bases, sub – bases, suelos naturales o subrasantes, sino también pistas de aterrizaje en aeródromos, playa de estacionamiento, en centros de consumo, supermercados, colegios, multicanchas, patio de recreación, estadios y otras áreas como bodegas a la intemperie y patios industriales, veredas entre otros. Es en resumen adaptable a otros usos en una gran variedad. Sobre las superficies estabilizadas con sal se puede imprimir, ejecutar doble tratamiento, asfaltar u hormigonar sin otra limitación de las propias de los productos a utilizar. En la estabilización con sal como cualquier otro procedimiento, la calidad del trabajo terminado dependerá de los materiales que se usen y de que el constructor se ciña a una buena técnica de construcción y a las recomendaciones generales entregadas por el proveedor (Nolasco, 2015).

d.1. Estabilización con Cloruro de Sodio (NaCl)

El cloruro de sodio (NaCl) se presenta en forma de cristales fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y fáciles de conseguir. Al agregar sal a los suelos se considera que se reduce el punto de evaporación del agua, debido al incremento en la tensión superficial. Sin embargo, cuando la superficie expuesta es menor que la evaporación, ésta se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones. La adición de cloruro de sodio en una arcilla produce decremento en la contracción volumétrica, la formación de costra superficial y la reducción de la variación en la humedad; además, mantienen unidas las partículas no arcillosas y que se encuentran en la superficie, se desprenden con menor facilidad cuando sufren los ataques abrasivos del tránsito (Roldan, 2010).

Al agregar la sal se considera que se reduce la evaporación del agua debido al incremento en la tensión superficial. Sin embargo, cuando la aportación de agua a la superficie expuesta es menor que la evaporación, la superficie se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones. La sal es un estabilizante natural que modifica la estructura del material pétreo mejorando sus propiedades físicas, lo que contribuye a aumentar la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión, y por lo tanto a la disminución de la permeabilidad. Su uso es para todo tipo de suelo, pero su eficacia decrece ante la presencia de material orgánico. Es sabido que el cloruro de sodio es bastante soluble en agua lo cual le permite una fácil y rápida distribución de él dentro de la masa de suelo; así, la sal disuelta es llevada a través de los huecos del suelo, los que va

ocupando. Durante el periodo de fraguado, la mezcla suelo-sal va perdiendo humedad. Esta pérdida de agua permite la cristalización del cloruro de sodio dentro de los vacíos del suelo que llena en calidad de sólido. Esto debe producir un aumento en la densidad del suelo (Gutierrez, 2010).

d.2. Forma de aplicar Cloruro de Sodio a los suelos

La estabilización con cloruro de sodio mejora algunas propiedades de los suelos. De igual forma que otros métodos de estabilización, el cloruro de sodio necesita de un método adecuado para mezclarse con el suelo a estabilizar, con el fin de reducir riesgos en la salud de los trabajadores in situ, y obtener una mezcla de suelo-cloruro de sodio que produzca mejores resultados (Rico, 2008).

Al igual que en la mayoría de las estabilizaciones, el cloruro de sodio puede aplicarse directamente al suelo a tratar y encontrar una relación en porcentaje que permita estabilizar adecuadamente el suelo. Las formas de aplicación del cloruro de sodio son:

En grano. Este método de aplicación no es 100% eficaz, ya que al homogenizar el suelo con el cloruro de sodio quedan porciones de suelo, en las cuales tiene un menor porcentaje de NaCl con respecto a otros. Sin el ensayo en laboratorio es fácil la homogenización con métodos prácticos, haciendo que la mezcla suelo cloruro de sodio sea la correcta, de esta manera el cloruro de sodio estará presente en toda la muestra de suelo (Roldan, 2010).



Imagen N° 01: Aplicación en grano de NaCl

Fuente: Roldan, 2010

En salmuera. El emplear este método de dilución en agua se crea salmuera, la cual es aplicada al suelo controladamente. La salmuera llena los espacios entre las partículas de suelo y establece un método eficiente al mismo tiempo que se agrega la humedad óptima al suelo. Sin embargo, al crear salmuera se corre el riesgo de afectar la maquinaria empleada para su realización, ya que la sal es un agente oxidante (Roldan, 2010).



Imagen N° 02: Aplicación en salmuera de NaCl

Fuente: Roldan, 2010

e. Ensayos de laboratorio

e.1. Contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

El contenido de humedad se determina pesando una muestra representativa de suelo en su estado húmedo, secado luego dicha muestra a una temperatura constante de 100 a 110 °C y pesándola después. La diferencia entre el peso de la muestra antes y después de secada al horno representa el peso del agua que contenía la muestra. Este peso del agua expresada como porcentaje del peso seco de la muestra proporción el contenido de humedad. El contenido de humedad del suelo puede variar desde cero cuando está perfectamente seco hasta un máximo determinado y variable cuando está completamente saturado (NTP 339.127, 1999).

e.2. Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado

Este método fija el modo de obtener mediante el tamizado la distribución de las partículas por tamaño en cada malla, en una muestra sirve para determinar su clasificación y según esto su uso más adecuado. (NTP 339.128, 1999).

Al finalizar este ensayo obtenido los pesos retenido en los tamices se procede a calcular el porcentaje por cada tamiz.

e.3. Límites de Atterberg

La plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, habiendo de recurrir al método al método descrito por el sueco Atterberg. Este

método consiste en definir los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites, llamados límites de Atterberg, son: el límite de liquidez (LL), el límite de plasticidad (LP) y el límite de retracción (LR). Para respetar las notaciones internacionales más empleadas, LL, LP y LR pueden ser llamados WL, WP y WS (NTP 339.129, 1999).

La determinación de estos límites se realiza solamente sobre elementos finos que pasan por un tamiz de malla cuadrada de 0.42 mm según la norma. Estos no son, pues, valores representativos del conjunto del suelo y para apreciar todas las características de este, había que tener en cuenta la proporción de elementos gruesos y finos que contiene.

El **Límite Líquido** si el mortero está muy unificado se presenta y se comporta como una papilla sin ninguna consistencia. El límite líquido se define como la humedad, en relación al peso del suelo seco, que le convierte en suelo líquido.

El **Límite Plástico** se define como la humedad para la cual el mortero se convierte en plástico, es decir, se puede amasar todavía antes de perder toda coherencia. Experimentalmente el límite de plasticidad es la humedad que permite amasar el suelo sin deshacerlo en moldes de 3 mm de diámetro.

El **Límite de Retracción** es la humedad para la cual el suelo se fisura y pierde su coherencia por falta de agua. Se le define como la humedad justa y suficiente para llenar los poros del suelo cuando este alcanza su volumen mínimo, es una medida cada vez menos utilizada y que tiene a desaparecer.

Además del LL y del LP, una característica muy interesante es el índice de plasticidad IP que se define como la diferencia LL y LP.

El índice de plasticidad permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso; por lo contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso (Sanz, 1995).

e.4. Ensayo de proctor modificado

Se entiende por compactación a todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un suelo. En general es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable (NTP 339.141, 1999).

El Proctor Estándar y Proctor Modificado se determinan la relación de densidad y humedad de un suelo en particular, aplicando un esfuerzo a través de una energía específica de compactación mediante la caída de un pisón cilíndrico de una altura de 12" y 18", dentro de un molde cilindro de 4" y 6" de diámetro (Sanz, 1995).

e.5. California Bearing Ratio (CBR)

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, California Bearing Ratio) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California, como una forma de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcciones de carreteras. El ensayo de CBR es el más empleado para el diseño de pavimentos, y mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad

previamente fijada en una muestra compactada. De suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días y de haber medido su hinchamiento.

El hecho de sumergir la muestra se debe a que, si podemos prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo y de haberlo sugerido, lo penetramos con un pistón el cual va conectado a un pequeño “plotter” que nos genera una gráfica donde se nos representa la carga respecto a profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro muestra (NTP 339.175, 1999).

f. Pavimento

El pavimento dentro de la ingeniería civil es un término muy importante ya que puede revertirse con diversos materiales, como maderas o piedras. El concepto, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material que especialmente es usado para construir rutas, calles y otras vías de comunicación para la sociedad.

Es importante que el ingeniero civil se encargue de construir pavimentos altamente resistentes, dado que un gran porcentaje de los accidentes de tránsito terrestre que ocurren todos los días en las grandes ciudades se encuentran vinculado con el deterioro de las calles, es por ello, que resulta de gran importancia extender la vida de los pavimentos. Esto se obtiene analizando potenciales cambios en sus diseños, de forma que el daño originado por los autos afecte tan sólo la capa superficial y no produzca daños de tipo estructural. Es indiscutible que los beneficios de dichos adelantos repercutirían tanto en la seguridad vial como en la economía.

Tipos de Pavimentos

- **PAVIMENTO FLEXIBLE**

Se denomina Pavimento flexible a aquel cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de Pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings.

Los Pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa, que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y sub base; sin embargo, es posible prescindir de estas capas dependiendo de la calidad de la subrasante y de las necesidades de cada obra. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior.

Por lo tanto, la capa de más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto, la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior.

Las capas del pavimento flexible son:

Carpeta o capa de rodadura: Es la capa más superficial y tiene como principal función proporcionar una superficie segura, cómoda y estable en el tránsito vehicular; además de actuar como capa impermeable para impedir la infiltración de agua en la estructura del pavimento. Puede estar compuesta por uno o varias capas asfálticas.

Base: Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa de Superficial y es la encargada de recibir los esfuerzos de la capa de rodadura y transmitirlo de forma adecuada a la sub base y a la subrasante. En general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).

Capa Sub-base: Se considera una capa netamente económica, debido a que los contenidos de sus materiales son muy asequibles y económicos. Tiene la función de actuar como capa de transición entre la base y la subrasante, puesto que impide la penetración de materiales finos de la subrasante así, como la ascensión capilar.

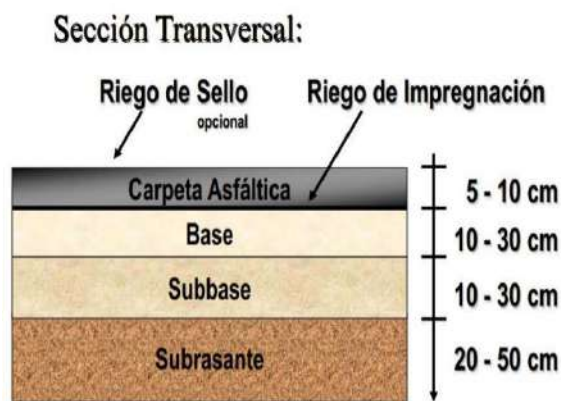


Imagen N° 03: Sección transversal del pavimento flexible

Fuente: www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles

- **PAVIMENTO RÍGIDO**

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el

concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Mosalve, 2014)

Las capas del pavimento rígido son:

Sub rasante: Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Sub base: Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub base.

La sub base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub base adecuada.

Carpeta hidráulica (superficie de rodadura): Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

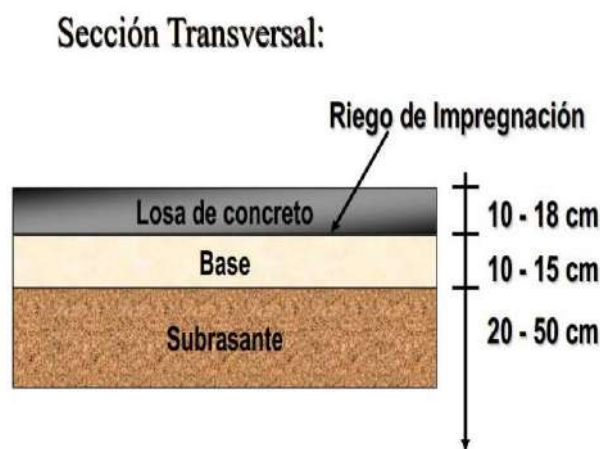


Imagen N° 04: Sección transversal del pavimento rígido

Fuente: www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles

g. Patologías del pavimento

La evaluación del estado y condición de una carretera es parte fundamental en un sistema de gestión de infraestructura vial, para garantizar la continuidad de ésta en el tiempo, brindando un servicio rápido, cómodo, seguro y

económico a los usuarios. Es por esta razón, que realizar la evaluación de las carreteras es una necesidad para poder determinar las posibles deficiencias y las labores de mantenimiento que ésta requiera, de tal manera garantizar la buena prestación del servicio.

Cada clase de pavimento presenta unos deterioros específicos. Luego se busca hacer una unificación de criterios y procedimientos para poder cuantificar y reparar estos deterioros de manera fácil y eficaz.

En el presente proyecto se presenta las patologías del pavimento, tanto en rígido como flexible, más comunes, debido a las deficiencias del suelo de fundación, de tal manera concluir la importancia de la estabilización de los suelos si fuesen necesarios.

Agrietamiento longitudinal: Grietas longitudinales de una abertura aproximada de 0.5 cm en el área de circulación de las cargas más pesadas. Éste fenómeno se da en la base, sub base y con mayor frecuencia en la sub rasante y se debe a los cambios volumétricos por variación de agua.



Imagen N° 05: Agrietamiento longitudinal

Fuente: Fuente propia

Hundimiento: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo. Sus causas son la deficiencia de la compactación inicial a los materiales de soporte, asentamientos diferenciales.



Imagen N° 06: Hundimiento

Fuente: www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles

Baches: Descomposición o desintegración de la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares. Sus causas son el diseño espesores del pavimento estructuralmente insuficiente, mala compactación de las capas de soporte (capas inferiores inestables).



Imagen N° 07: Baches

Fuente: Fuente propia

HIPÓTESIS

La adición de cloruro de sodio en la subrasante en la carretera Huaraz-Unchus, en 10% y 20%, mejorará su comportamiento.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el comportamiento de la subrasante en la carretera Huaraz-Unchus cuando se adiciona un 10% y 20% de cloruro de sodio.

Objetivos Específicos

- Clasificar el suelo de la subrasante mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO.
- Determinar el porcentaje de compactación del suelo (ensayo de proctor estándar) tanto para muestra patrón como para las distintas dosificaciones de cloruro de sodio 10% y 20% de cloruro de sodio.
- Determinar el comportamiento en el índice California Bearing Ratio CBR del suelo tanto para muestra patrón como para las distintas dosificaciones 10% y 20% de cloruro de sodio.
- Determinar el grado de alcalinidad (pH) del suelo natural y analizar el comportamiento cuando se adiciona 10% y 20% cloruro de sodio.
- Comparar resultados mediante la validez estadística de ensayos proctor estándar y CBR, para muestras patrón y adiciones de cloruro de sodio en 10% y 20%.

METODOLOGÍA

A.1. Tipo y diseño de investigación

En coherencia con el fin de la ciencia, fue una Investigación explicativa porque los datos de la investigación fueron obtenidos por observación de fenómenos condicionados por el investigador.

El diseño de investigación fue experimental, cuyo esquema es el siguiente:

$$\mathbf{G: \quad O_1 \quad - \quad X \quad - \quad O_2}$$

Dónde:

O₁: Pre-Test.

X: Tratamiento

O₂: Post-test

A.2. Población y muestra

Población: Suelos de la carretera Huaraz-Unchus con adición de cloruro de sodio.

Muestra: Según la norma NTP 339.175 indica que se utilizaron tres especímenes sin adición de cloruro de sodio como muestra patrón y, tres especímenes para cada adición de 10% y 20% de cloruro de sodio, tomando de 60 a 80 kg de material de suelo arcilloso en el tramo de la carretera Huaraz-Unchus.

A.3. Técnicas e instrumentos de investigación

Los instrumentos de investigación fueron las fichas de observación.

La técnica de investigación fue la observación teniendo presente los siguientes ensayos:

- Contenido de Humedad
NTP 339.127 (ASTMD 2216)
- Análisis Granulométrico
NTP 339.128 (ASTMD 422)
- Límites de Atterberg
NTP 339.129 (ASTMD 4318)
- Clasificación SUCS (Sistema Unificado de clasificación de suelos)
NTP 339.134 (ASTMD 2487)
- Peso específico material fino
NTP 339.131 (ASTMD 854)
- Ensayo de compactación Proctor Modificado
NTP 339.141 (ASTMD 1557)
- Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)
NTP 339.145 (ASTMD 1883)

Con la ayuda de estos ensayos se obtuvieron datos suficientes de tal manera que fue posible determinar la influencia del cloruro de sodio en el índice California Bearing Ratio del suelo arcilloso estudiado.

PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Extracción de la muestra

La visita se realizó el día 2 de abril del 2019 para la extracción de la muestra esta realizó de manera manual del banco de arcilla, el cual brindo el material para realizar la presente tesis. El banco de arcilla está ubicado en las siguientes coordenadas:

Norte: 9211353 m

Este: 776301 m

Cota: 2717 m

La extracción se realizó mediante la excavación manual por el tesista posteriormente se realizó cuarteo respectivo del material in situ con el cual se va a trabajar los ensayos establecido.

El transporte se realizó utilizando sacos de polipropileno teniendo cuidado de no contaminar la muestra, estos fueron transportados al laboratorio de la Universidad San Pedro para proceder con los ensayos planteados.



Imagen N° 08: Extracción del material a una profundidad de 1.50 m

Fuente: Fuente propia

Ensayo de pH de suelo natural

El valor del pH del suelo natural se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno. El procedimiento fue el siguiente:

a) Material Utilizado

Muestra inalterada extraída del estrato en estudio.

b) Equipo y herramientas

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Recipientes beaker
- Utensilios para manipulación de recipientes beaker.
- Probeta
- Tubos de ensayo
- Potenciómetro
- Otros utensilios.

c) Procedimiento

- Se procedió a pesar 1 kg de material del suelo natural previamente cuarteado, secado y triturado, libre de impurezas y/o material orgánico.
- Se escogió especímenes de ensayo representativos.
- Se colocó 10 gr de espécimen patrón en los recipientes beaker para cada 50 gr de agua destilada.
- Seguidamente se procedió a agitar el recipiente, luego dejar sedimentar el espécimen.
- Se colocó el agua sedimentada de los recipientes hacia los tubos de ensayo, con cuidado de no pasar partículas gruesas del material.
- Se realizó el ensayo de pH con el potenciómetro, acto seguido se procedió a tomar nota de los datos obtenidos.

- Este procedimiento se repitió para las adiciones de cloruro de sodio en 10% y 20% en el espécimen, para poder determinar el pH del suelo natural con dichas alteraciones.



Imagen N° 09: Pesado de muestra representativa para ensayo de pH del suelo natural

Fuente: Fuente propia

Ensayo de contenido de humedad

El ensayo de contenido de Humedad de la muestra, ésta se siguió de acuerdo al procedimiento establecido en la norma NTP 339.127(ASTM D 2216) en este ensayo solo se aplicó a la muestra patrón. A continuación, se describe el procedimiento realizado para el presente ensayo.

a) Material Utilizado

Muestra inalterada extraída del estrato en estudio.

b) Equipo y herramientas

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Horno de secado.
- Recipientes.
- Utensilios para manipulación de recipientes.
- Otros utensilios.

c) Procedimiento

- Se determinó y registró la masa de un contenedor limpio y seco.
- Se escogió especímenes de ensayo representativos.
- Se colocó el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor.
- Seguidamente se determinó el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Se registró este valor.
- Se colocó el contenedor con material húmedo en el horno. Se secó el material hasta alcanzar una masa constante manteniendo el secado en el horno a 110 ± 5 °C.
- Luego que el material se secó a peso constante, se removió el contenedor del horno. Se permitió el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pudo ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección. Se determinó el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza. Se registró este valor.

Ensayo de análisis granulométrico

El presente ensayo se realizó solo para la muestra patrón siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTP 339.128 (ASTM D 422) el cual consistió en el análisis granulométrico por lavado. El procedimiento realizado se describe a continuación.

a) Equipos y herramientas

- Balanza digital de precisión 0.1 gr.
- Horno eléctrico de temperatura hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Juego de tamices: 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 10, N° 16, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N° 60, N° 100, N° 200, tapa y fondo de acuerdo a la norma.
- Bandejas metálicas.
- Equipo complementario: Cucharon, brocha, pico, palana, escobillas de fierro, recipientes vacíos, sacos de polietileno.

b) Procedimiento

- Se tomó la cantidad de la muestra más representativa en campo de acuerdo a la Norma ASTM D75.
- Posteriormente se colocó la muestra dentro de los sacos de polietileno para su traslado a laboratorio.
- Ya en laboratorio se pesó la muestra con su humedad natural con una precisión de 0.1 gr.
- Se colocó a secar la muestra en el horno a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas hasta que la muestra tenga un peso constante.
- Se retiró la muestra y la dejé enfriar al ambiente.
- Se procedió posteriormente a pesar la muestra seca con una precisión de 0.1 gr.
- Se lavó la muestra ejerciendo presión suave con los dedos y utilizando escobilla de fierro para liberar las partículas arcillosas adheridas a las partículas más gruesas.
- Toda el agua provino del lavado colocado en la malla N° 200.
- Se continuó con el lavado hasta que el agua sea transparente.
- Posteriormente se ubicó a secar la muestra lavada en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm$ hasta que la muestra tenga un peso constante, incluyendo todas las partículas retenidas a la malla N° 200.
- Se retiró la muestra y se dejó enfriar al ambiente.

- Se procedió pesar la muestra seca con una precisión de 0.1 gr.
- Se colocó el juego de tamices desde el tamaño máximo del agregado hasta el tamiz N° 4 en orden descendente, añadiendo la tapa y fondo. Se tamizó la muestra seca.
- Luego se pesó las partículas retenidas en cada tamiz con una precisión de 0.1 gr.
- Se colocó el juego desde el tamiz N° 8 hasta el tamiz N° 200 en orden descendente, colocando la tapa y fondo.
- Posteriormente se tamizó las partículas retenidas en el plato pasante el Tamiz N° 4 del tamizado anterior.
- Luego se pesó las partículas retenidas en cada tamiz con una precisión de 0.1 gr.
- Se registró y procesaron los datos con una precisión de 0.1%



Imagen N° 10: Análisis granulométrico. Material grueso retenido por la malla Nro. 4

Fuente: Fuente propia

Ensayo de límites de Atterberg.

Ensayo que se realizó tanto para la muestra patrón como para las dosificaciones de 10% y 20% de NaCl en estudio, los procedimientos se realizaron de acuerdo a la norma NTP 339.129 (ASTM D 4318), el procedimiento realizado se describe a continuación.

a) Equipos y herramientas

- Balanza digital de precisión 0.01 gr.
- Horno eléctrico de temperatura hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Tamiz N° 40
- Para Límite líquido: Copa de Casagrande, ranuradores, espátula.
- Para Límite Plático: Vidrio esmerilado, espátula.
- Cápsulas de aluminio y porcelana.

b) Procedimiento

b.1) Límite líquido

- El material obtenido se secó a una temperatura no mayor a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ o secado a temperatura ambiente según la norma ASTM 4318.
- Cuando la mayor parte estaba seca se procedió a tamizar por la malla N° 40 y se obtuvo 200 gr para el ensayo.
- El material se saturó con agua potable en una cápsula de porcelana.
- Luego se procedió al batido de material (mezclado) por un periodo de 15 minutos.
- Se verificó la calibración de la copa de Casagrande (altura de caída libre de la cazuela), que esté de acuerdo a norma (1cm).

Terminado el mezclado se procedió al ensayo del límite líquido: se colocó la pasta en la cuchara de la Copa de Casagrande, se mezcló la muestra y se pulió utilizando la espátula. Se pasó el ranurador dividiendo la pasta en dos mitades iguales.

- Se dejó caer la cuchara desde una altura de 1 cm a una velocidad de dos goles por segundo hasta que se cerró a una distancia de 13 mm. Este proceso se repitió para obtener los tres valores de interpolación en el gráfico contenido de humedad vs N° de golpes.
- Se procedió a pesar la muestra húmeda ensayada con una precisión de 0.01 gr.
- Luego se colocó la muestra a secar en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por el tiempo que sea necesario, hasta obtener un peso constante.
- Se retiró la muestra del horno y se pesó el contenido de cada recipiente con una precisión de 0.01 gr.

b.2) Límite plástico

- Se obtuvo una muestra para límite plástico de unos 20 gramos.
- Se hizo perder un poco de humedad con las manos si es que la muestra estaba muy saturada.
- Cuando la muestra se notó aparentemente bien, se hizo bolitas de unos 2 gr cada una, luego se procedió al rolado con los dedos sobre el vidrio esmerilado haciendo hilos, este rolado se realizó hasta que el diámetro del suelo rolado se rompa en pedazos en un tiempo no mayor a 2 minutos por cada bolita ensayada.
- Se tomó dos muestras en cápsulas de aluminio y cada una tuvo un peso mínimo de 6 gr de suelo.
- Se pesó la muestra húmeda con una precisión de 0.01 gr.
- Se colocó a secar la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por el tiempo que fue necesario, hasta obtener un peso constante.
- Luego se retiraron las muestras del horno: Límite líquido y límite plástico y se dejaron enfriar al ambiente. Se tuvo en cuenta no dejar mucho tiempo en el ambiente para evitar la absorción de la humedad giroscópica.
- Se pesaron las muestras secas ensayadas con una precisión de 0.01 gr.
- Se registró y procesó los datos obtenidos con una precisión de 0.01%.



Imagen N°11: Límite plástico en laboratorio

Fuente: Fuente propia

Clasificación SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos)

La clasificación de suelo solo se realizó teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de análisis granulométrico, límite líquido y plástico. El procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o más pasa por 0,075 mm) se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.134 (ASTM D 2487) donde primero se comprobó mediante el análisis granulométrico que más del 50% pasa por 0.075 mm seguido en la cartilla de clasificación introduciéndose los datos obtenidos de índice de plasticidad versus el límite líquido logrando finalmente la clasificación de la muestra en estudio.

Ensayo de compactación proctor estándar

El ensayo de proctor estándar se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.141 (ASTM D 1557) por el Método A. A continuación, se detalla el procedimiento utilizado en el presente ensayo de laboratorio.

a) Equipos y herramientas

- Balanza digital de 20 Kg con una precisión de 0.1 gr.
- Horno eléctrico capaz de mantener una temperatura hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Molde para Proctor Modificado.
- Pisón de operación manual de sección circular con un peso de 4.54 Kg para Proctor Modificado.
- Mallas de 3/4", 3/8" y N° 4
- Equipo complementario: Espátulas, regla metálica, bandeja probeta graduada de 1 litro, martillo de goma, badilejo, cucharón, bolsas plásticas, recipientes vacíos.

b) Procedimiento

- Primero se verificó el análisis granulométrico para ver cuál de los métodos es aplicable según la tabla N° 05.
- De acuerdo al método A se procedió a tamizarse por la malla correspondiente hasta obtener un peso húmedo aproximado de 35 kg para Proctor Estándar.
- El material a ensayarse estaba por debajo del contenido óptimo de humedad.
- Se incrementó la cantidad de agua al material gradualmente a cada punto de 2 en 2% hasta encontrar el contenido óptimo de humedad. En ningún caso los incrementos fueron mayores al 4% según la Sección 10.2.1 de la norma ASTM D698.
- Luego se colocó el material dentro de las bolsas plásticas y se las selló.
- Cumplido el tiempo mínimo de saturación se procedió a ensayar los especímenes para el Proctor Modificado en cinco porciones.
- Se colocó el molde seleccionado sobre la base rígida horizontal nivelada.
- Se retiró el pisón del molde y se colocó una nueva capa, compacté de la misma manera como se indicó anteriormente, continuando de este modo hasta completar las cinco capas requeridas.

- Se retiró el collarín del molde los posibles vacíos que se formaron en la superficie de enrasamiento pueden se rellenó con material fino.
- Luego se retiró el material suelto de los bordes del molde y se pesó el espécimen con una precisión de 1 gr.
- Se obtuvo la densidad húmeda con una precisión de 0.001 gr/cm³.
- Se removió, mezclo y homogenizo el material compactado que se encontró dentro del molde para obtener el contenido de humedad.
- Seguidamente se pesó el material húmedo para determinar el contenido de humedad con una precisión de 0.1 gr.
- Se colocó el material a secar en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C hasta obtener un peso constante.
- Luego se retiró el material del horno y se dejó enfriar en el ambiente por el espacio de 25 minutos aproximadamente.
- Seguidamente se pesó la muestra seca con una precisión de 0.1 gr
- Se repitió los pasos para los 2 especímenes.
- Se registró y procesó los datos.



Imagen N° 12: Ensayo de proctor estándar

Fuente: Fuente propia

Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)

En ensayo de CBR se desarrolló de acuerdo a la norma NTP 339.145 (ASTM D 1883), para suelos cohesivos a estos suelos les afecta la humedad de compactación y la densidad obtenida, por lo que se las ensayó cada muestra después de colocarlas en agua durante 4 días se realizó tanto a la muestra patrón como también a la muestra con las dosificaciones de 10% y 20% de cloruro de sodio. Este ensayo se desarrolló en tres partes las cuales se mencionan a continuación:

a) Equipos y herramientas

- Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg de peso y 3 trípodes
- Pisón Proctor modificado.

- Balanza con precisión de 1 gr.
- 3 diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6 Kg de capacidad.
- Espátula.
- Taras idénticas.

b) Procedimiento

Este procedimiento consta de 3 fases:

b.1) Ensayo de compactación CBR (determinación de la densidad y húmeda del suelo).

- Se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en ensayo de compactación Proctor modificado.
- Luego se compactó la muestra con 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 12 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 por capa.
- Se determinó la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras en cada molde.
- Posteriormente se determinó la densidad seca de las muestras de cada molde.

b.2) Ensayo de hinchamiento (determinación de las propiedades expansivas del material)

- Se invirtió las muestras de tal manera que la superficie libre quedó en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.
- Se colocó sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.

Luego se colocó los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante días (96 horas), se registró las lecturas de expansión cada 24 horas.

b.3) Ensayo de carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración)

- Después de los cuatro días se sacaron los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos se retiró el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejando drenar durante 15 minutos.

- Se colocó la sobrecarga en cada molde, luego se la llevó a la prensa hidráulica, se procedió al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min, se registró las lecturas de carga de cada muestra.



Imagen N° 13: Realización de compactación CBR

Fuente: Fuente propia

RESULTADOS

Luego de haber desarrollado los ensayos de laboratorio correspondientes (pH, de suelo natural, contenido de humedad, análisis granulométrico, Límites de Atterberg, proctor estándar y ensayo CBR), y considerando que se añadieron en porcentajes de 10% y 20% cloruro de sodio en diferentes muestras para el ensayo proctor estándar y CBR; se obtuvieron los siguientes resultados:

ANÁLISIS DE MUESTRA PATRÓN

TABLA N° 02: CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD NTP 339.127 (ASTM D-2216)	
MUESTRA : CALICATA UNCHUS		PROFUNDIDAD: 1.50 m	
Recipiente N°	12	22	
1. Peso recip + suelo húmedo	736.3	687.6	
2. Peso recip. + suelo seco	622.6	583.9	
3. Peso recip. (gr)	164.5	167.3	
4. Peso de agua	113.7	103.7	
5. Peso suelo seco	458.1	416.6	
6. Humedad (%)	24.82	24.89	
HUMEDAD PROMEDIO	24.86		

Encontramos que la muestra del suelo representativa extraída de la zona de estudio, presenta un contenido de humedad elevado con un 24.86%.

TABLA N°03: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Norma NTP 339.128 (ASTM D 422)		
MUESTRA : CALICATA UNCHUS		PROFUNDIDAD: 1.50 m		
PESO INICIAL		PESO RETENIDO (grs.)	% ACUMULADO	
MALLAS	DIAMETRO		RETENIDO	QUE PASA
3/4"	19.0000	-	-	100.0
1/2"	12.5000	252.60	0.52	99.48
3/8"	9.5000	372.20	0.77	98.71
1/4"	6.2500	1653.10	3.43	95.28
N°4	4.7500	2002.60	4.15	91.13
N°10	2.0000	670.60	1.39	89.74
N°16	1.2000	786.36	1.63	88.11
N°20	0.8450	762.24	1.58	86.53
N°30	0.5950	1143.36	2.37	84.16
N°40	0.4500	1206.08	2.50	81.66
N°50	0.3000	1538.95	3.19	78.47
N°60	0.2500	1051.70	2.18	76.29
N°100	0.1500	4867.72	10.09	66.20
N°200	0.0750	911.79	1.89	64.31
PASANTE MALLA N°200		30894.80	64.04	

Habiendo realizado el análisis granulométrico por tamizado, tanto del material fino (luego de lavar el material y haber eliminado material orgánico) y material grueso, obtuvimos resultados que nos muestra la Tabla N°03. Con la CURVA GRANULOMÉTRICA DE ARENA FINA (ver Anexo 3) y los resultados de laboratorio identificamos que se trata de un suelo arcillo limoso (ML según clasificación SUCS).

TABLA N° 04: LÍMITES DE ATTERBERG

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

 USP UNIVERSIDAD SAN PEDRO			ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG Norma NTP 339.129 (ASTM D 4318)				
			LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
RECIPIENTE N°			28	27	3	29	22
NÚMERO DE GOLPES			16	28	35	-	-
PESO DEL RECIPIENTE		(g)	27.14	26.70	26.85	26.73	26.82
PESO DEL RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO		(g)	52.45	54.37	54.19	30.84	30.52
PESO DEL RECIPIENTE + SUELO SECO		(g)	44.38	45.85	45.98	29.94	29.71
PESO DEL AGUA		(g)	8.07	8.52	8.21	0.90	0.81
PESO DEL SUELO SECO		(g)	17.24	19.15	19.13	3.21	2.89
CONTENIDO DE HUMEDAD		(%)	46.81	44.49	42.92	28.04	28.03

LÍMITE LÍQUIDO :	45%
LÍMITE PLÁSTICO :	28%
ÍNDICE PLÁSTICO :	17%

CLASIFICACIÓN SEGÚN SUCS:

SUELO ML

CLASIFICACIÓN SEGÚN AASHTO:

A – 7 – 6 (9)

TABLA N° 05: ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

 USP UNIVERSIDAD SAN PEDRO		ENSAYO DE PROCTOR STANDARD Norma: NTP 339.141 (ASTM D 1557)		
COMPACTACION				
Volumen del molde: 920 cm3	Peso del molde: 4192 gr			
Numero de ensayos	1	2	3	4
Peso suelo + Molde	5821.00	5970.00	6087.00	6070.00
Peso suelo humedo compactado	1629.00	1778.00	1895.00	1878.00
Peso volumetrico humedo (gr/cm3)	1.771	1.933	2.060	2.041
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente N°	37	6	50	45
Peso suelo humedo + tara	768.30	565.19	880.30	845.70
Peso suelo seco +tara	701.30	513.90	777.70	739.90
Peso de tara	169.10	164.10	168.80	172.60
Peso de agua	67.00	51.29	102.60	105.80
Peso de suelo seco	532.20	349.80	608.90	567.30
Contenido de agua (%)	12.59	14.66	16.85	18.65
Peso volumetrico seco (gr/cc)	1.573	1.685	1.763	1.720
DENSIDAD MAXIMA SECA: 1.764		HUMEDAD OPTIMA: 17		

Para poder encontrar la máxima densidad seca de la muestra se trabajó con diferentes contenidos de humedad, de tal manera encontrar la humedad óptima del suelo y así, poder realizar los ensayos de CBR y determinar la resistencia al corte del suelo.

Realizando los ensayos de proctor estándar con diferentes porcentajes de humedad, pudimos identificar la máxima densidad seca para determinado contenido de humedad (humedad óptima del suelo), representados en el gráfico N°03.

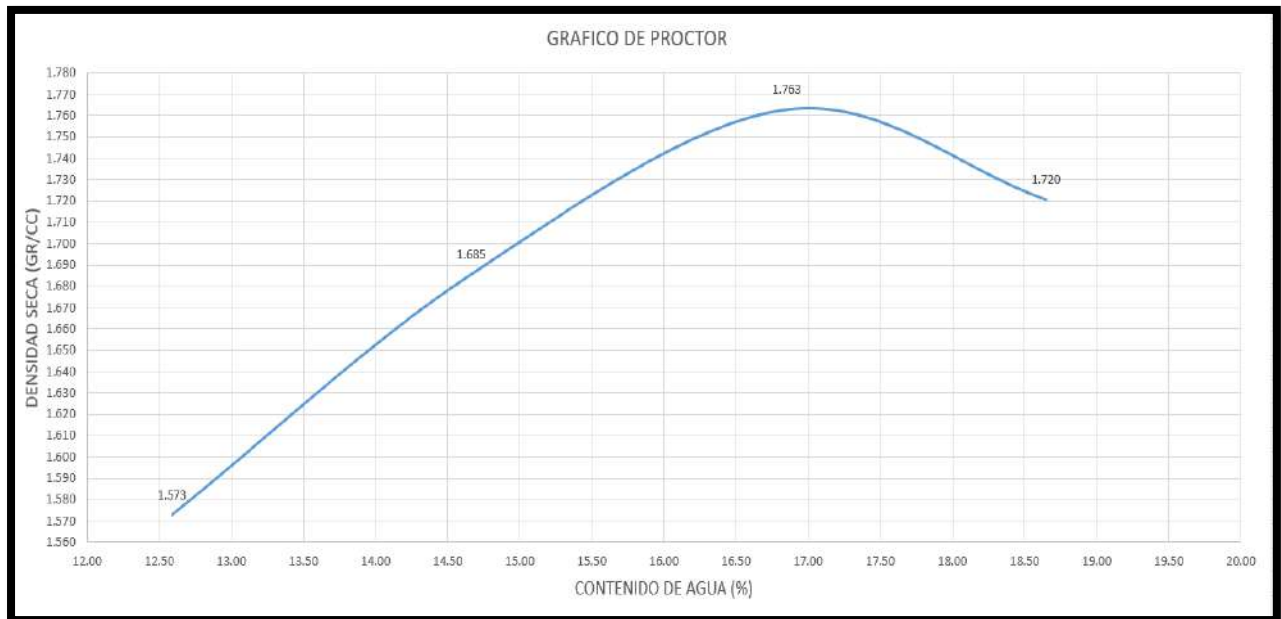


GRÁFICO N° 03: PROCTOR ESTÁNDAR
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 06: RAZÓN SOPORTE
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio) NTP 339.145 (ASTMD 1883)					
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
Golpes por capa	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (gr)	12254.00	12295.00	12087.00	12157.00	11875.00	12030.00
Peso molde (gr)	7975.00	7975.00	7975.00	7975.00	7981.00	7981.00
Peso del suelo húmedo (gr)	4279.00	4320.00	4112.00	4182.00	3894.00	4049.00
Volumen del molde (cc)	2037.00	2037.00	2015.00	2015.00	2041.00	2041.00
Densidad húmeda (gr/cc)	2.10	2.12	2.04	2.08	1.91	1.98
Tarro N°	2	36	10	30	37	22
Tarro + suelo húmedo (gr)	568.50	755.20	584.30	696.00	538.10	836.90
Tarro + suelo seco (gr)	504.80	647.20	516.60	594.90	480.90	704.20
Peso agua (gr)	63.70	108.00	67.70	101.10	57.20	132.70
Peso tarro (gr)	168.5	163.60	170.20	168.10	169.10	165.60
Peso suelo seco (gr)	336.30	483.60	346.40	426.80	311.80	538.60
Contenido de humedad %	18.94	22.33	19.54	23.69	18.35	24.64
Densidad seca (gr/cc)	1.77	1.73	1.71	1.68	1.61	1.59
DENSIDAD SECA (gr/cc)	1.77		1.71		1.61	
DATOS DE EXPANSIÓN	SUELO NO EXPANSIVO (No presenta hinchamiento después de cumplidos las 96 horas sumergidos en agua)					

Con el óptimo contenido de humedad obtenido del ensayo proctor estándar se procedió a realizar el ensayo CBR.

TABLA N° 07: ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN													
PENETRACION	CARGA STANDARD (Lb/plg2)	MOLDE 1 - 56 GOLPES				MOLDE 2 - 25 GOLPES				MOLDE 3 - 12 GOLPES			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		DIAL	LB	LB/PLG2	%	DIAL	LB	LB/PLG2	%	DIAL	LB	LB/PLG2	%
0.100	1000	17	198.30	66.10	6.61%	16	165.00	55.00	5.50%	15	125.00	41.67	4.17%
0.200	1500	29	299.00	99.67	6.64%	26	250.48	83.49	5.57%	24	210.00	70.00	4.67%
0.300	1900	37	360.00	120.00	6.32%	34	315.20	105.07	5.53%	31	280.05	93.35	4.91%
0.400	2300	45	440.00	146.67	6.38%	39	388.00	129.33	5.62%	36	347.62	115.87	5.04%
0.500	2600	50	520.00	173.33	6.67%	45	460.00	153.33	5.90%	41	396.19	132.06	5.08%

Durante la lectura del dial del ensayo de carga se obtuvieron los resultados para las penetraciones a 0.1" y 0.2".

A velocidad constante con el pison de la prensa hidráulica se leyó en el dial las penetraciones en pulgadas generadas por los esfuerzos. Esto se realizó para moldes con 56, 25 y 12 golpes de compactación.

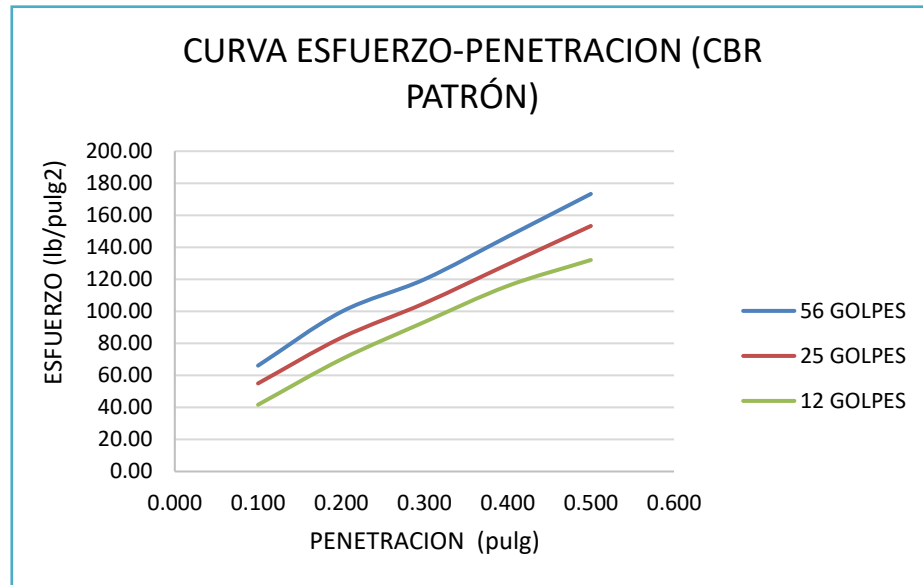


GRÁFICO N° 04: CURVA ESFUERZO – PENETRACIÓN

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El gráfico N°05, nos indica que la densidad seca es directamente proporcional al %CBR, cuanto mayor densidad seca presente, nuestra muestra tendrá mayor resistencia al corte.

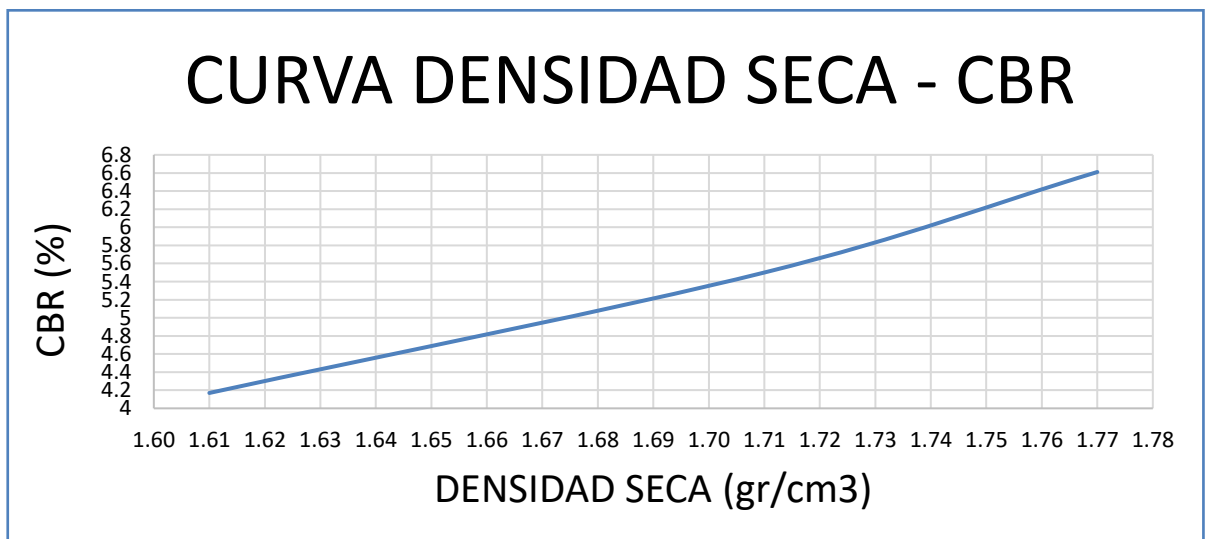


GRÁFICO N° 05: CURVA DENSIDAD SECA – CBR

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ANÁLISIS DE MUESTRA PATRÓN + ADICIÓN 10% DE NaCl

TABLA N°08: ENSAYO PROCTOR ESTANDAR + 10% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

 USP UNIVERSIDAD SAN PEDRO		ENSAYO DE PROCTOR STANDARD Norma: NTP 339.141 (ASTM D 1557)		
COMPACTACION				
Volumen del molde: 920 cm3	Peso del molde: 4192 gr			
Numero de ensayos	1	2	3	4
Peso suelo + Molde	5919.00	6052.00	6095.00	6075.00
Peso suelo humedo compactado	1727.00	1860.00	1903.00	1883.00
Peso volumetrico humedo (gr/cm3)	1.877	2.022	2.068	2.047
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente N°	20	34	30	36
Peso suelo humedo + tara	807.30	805.10	836.60	874.50
Peso suelo seco +tara	736.50	725.10	743.70	765.50
Peso de tara	165.50	161.70	168.10	163.60
Peso de agua	70.80	80.00	92.90	109.00
Peso de suelo seco	571.00	563.40	575.60	601.90
Contenido de agua (%)	12.40	14.20	16.14	18.11
Peso volumetrico seco (gr/cc)	1.670	1.770	1.781	1.733
DENSIDAD MAXIMA SECA: 1.786		HUMEDAD OPTIMA: 15.5		

Para poder encontrar la máxima densidad seca de la muestra adicionada con cloruro de sodio al 10%, se trabajó con diferentes contenidos de humedad, de tal manera encontrar la humedad óptima del suelo y así, poder realizar los ensayos de CBR y determinar la resistencia al corte del suelo.

Realizando los ensayos de proctor estándar, para nuestra muestra de suelo con adición de cloruro de sodio al 10%, con diferentes porcentajes de humedad, pudimos identificar la máxima densidad seca para determinado contenido de humedad (humedad óptima del suelo), representados en el gráfico N°06.

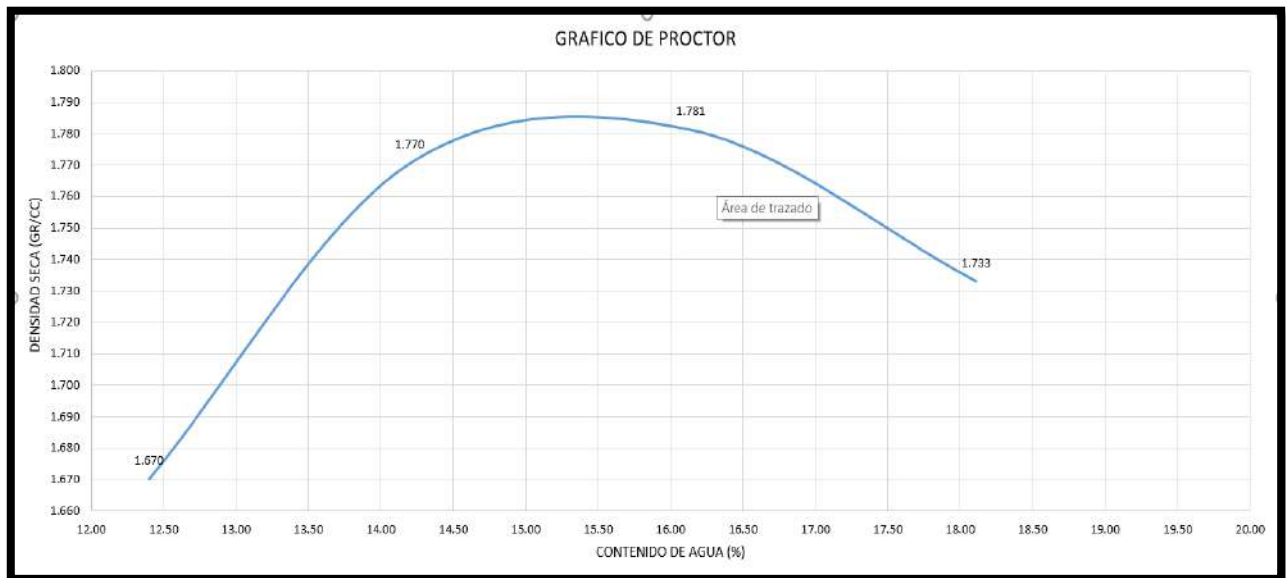


GRÁFICO N°06: CURVA PROCTOR ESTÁNDAR + 10% NaCl
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N°09: RAZÓN SOPORTE + 10% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

 USP UNIVERSIDAD SAN PEDRO		Ensayo de CBR (California Bearing Ratio) NTP 339.145 (ASTMD 1883)				
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
Golpes por capa	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (gr)	12254.00	12295.00	12087.00	12157.00	11875.00	12030.00
Peso molde (gr)	7975.00	7975.00	7975.00	7975.00	7981.00	7981.00
Peso del suelo húmedo (gr)	4279.00	4320.00	4112.00	4182.00	3894.00	4049.00
Volumen del molde (cc)	2037.00	2037.00	2015.00	2015.00	2041.00	2041.00
Densidad húmeda (gr/cc)	2.10	2.12	2.04	2.08	1.91	1.98
Tarro N°	2	36	10	30	37	22
Tarro + suelo húmedo (gr)	568.50	755.20	584.30	696.00	538.10	836.90
Tarro + suelo seco (gr)	514.80	657.20	526.60	604.90	490.00	714.20
Peso agua (gr)	53.70	98.00	57.70	91.10	48.10	122.70
Peso tarro (gr)	168.5	163.60	170.20	168.10	169.10	165.60
Peso suelo seco (gr)	346.30	493.60	356.40	436.80	320.90	548.60
Contenido de humedad %	15.51	19.85	16.19	20.86	14.99	22.37
Densidad seca (gr/cc)	1.82	1.77	1.76	1.72	1.66	1.62
DENSIDAD SECA (gr/cc)	1.82		1.76		1.66	
DATOS DE EXPANSIÓN	SUELO NO EXPANSIVO (No presenta hinchamiento después de cumplidos las 96 horas sumergidos en agua)					

Con el óptimo contenido de humedad obtenido del ensayo proctor estándar se procedió a realizar el ensayo CBR para la muestra con adición de cloruro de sodio al 10%.

TABLA N°10: ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN + 10% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN													
PENETRACION	CARGA STANDARD (Lb/plg2)	MOLDE 1 - 56 GOLPES				MOLDE 2 - 25 GOLPES				MOLDE 3 - 12 GOLPES			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		DIAL	LB	LB/PLG2	%	DIAL	LB	LB/PLG2	%	DIAL	LB	LB/PLG2	%
0.100	1000	27	270.50	90.17	9.02%	25	220.52	73.51	7.35%	17	173.81	57.94	5.79%
0.200	1500	43	415.24	138.41	9.23%	42	341.20	113.73	7.58%	27	270.25	90.08	6.01%
0.300	1900	55	531.43	177.14	9.32%	51	451.81	150.60	7.93%	35	338.10	112.70	5.93%
0.400	2300	64	620.00	206.67	8.99%	59	550.48	183.49	7.98%	44	420.00	140.00	6.09%
0.500	2600	72	700.00	233.33	8.97%	68	600.23	200.08	7.70%	51	481.81	160.60	6.18%

Durante la lectura del dial del ensayo de carga se obtuvieron los resultados para las penetraciones a 0.1” y 0.2” de nuestra muestra de suelo con adición de cloruro de sodio al 10%.

A velocidad constante con el pison de la prensa hidráulica se leyó en el dial las penetraciones en pulgadas generadas por los esfuerzos. Esto se realizó para moldes con 56, 25 y 12 golpes de compactación y adición de cloruro de sodio al 10%.

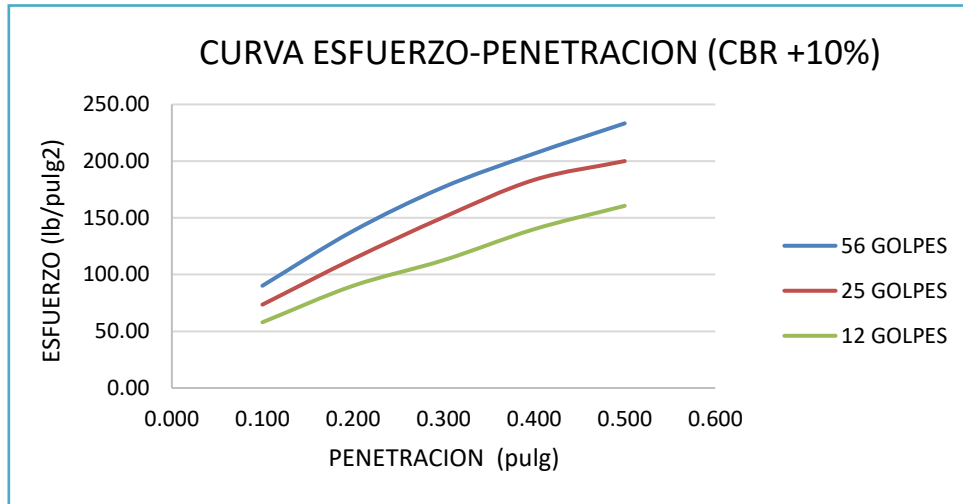


GRÁFICO N° 07: CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN + 10% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El gráfico N°08, nos indica que la densidad seca es directamente proporcional al %CBR, cuanto mayor densidad seca presente nuestra muestra, mayor resistencia al corte tendrá nuestro suelo con adición de cloruro de sodio al 10%.

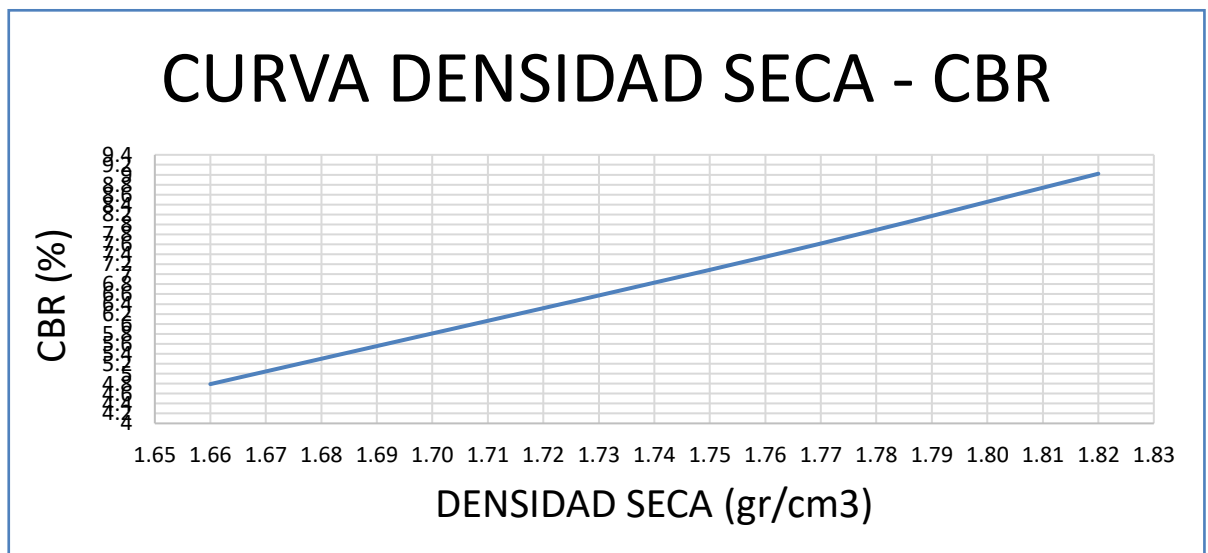


GRÁFICO N° 08: CURVA DENSIDAD SECA - CBR + 10% NaCl AL 95%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ANÁLISIS DE MUESTRA PATRÓN + ADICIÓN 20% DE NaCl

TABLA N° 11: ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR + 20% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**ENSAYO DE PROCTOR
STANDARD Norma: NTP
339.141 (ASTM D 1557)**

COMPACTACIÓN				
Volumen del molde: 920 cm ³	Peso del molde: 4192 gr			
Numero de ensayos	1	2	3	4
Peso suelo + Molde	5869.20	6004.00	6105.00	6084.00
Peso suelo húmedo compactado	1677.20	1812.00	1913.00	1892.00
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.823	1.970	2.079	2.057
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente N°	12	47	44	15
Peso suelo húmedo + tara	681.80	687.20	690.40	754.00
Peso suelo seco +tara	625.00	622.20	619.50	663.70
Peso de tara	167.80	168.20	169.70	164.40
Peso de agua	56.80	65.00	70.90	90.30
Peso de suelo seco	457.20	454.00	449.80	499.30
Contenido de agua (%)	12.42	14.32	15.76	18.09
Peso volumétrico seco (gr/cc)	1.622	1.723	1.796	1.742
DENSIDAD MÁXIMA SECA: 1.81		HUMEDAD OPTIMA: 16.5		

Para poder encontrar la máxima densidad seca de la muestra adicionada con cloruro de sodio al 20%, se trabajó con diferentes contenidos de humedad, de tal manera encontrar la humedad óptima del suelo y así, poder realizar los ensayos de CBR y determinar la resistencia al corte del suelo.

Realizando los ensayos de proctor estándar, para nuestra muestra de suelo con adición de cloruro de sodio al 20%, con diferentes porcentajes de humedad, pudimos identificar la máxima densidad seca para determinado contenido de humedad (humedad óptima del suelo), representados en el gráfico N°09.

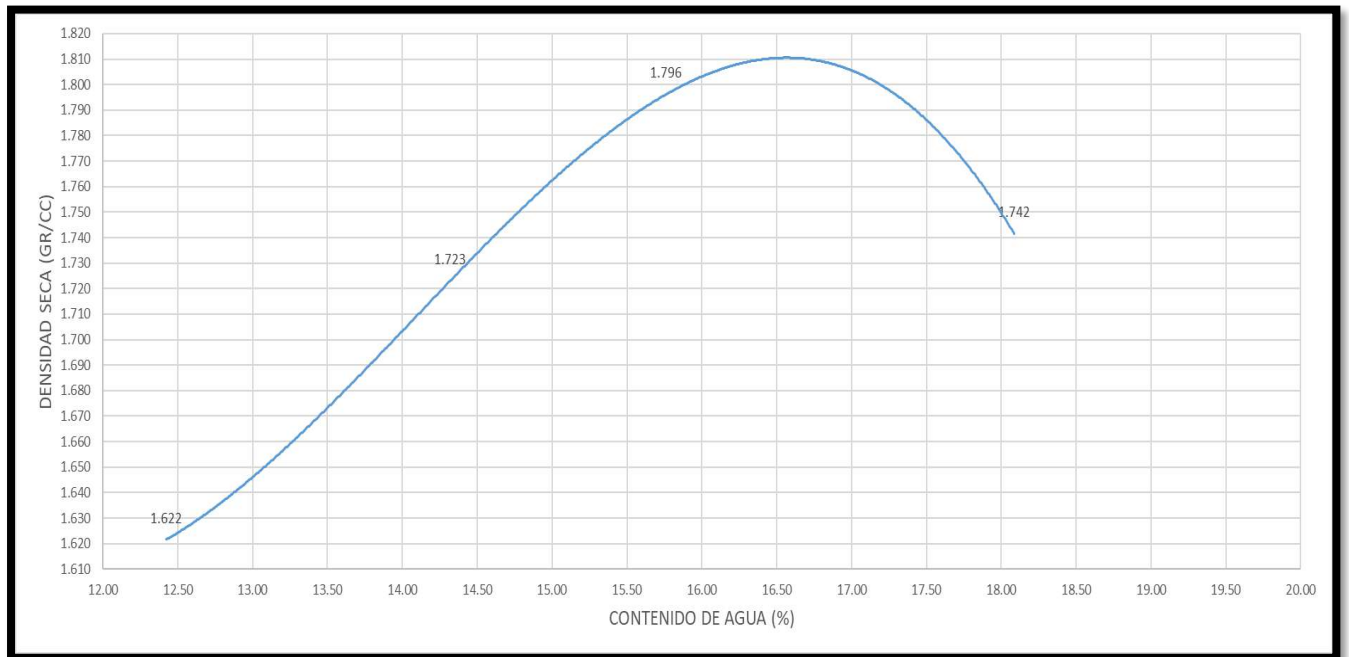


GRÁFICO N°09: CURVA PROCTOR ESTÁNDAR + 20% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 12: RAZÓN SOPORTE + 20% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		Ensayo de CBR (California Bearing Ratio) NTP 339.145 (ASTMD 1883)				
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
Golpes por capa	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (gr)	12249.00	12290.00	12083.00	12152.00	11870.00	12025.00
Peso molde (gr)	7975.00	7975.00	7975.00	7975.00	7981.00	7981.00
Peso del suelo húmedo (gr)	4274.00	4315.00	4108.00	4177.00	3889.00	4044.00
Volumen del molde (cc)	2037.00	2037.00	2015.00	2015.00	2041.00	2041.00
Densidad húmeda (gr/cc)	2.10	2.12	2.04	2.07	1.91	1.98
Tarro N°	3	28	18	22	14	25
Tarro + suelo húmedo (gr)	550.40	725.50	585.20	695.10	534.10	826.90
Tarro + suelo seco (gr)	504.80	647.20	530.20	610.00	490.00	710.50
Peso agua (gr)	45.60	78.30	55.00	85.10	44.10	116.40
Peso tarro (gr)	168.5	163.60	170.20	168.10	169.10	165.60
Peso suelo seco (gr)	336.30	483.60	360.00	441.90	320.90	544.90
Contenido de humedad %	13.56	16.19	15.28	19.26	13.74	21.36
Densidad seca (gr/cc)	1.85	1.82	1.77	1.74	1.68	1.63
DENSIDAD SECA (gr/cc)	1.85		1.77		1.68	
DATOS DE EXPANSIÓN	SUELO NO EXPANSIVO (No presenta hinchamiento después de cumplidos las 96 horas sumergidos en agua)					

Con el óptimo contenido de humedad obtenido del ensayo proctor estándar se procedió a realizar el ensayo CBR para la muestra con adición de cloruro de sodio al 20%.

TABLA N° 13: ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN + 20% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN													
PENETRACION	CARGA STANDARD (Lb/plg2)	MOLDE 1 - 56 GOLPES				MOLDE 2 - 25 GOLPES				MOLDE 3 - 12 GOLPES			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		DIAL	LB	LB/PLG2	%	DIAL	LB	LB/PLG2	%	DIAL	LB	LB/PLG2	%
0.100	1000	25	240.95	80.32	8.03%	19	162.50	54.17	5.42%	12	115.00	38.33	3.83%
0.200	1500	41	390.19	130.06	8.67%	32	285.20	95.07	6.34%	19	182.86	60.95	4.06%
0.300	1900	50	480.00	160.00	8.42%	37	375.00	125.00	6.58%	25	260.00	86.67	4.56%
0.400	2300	56	550.10	183.37	7.97%	45	430.20	143.40	6.23%	31	299.05	99.68	4.33%
0.500	2600	68	660.00	220.00	8.46%	52	502.86	167.62	6.45%	35	338.10	112.70	4.33%

Durante la lectura del dial del ensayo de carga se obtuvieron los resultados para las penetraciones a 0.1" y 0.2" de la muestra del suelo con adición de cloruro de sodio al 20%.

A velocidad constante con el pison de la prensa hidráulica se leyó en el dial las penetraciones en pulgadas generadas por los esfuerzos. Esto se realizó para moldes con 56, 25 y 12 golpes de compactación y adición de cloruro de sodio al 20%.

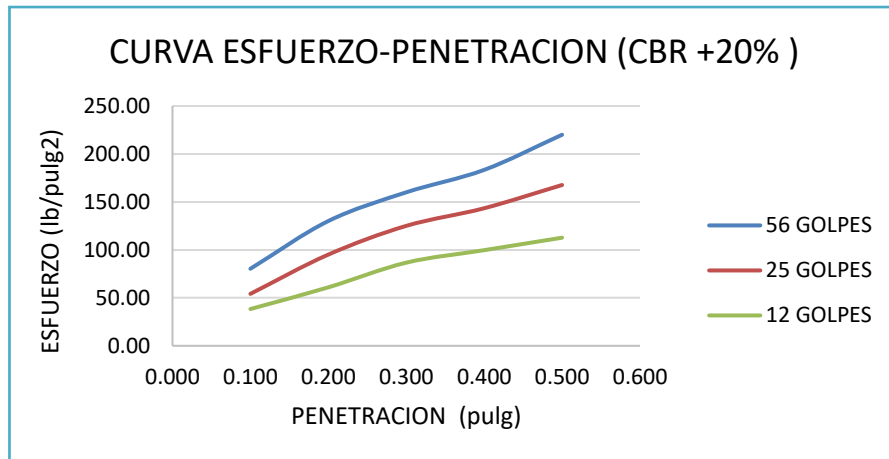


GRÁFICO N° 10: CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN + 20% NaCl

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El gráfico N°11, nos indica que la densidad seca es directamente proporcional al %CBR, cuanto mayor densidad seca presente nuestra muestra, mayor resistencia al corte nuestro suelo con adición de cloruro de sodio al 10% tendrá.

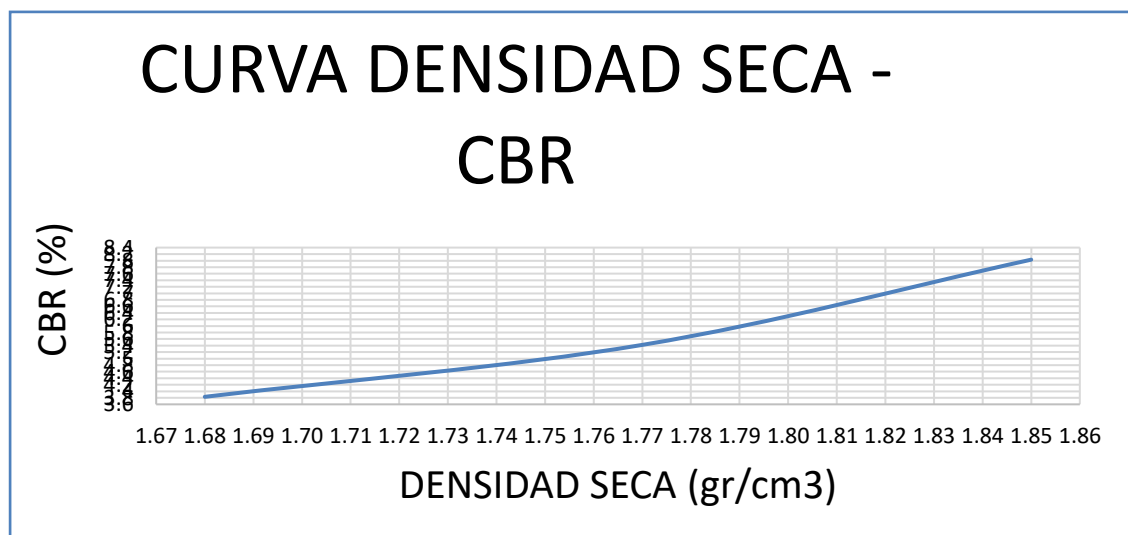


GRÁFICO N° 11: CURVA DENSIDAD SECA - CBR + 20% NaCl AL 95%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 14: ANÁLISIS DEL PH DE LA MUESTRA PATRÓN Y LAS MUESTRAS
CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO AL 10% Y 20%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

 USP UNIVERSIDAD SAN PEDRO	DETERMINACIÓN DE pH CON POTENCIÓMETRO DE UN SUELO NATURAL Y MUESTRAS CON ADICIÓN DE CLORURO DE SOIO		
MUESTRA PATRÓN = 10 gr.	ADICION DE CLORURO DE SODIO	RECIPIENTE N° 01 (pH)	RECIPIENTE N° 02 (pH)
MUESTRA PATRÓN	0%	8.22	8.30
MUESTRA ALTERADA 1	10%	7.49	7.63
MUESTRA ALTERADA 2	20%	7.26	7.21

Podemos apreciar que la alcalinidad del suelo disminuye cuando se adiciona progresivamente cloruro de sodio. Se tiene como promedios de pH 8.26, 7.56 y 7.24, para la muestra patrón y las muestras con cloruro de sodio al 10% y 20%, respectivamente.

VALIDEZ ESTADÍSTICA

TABLA N°15: Resistencia al corte del suelo de la carretera Unchus – Huaraz con adición de sal según número de golpes de compactación

Golpes	Resistencia al corte con un porcentaje de sal		
	0% sal	10% sal	20% sal
12	4,67	6,01	4,06
25	5,57	7,58	6,34
56	6,64	9,23	8,67

Fuente: Resultados de laboratorio de mecánica de suelos de la USP

En la tabla ... se puede apreciar que a mayor cantidad de golpes la resistencia al corte es mayor.

Después de verificar el cumplimiento de normalidad con la prueba Shapiro Wil ($p > 0.05$ para todos los casos) y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene ($F = 0.590$, $p = 0.584$ y $p > 0.05$), se calcula la prueba ANOVA.

TABLA N°16: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias al corte en las muestras.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Adición de sal	6,016	2	3,008	6,894	0,050
Golpes	16,012	2	8,006	18,348	0,010
Error	1,745	4	0,436		
Total	23.773	8			

Fuente: Resultados de laboratorio de mecánica de suelos de la USP

En la tabla N°16, se puede visualizar que para la adición de un porcentaje de sal en el suelo de la carretera Unchus – Huaraz el $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.05$, $p \leq 0.05$) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula (H_0 : resistencias al corte iguales). Por lo que podemos concluir que con nivel de 5% de significancia las resistencias al corte logradas en las muestras de suelo, con adición de un porcentaje de sal en 0%, 10% y 20%, son diferentes. Es decir, existe una diferencia significativa entre las resistencias al corte de las muestras de suelo.

También se tienen que para el número de golpes $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.010$, $p < 0.05$) entonces podemos decir que las resistencias al corte de las muestras de suelo de la carretera de Unchus – Huaraz, son diferentes a consecuencia de la cantidad de golpes.

Tabla N°17: Cálculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencias al corte es diferente.

Adición de sal	Subconjunto para alfa = 0,05	
	1	2
0%	5,6267	
20%	6,3567	6,3567
10%		7,6067

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales

10%	7.6067 a
20%	6.3567a
0 %	5.6267..... b

En la tabla N°17, después de realizar la prueba de Duncan podemos apreciar que la mayor resistencia al corte se registra en las muestras de suelo con 10% y 20% de adición de sal y ambos son significativamente iguales, la menor resistencia al corte se registra cuando no se adiciona ningún porcentaje de sal (patrón).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

1. PROCTOR ESTÁNDAR

Este resultado nos muestra que las partículas del suelo (arcillo limoso mecánicamente inestable) se vuelven más cohesivos (suelos utilizables) mientras se va adicionando progresivamente cloruro de sodio, debido al intercambio iónico entre los minerales del suelo y el sodio, produciéndose una acción cementante. En el gráfico N°12 observamos que la densidad seca del suelo, va aumentando su valor mientras se fue agregando cloruro de sodio al 10% y 20%.

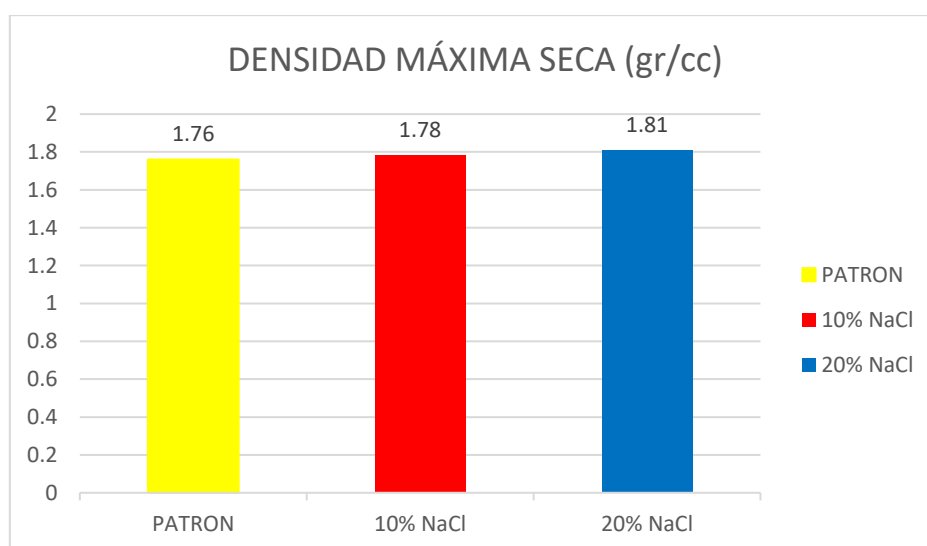


GRÁFICO N°12: Comparación densidad máxima seca del suelo con dosificación de NaCl

FUENTE: Elaboración propia

De las barras mostradas en el gráfico N°13, el contenido de humedad para el suelo con adición de cloruro de sodio al 20% es mayor que el suelo con adición al 10%, lo que supone un incremento de contenido de humedad a mayor contenido de NaCl y, por lo tanto, mayor saturación del suelo, que convertiría a nuestra muestra en un suelo inestable. Analizando los resultados de laboratorio, el contenido de humedad para la muestra del suelo con adición de cloruro de sodio al 10% es más óptimo que la muestra del suelo con adición del 20%, para lograr la máxima densidad seca (mayor compactación).

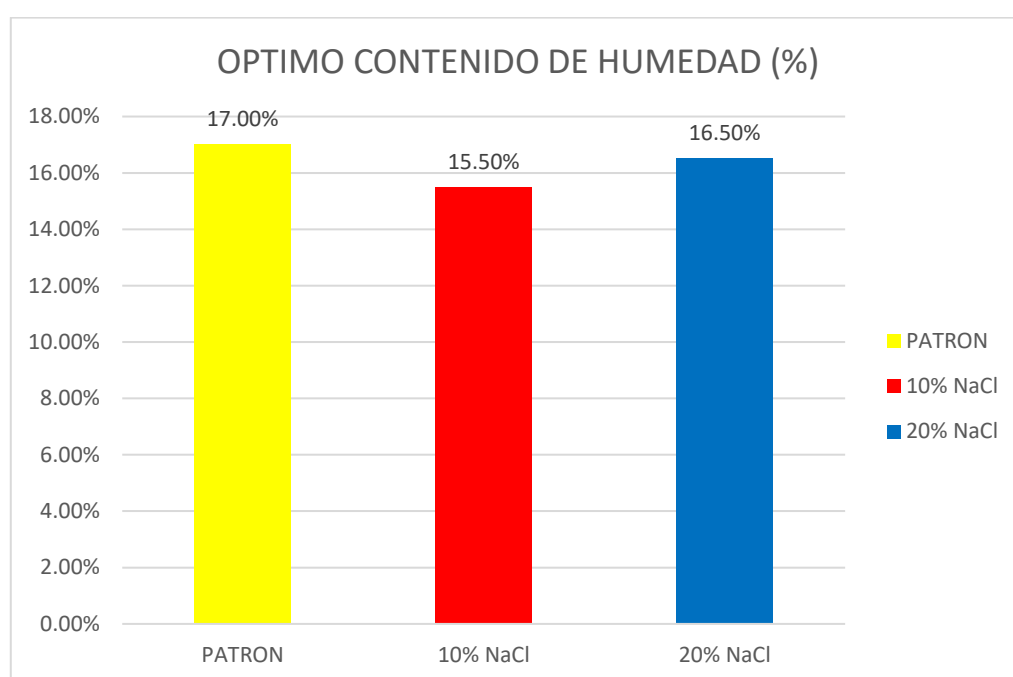


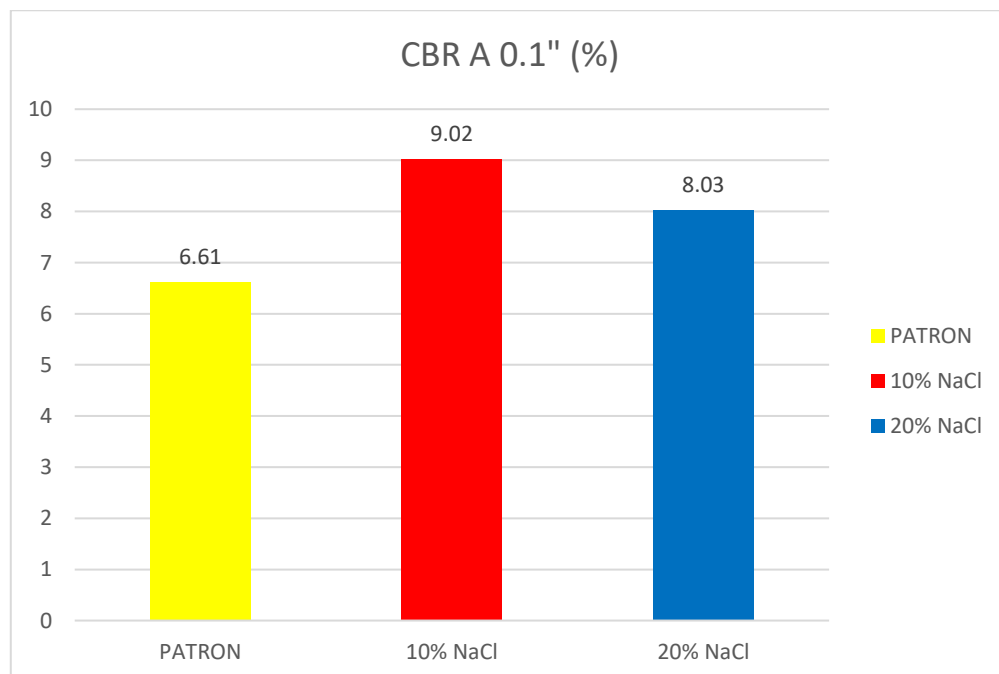
GRÁFICO N°13: Comparación óptimo contenido de humedad del suelo con dosificación de NaCl

FUENTE: Elaboración propia

2. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

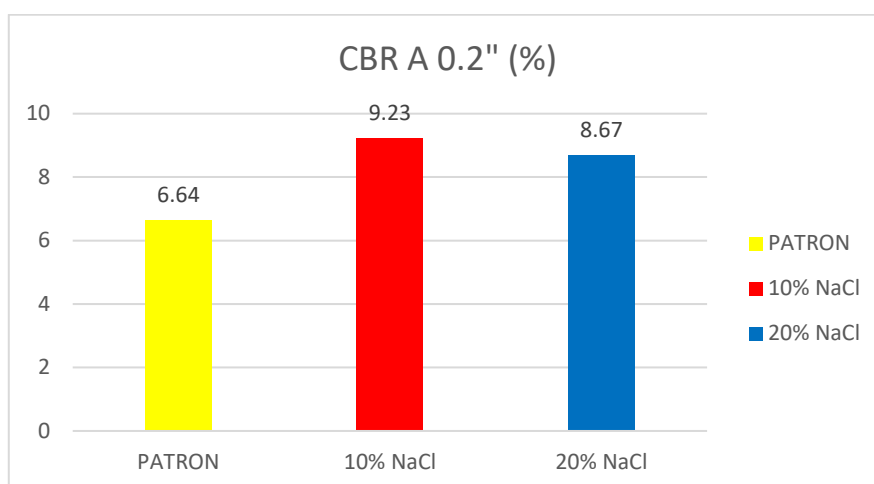
El valor del CBR para la muestra del suelo con adición de cloruro al 20% decrece respecto al suelo con adición de cloruro de sodio al 10%, y esto es porque el contenido de humedad es mayor, además de la pérdida lenta de humedad por la mayor adición de NaCl (propiedad higroscópica del suelo, marco teórico, pág. 18), por lo que finalmente la resistencia al corte disminuye.

Para la penetración de 0.1", el %CBR de la muestra patrón aumentó de 6.61 a 9.02, con la adición de cloruro de sodio al 10%, lo que significa una mejora en sus propiedades físicas y mecánicas (suelo estabilizado). Del mismo modo para la penetración de 0.2", con la ayuda de la prensa hidráulica, la muestra patrón aumento el %CBR de 6.64 a 9.23, con la adición de cloruro de sodio al 10%.



GRÁFICA N°14: Comparación CBR al 0.1" del suelo con dosificación de NaCl

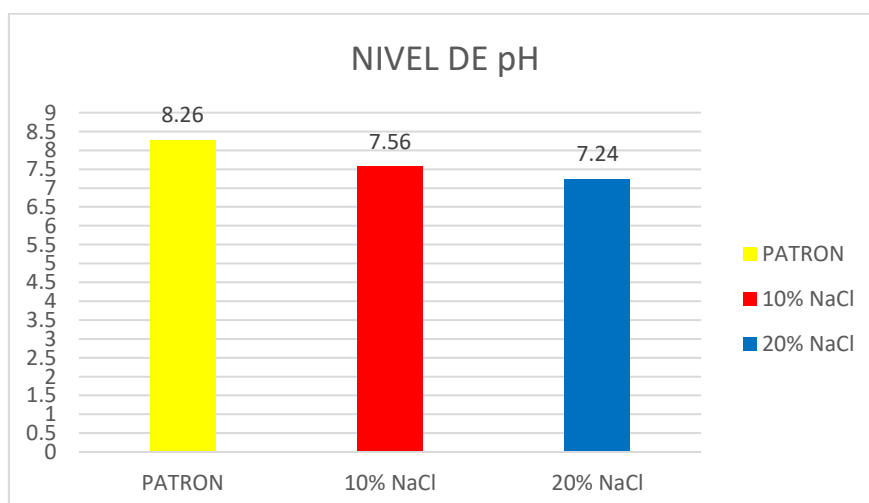
FUENTE: Elaboración propia



GRÁFICA N°15: Comparación CBR al 0.2" del suelo con dosificación de NaCl

FUENTE: Elaboración propia

Analizando las barras del gráfico N°16, observamos que disminuye la alcalinidad del suelo mientras se adiciona progresivamente cloruro de sodio en 10% y 20", lo que significa que el suelo gana peso volumétrico (mayor densidad seca) y además aumenta la capacidad de filtración, por lo que no existiría saturación en el suelo. Debido a que nuestro suelo arcillo limoso tiene $\text{pH} > 7$ (alcalino, suelo pobre), es recomendable usar cloruro de sodio para su estabilización.



GRÁFICA N°16: Comparación pH del suelo con dosificación de NaCl

FUENTE: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La hipótesis planteada fue comprobada puesto que la adición de cloruro de sodio en los porcentajes del 10% y 20%, aumentan el valor del CBR patrón hasta en un 36.46% y 21.48% respectivamente.
2. La influencia del cloruro de sodio en nuestro tipo de suelo (limo arcilloso con baja plasticidad), en los porcentajes de adición del 10% y 20% es evidentemente favorable y recomendable para estabilizar las propiedades mecánicas de suelos con bajo valor de CBR.
3. Dado que el cloruro de sodio (comúnmente conocida como sal de mesa), es un producto fácil de adquirir y de bajo costo, puede considerarse un aditivo potencial para suelos que se necesiten estabilizar.
4. Los parámetros de compactación (ensayo de proctor estándar) del suelo calculados en laboratorio fueron: densidad seca y óptimo contenido de humedad, valores que fueron necesarios para determinar la correcta energía de compactación, valores que también variaron de acuerdo a las adiciones de cloruro de sodio en 10% y 20%.
5. El tipo de suelo estudiado, mejorado y evaluado es “NO EXPANSIVO” por lo que es un índice de correcta estabilización y mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas.
6. El pH del suelo se vuelve cada vez más alcalino en cada adición de cloruro de sodio por lo que la contracción cohesiva del suelo es un indicador de estabilización.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir una línea de investigación, evaluando el comportamiento de suelos arcillosos adicionando cloruro de sodio en porcentajes mayores a 20%.
2. Evaluar el comportamiento del cloruro de sodio en diferentes tipos de suelos.
3. Realizar ensayos CBR para suelos utilizados en bases y sub bases.
4. Realizar los ensayos de compactación de manera correcta tal como se sugiere en el manual de laboratorio de suelos del MTC.
5. Investigar el comportamiento en el ensayo triaxial de muestras con adición de cloruro de sodio para establecer el ángulo de fricción interna y la cohesión producida por el cloruro de sodio con la muestra del tipo de suelo en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NTP 339.127 (1999) - Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
2. NTP 339.128 (1999) - Método de ensayo para el análisis granulométrico.
3. NTP 339.129 (1999) - Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.
4. NTP 339.131 (1999) - Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de sólidos de un suelo.
5. NTP 339.134 (1999) - Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).
6. NTP 339.141 (1999) - Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada.
7. NTP 339.145 (1999) - Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
8. MTC. (2004). Estabilización química de suelos - Caracterización del estabilizado y y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado. Perú : Ministerio de Transporte y Comunicaciones .
9. Pérez , A. (2002). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en vías terrestres. México: Instituto Mexicano de transporte.
10. Roldán de Paz , J. (2010). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para bases y sub bases. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

ANEXOS

ANEXO 1:

Cronograma

ACTIVIDADES	SEMANAS - 4 MESES															
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Elaboración y aprobación del proyecto																
Aplicación del instrumento de recolección de la información																
Procesamiento y Análisis																
Procesamiento de los datos																
Revisión General de los Resultados																
Análisis e interpretación																
Discusión de los resultados																
Elaboración del Informe Final																
Presentación y sustentación del informe final																

ANEXO 2:

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE: Adición de Cloruro de Sodio

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR
Adición de Cloruro de Sodio	El cloruro de sodio (NaCl) es un elemento que ayuda a aumentar el tiempo en el cual los suelos pierden humedad. Por ser higroscópico absorbe la humedad del ambiente y crea una capa blanquecina en la parte superior que funciona como una barrera para evitar que la humedad contenida se evapore rápidamente. Al agregar cloruro de sodio al suelo, se incrementa la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima, se obtienen resultados favorables para los porcentajes de CBR.	10% y 20%

VARIABLE DEPENDIENTE: Comportamiento de la subrasante

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR
Comportamiento de la subrasante	Para nuestro proyecto, definimos el comportamiento de la subrasante al análisis en la medición de resistencias al esfuerzo cortante para poder evaluar la calidad del terreno, de tal manera determinar si es un suelo a estabilizar según parámetros y normativas en el diseño de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.	% (porcentaje)

ANEXO 3:

ENSAYOS DE LABORATORIO

- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA
- LÍMITES DE ATTERBERG
- ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA MUESTRA PATRÓN
- ENSAYO CBR PARA MUESTRA PATRÓN
- ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO AL 10%
- ENSAYO DE CBR CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO AL 10%
- ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO AL 10%
- ENSAYO DE CBR CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO AL 10%



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422, MTC E 204)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

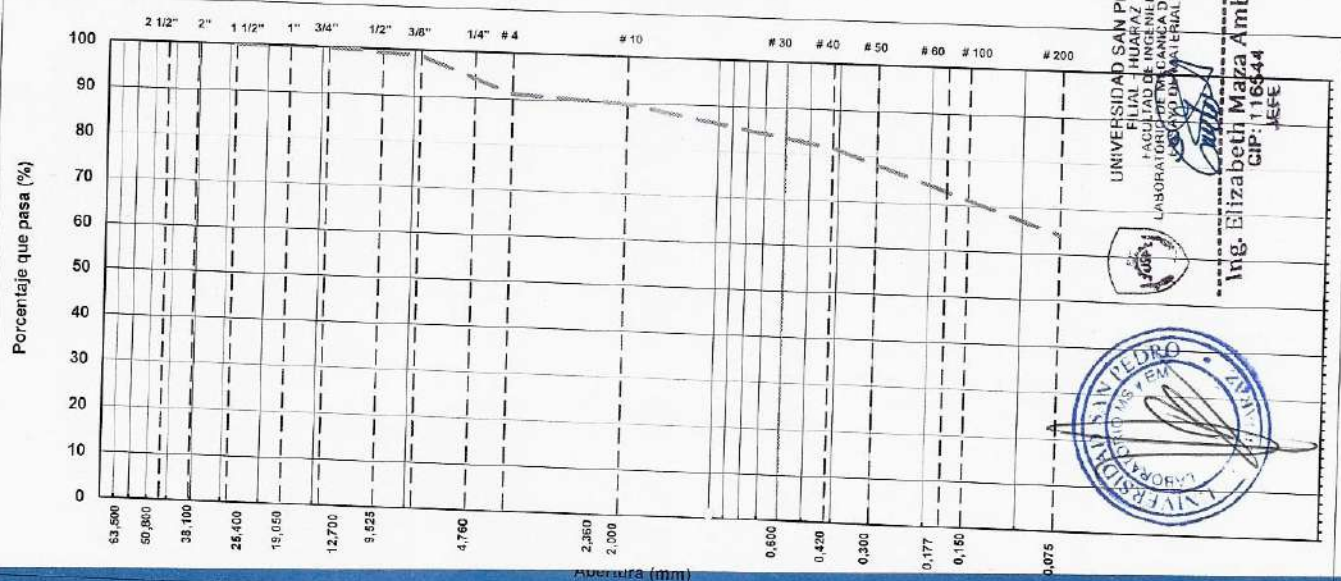
TESIS : "Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"
SOLICITA : Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior
ELEMENTO : Suelos
CANTERA :
PROG (KM.) :
HECHO POR : LAB. USP
ING. RESP. : E.M.A
FECHA : 25-abr-19

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 1,0
MUESTRA : 1
TAMAÑO MAXIMO : 3/4"
PESO INICIAL : 48.114,1 g
KM. :
FRACCION LAVADA SECA : 43.833,6
PROFUND. : 1,5 ml

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE % QUE PASA	ESPECIFICACIONES HUSO B	FORMULA DE TRABAJO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3 1/2"	80,89							
3"	76,200							
2 1/2"	63,500	0,0	0,0	0,0	100,0			%Peso Piedra: 8,9%
2"	50,800	0,0	0,0	0,0	100,0			% Peso arena: 91,1%
1 1/2"	38,100	0,0	0,0	0,0	100,0			Limite Liquido (LL): 45,01
1"	25,400	0,0	0,0	0,0	100,0			Limite Plástico (LP): 28,03
3/4"	19,050	0,0	0,0	0,0	100,0			Indice Plástico (IP): 16,98
1/2"	12,700	252,6	0,5	0,5	99,5			Clasificación(SUCS): ML
3/8"	9,525	372,2	0,8	1,3	98,7			Clasific.(AASHTO): A-7-6 (9)
1/4"	6,325	1653,1	3,4	4,7	95,3			% Humedad: 24,87%
# 4	4,760	2002,6	4,2	8,9	91,1			
# 10	2,000	670,6	1,4	10,3	89,7			
# 16	1,190	786,4	1,6	11,9	88,1			
# 20	0,840	762,2	1,6	13,5	86,5			
# 30	0,600	1143,4	2,4	15,9	84,1			
# 40	0,420	1206,1	2,5	18,4	81,6			
# 50	0,300	1539,0	3,2	21,6	78,4			
# 60	0,177	1051,7	2,2	23,8	76,2			
# 100	0,150	4887,7	10,1	33,9	66,1			
# 200	0,075	911,8	1,9	35,8	64,2			
< N° 200	FONDO	30.894,8	64,2	100				
FRACCIÓN		43.833,6						
TOTAL		48.114,1						

CURVA GRANULOMETRICA



RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320
CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810
NUEVO CHIMBOTE: Av. Pacifico y Anchoyeta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826
OFICINA DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40
(NORMA AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

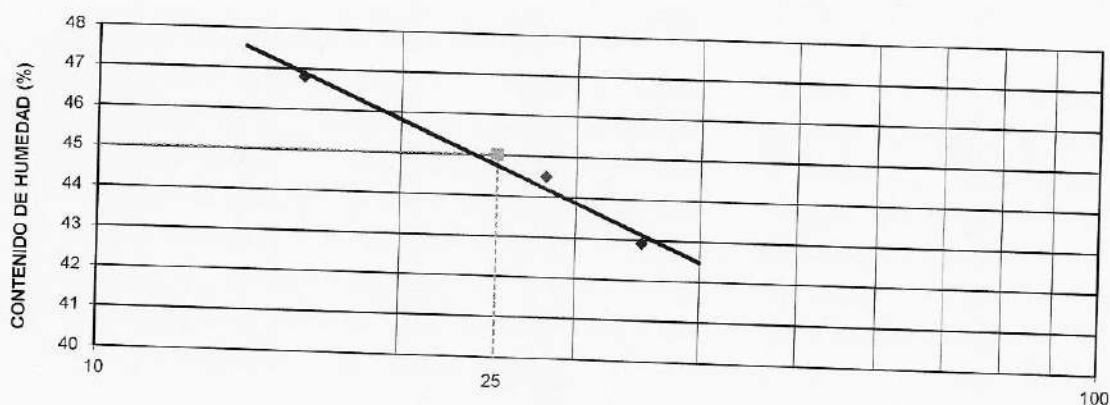
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TESIS:	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"
SOLICITA:	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior
DISTRITO:	HUARAZ
PROVINCIA:	HUARAZ
HECHO	USP
FECHA	25/04/2019
FORMATO	-

DATOS DE LA MUESTRA		
CALICATA	: N° 01	SUELOS
MUESTRA	: N° 01	SUELOS
PROF. (m)	: 1,50	

LIMITE LIQUIDO				
N° TARRO		28	27	3
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		52,45	54,37	54,19
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		44,38	45,85	45,98
PESO DE AGUA (g)		8,07	8,52	8,21
PESO DEL TARRO (g)		27,14	26,70	26,85
PESO DEL SUELO SECO (g)		17,24	19,15	19,13
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		46,81	44,49	42,92
NUMERO DE GOLPES		16	28	35

LIMITE PLASTICO				
N° TARRO		29	22	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		30,84	30,52	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		29,94	29,71	
PESO DE AGUA (g)		0,90	0,81	
PESO DEL TARRO (g)		26,73	26,82	
PESO DEL SUELO SECO (g)		3,21	2,89	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		28,04	28,03	

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	45,01
LIMITE PLASTICO	28,03
INDICE DE PLASTICIDAD	16,98

NUMERO DE GOLPES



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYOS DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE PROCTOR STANDARD

(AASHTO - T-180, ASTM D1557, MTC E115)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : "Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"

SOLICITA : Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior

MATERIAL : suelos

HECHO POR : Lab. U.S.P

ING. RESP. : E.M.A

FECHA : 25-abr-19

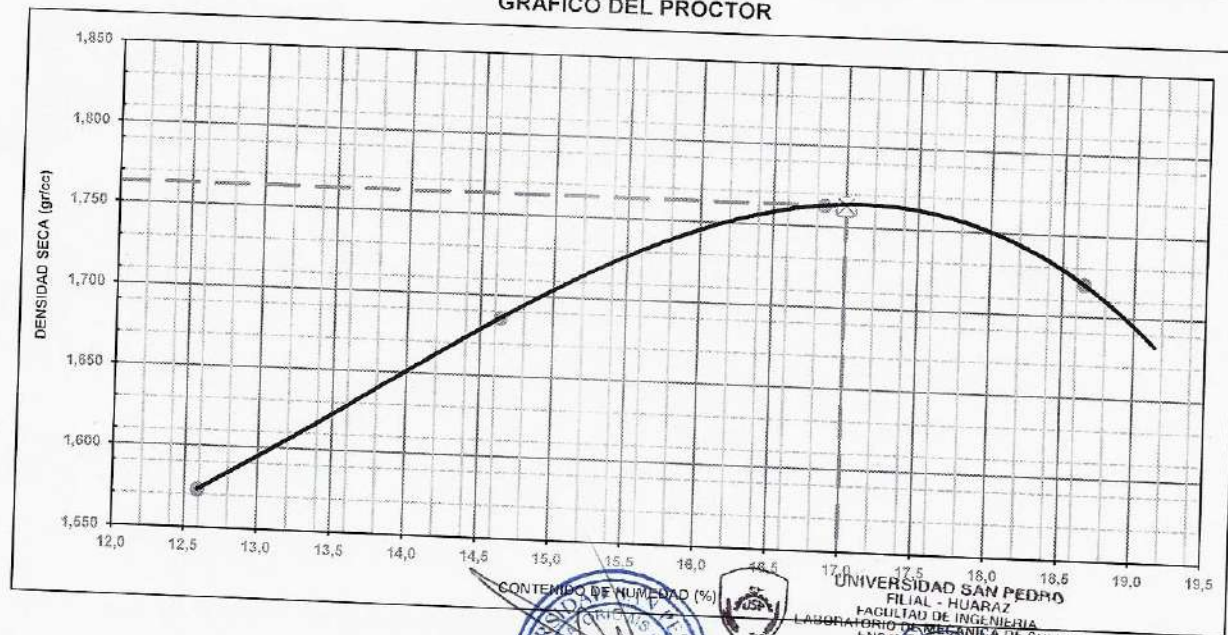
COMPACTACION (METODO B)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³) : 920	PESO DEL MOLDE (gr.) : 4192			
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	5821,0	5970,0	6087,0	6070,0
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1629	1778	1895	1878
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1,771	1,933	2,060	2,041

CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE Nro.	37	6	50	45
PESO SUELO HUMEDO + TARA	788,30	565,10	860,30	845,70
PESO SUELOS SECO + TARA	701,30	513,90	777,70	739,90
PESO DE LA TARA	169,10	164,10	168,80	172,60
PESO DE AGUA	67,00	51,20	102,60	105,80
PESO DE SUELO SECO	532,20	349,80	608,90	567,30
CONTENIDO DE AGUA	12,59	14,64	16,85	18,65
PESO VOLUMETRICO SECO	1,573	1,686	1,763	1,720
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1,763	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: 17,0 %

GRAFICO DEL PROCTOR



CONTENIDO DE HUMEDAD (%)

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FILIAL - HUARAZ

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS y ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"				
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior				
CALICATA	1				
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS	FECHA	25/04/2019

RAZON SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

METODO DE COMPACTACION

MOLDE N°

NUMERO DE CAPAS

NUMERO DE GOLPES POR CAPA

SOBRECARGA

CONDICIONES DE LA MUESTRA

	MOLDES					
	M-3		M-2		M-1	
	5		5		5	
	12		25		56	
	4530		4530		4530	
	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR
Peso molde+Muestra Húmeda(gr)	11875,00	12030,00	12087,00	12157,00	12254,00	12295,00
Peso del Molde (gr)	7981,00	7981,00	7975,00	7975,00	7975,00	7975,00
Peso Muestra Húmeda (gr)	3894,00	4049,00	4112,00	4182,00	4279,00	4320,00
Volúmen del molde (cc)	2041,00	2041,00	2015,00	2015,00	2037,00	2037,00
Densidad húmeda (gr/cc)	1,91	1,98	2,04	2,08	2,10	2,12

Número de Tara	37	22	10	30	2	36
Peso húmedo + Tara (gr)	538,10	836,90	584,30	696,00	568,50	755,20
Peso Seco + Tara (gr)	480,90	704,20	516,60	594,90	504,80	647,20
Peso Agua (gr)	57,20	132,70	67,70	101,10	63,70	108,00
Peso Tara (gr)	169,10	165,60	170,20	168,10	168,50	163,60
Peso Muestra Seca (gr)	311,80	538,60	346,40	426,80	336,30	483,60
Contenido de Humedad %	18,35	24,64	19,54	23,69	18,94	22,33
Densidad Seca (gr/cc)	1,61	1,59	1,71	1,68	1,77	1,73

DATOS DE EXPANSION

MOLDE N°								
SOBRE CARGA								
FECHA	HORA	TIEMPO (HORAS)	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm. / %.	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm./%	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm./%

NO EXPANSIVO

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

REDACTA

NO EXPANSIVO



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP

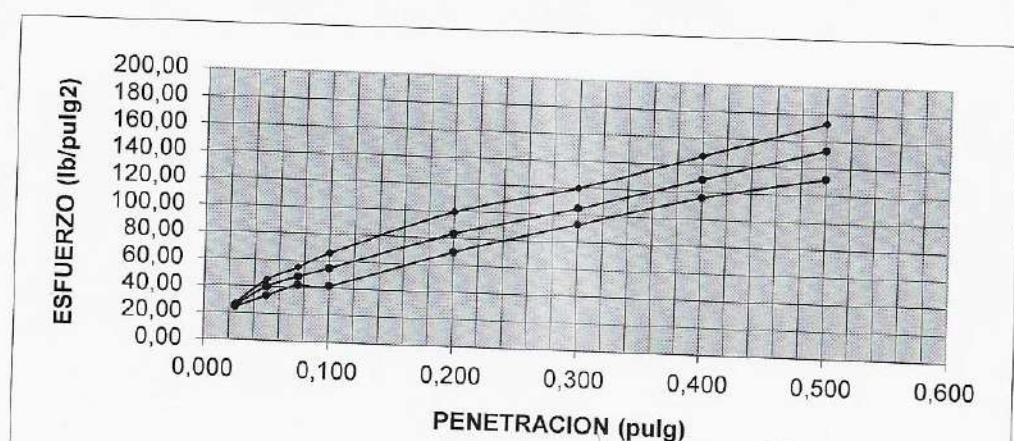
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"			
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior			
CALICATA	1			
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS	FECHA 25/04/2019

ENSAYO DE CARGA - PENETRACION

PENET. pulg.	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
	12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
	LECTURA DIAL	ENSAYO DE CARGA		LECTURA DIAL	ENSAYO DE CARGA		LECTURA DIAL	ENSAYO DE CARGA	
		lbs.	lbs/pulg2		lbs.	lbs/pulg2		lbs.	lbs/pulg2
0,025	6	74	24,67	8	76,19	25,40	10	81	27,00
0,050	11	100	33,33	13	120	40,00	12	135	45,00
0,075	13	124,76	41,59	14	144	48,00	15	165	55,00
0,100	15	125	41,67	16	165	55,00	17	198,3	66,10
0,200	24	210	70,00	26	250,48	83,49	29	299	99,67
0,300	31	280,05	93,35	34	315,2	105,07	37	360	120,00
0,400	36	347,62	115,87	39	388	129,33	45	440	146,67
0,500	41	396,19	132,06	45	460	153,33	50	520	173,33

12 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(41,67 \times 100) / 1000$	=	4,17	%
	C.B.R.	0.2"	$(70,00 \times 100) / 1500$	=	4,67	%
25 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(55,00 \times 100) / 1000$	=	5,50	%
	C.B.R.	0.2"	$(83,49 \times 100) / 1500$	=	5,57	%
56 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(66,1 \times 100) / 1000$	=	6,61	%
	C.B.R.	0.2"	$(99,67 \times 100) / 1500$	=	6,64	%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrasio
CIP: 116544
JEFE

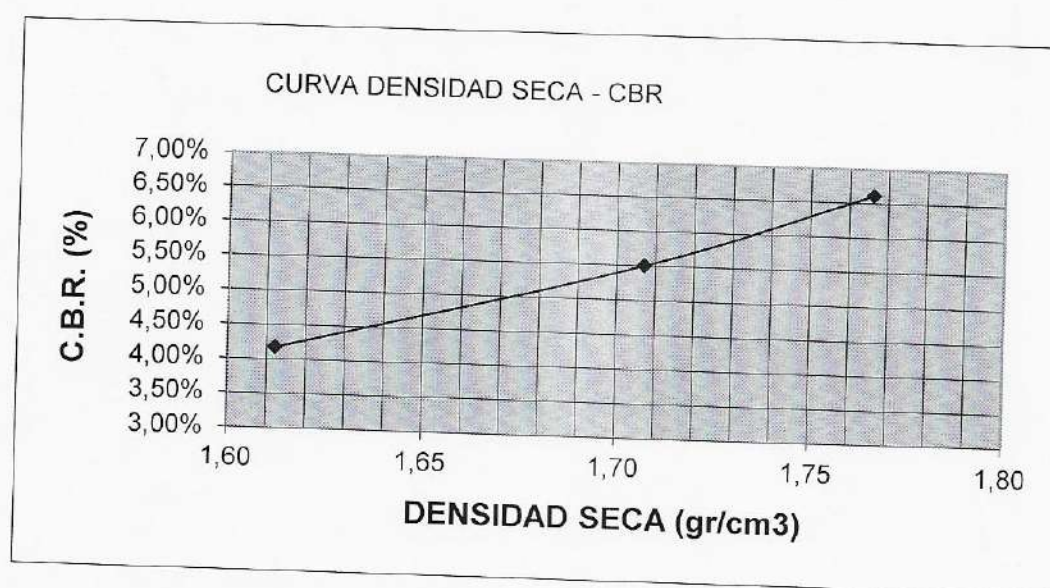


USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"			
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior			
CALICATA	1			
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS	FECHA 25/04/2019

Densidad Seca (gr/cc)	1,77	1,71	1,61
-----------------------	------	------	------

N° DE GOLPES	56	25	12
C.B.R. 0.1"	6,61%	5,50%	4,17%



DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3)	1,76
HUMEDAD OPTIMA (%)	17,00

C. B. R. 100 (%)	6,61%
C. B. R. 95 (%)	4,90%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE PROCTOR STANDARD

(AASHTO - T-180, ASTM D1557, MTC E115)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : "Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"

SOLICITA : Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior

MATERIAL : SUELOS + ADICION 10%

HECHO POR : Lab. U.S.P

ING. RESP. : E.M.A

FECHA : 25-abr-19

COMPACTACION (METODO B)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³) : 920	PESO DEL MOLDE (gr.) : 4192			
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	5919,0	6052,0	6095,0	6075,0
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1727	1860	1903	1883
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1,877	2,022	2,068	2,047
CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE Nro.	20	34	30	36
PESO SUELO HUMEDO + TARA	807,30	805,10	836,60	874,50
PESO SUELOS SECO + TARA	736,50	725,10	743,70	765,50
PESO DE LA TARA	165,50	161,70	168,10	163,60
PESO DE AGUA	70,80	80,00	92,90	109,00
PESO DE SUELO SECO	571,00	563,40	575,60	601,90
CONTENIDO DE AGUA	12,40	14,20	16,14	18,11
PESO VOLUMETRICO SECO	1,670	1,770	1,781	1,733
DENSIDAD MAXIMA SECA: 1,786	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: 15,5	%

GRAFICO DEL PROCTOR



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAJO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"				
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior				
CALICATA	1				
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS + ADICION 10%	FECHA	25/04/2019

RAZON SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

METODO DE COMPACTACION
MOLDE N°
NUMERO DE CAPAS
NUMERO DE GOLPES POR CAPA
SOBRECARGA
CONDICIONES DE LA MUESTRA

	MOLDES					
	M-3		M-2		M-1	
	5		5		5	
	12		25		56	
	4530		4530		4530	
	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR
Peso molde+Muestra Húmeda(gr)	11875,00	12030,00	12087,00	12157,00	12254,00	12295,00
Peso del Molde (gr)	7981,00	7981,00	7975,00	7975,00	7975,00	7975,00
Peso Muestra Húmeda (gr)	3894,00	4049,00	4112,00	4182,00	4279,00	4320,00
Volúmen del molde (cc)	2041,00	2041,00	2015,00	2015,00	2037,00	2037,00
Densidad húmeda (gr/cc)	1,91	1,98	2,04	2,08	2,10	2,12

Número de Tara	37	22	10	30	2	36
Peso húmedo + Tara (gr)	538,10	836,90	584,30	696,00	568,50	755,20
Peso Seco + Tara (gr)	490,00	714,20	526,60	604,90	514,80	657,20
Peso Agua (gr)	48,10	122,70	57,70	91,10	53,70	98,00
Peso Tara (gr)	169,10	165,60	170,20	168,10	168,50	163,60
Peso Muestra Seca (gr)	320,90	548,60	356,40	436,80	346,30	493,60
Contenido de Humedad %	14,99	22,37	16,19	20,86	15,51	19,85
Densidad Seca (gr/cc)	1,66	1,62	1,76	1,72	1,82	1,77

DATOS DE EXPANSION

MOLDE N°								
SOBRE CARGA								
FECHA	HORA	TIEMPO (HORAS)	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm. / %.	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm. / %.	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm. / %.

NO EXPANSIVO

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

CHAL - HUARAZ

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y

UNUSPE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN PEDRO

NO EXPANSIVO



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



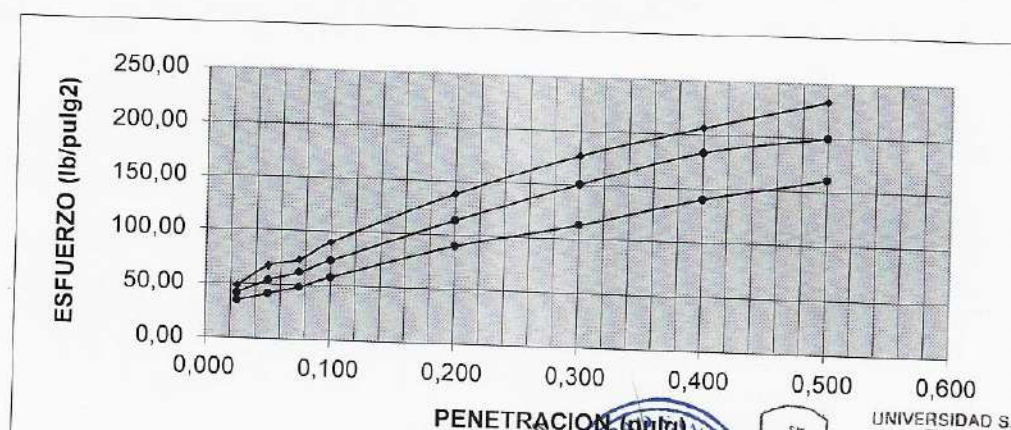
USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"		
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior		
CALICATA	1		
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS + ADICION 10%
		FECHA	25/04/2019

ENSAYO DE CARGA - PENETRACION

	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
	12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
PENET. pulg.	LECTURA DIAL	ENSAYO DE CARGA lbs.	lbs/pulg2	LECTURA DIAL	ENSAYO DE CARGA lbs.	lbs/pulg2	LECTURA DIAL	ENSAYO DE CARGA lbs.	lbs/pulg2
0,025	11	105	35,00	13	124,76	41,59	17	145,2	48,40
0,050	13	124,76	41,59	19	162	54,00	21	202	67,33
0,075	15	144	48,00	22	185,2	61,73	23	220	73,33
0,100	17	173,81	57,94	25	220,52	73,51	27	270,5	90,17
0,200	27	270,25	90,08	42	341,2	113,73	43	415,24	138,41
0,300	35	338,1	112,70	51	451,81	150,60	55	531,43	177,14
0,400	44	420	140,00	59	550,48	183,49	64	620	206,67
0,500	51	481,81	160,60	68	600,23	200,08	72	700	233,33

12 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(57,94 \times 100) / 1000$	=	5,79	%
	C.B.R.	0.2"	$(90,08 \times 100) / 1500$	=	6,01	%
25 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(73,51 \times 100) / 1000$	=	7,35	%
	C.B.R.	0.2"	$(113,73 \times 100) / 1500$	=	7,58	%
56 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(90,17 \times 100) / 1000$	=	9,02	%
	C.B.R.	0.2"	$(138,41 \times 100) / 1500$	=	9,23	%



PENETRACION (pulg)



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUÁRAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
-CIP: 116544
-JEFE

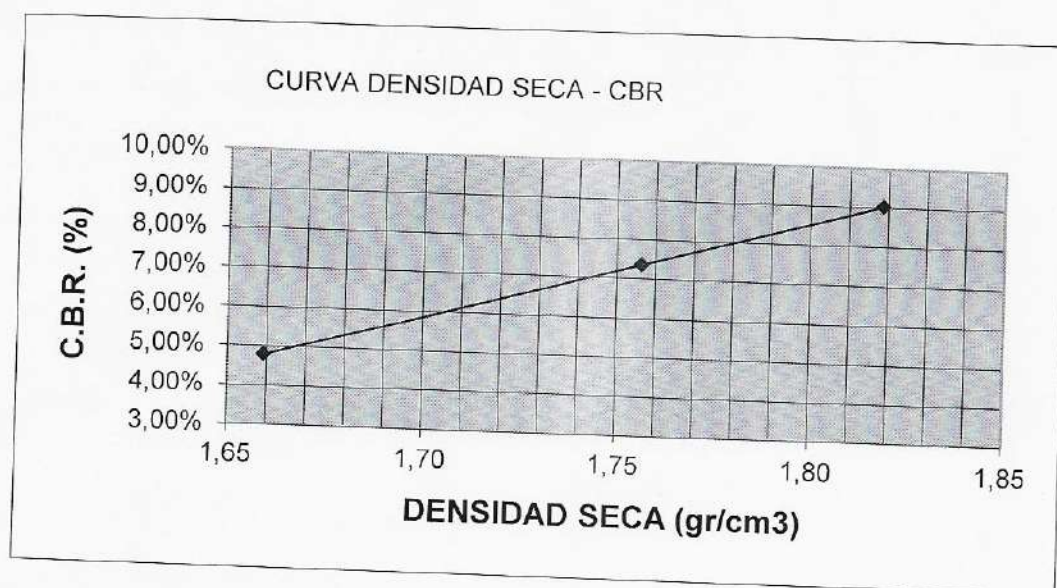


USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"			
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior			
CALICATA	1			
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS + ADICION 10%	FECHA 25/04/2019

Densidad Seca (gr/cc)	1,82	1,76	1,66
-----------------------	------	------	------

Nº DE GOLPES	56	25	12
C.B.R. 0.1"	9,02%	7,35%	4,79%



DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3)	1,786
HUMEDAD OPTIMA (%)	15,50

C. B. R. 100 (%)	5,80%
C. B. R. 95 (%)	1,70%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 118544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE PROCTOR STANDARD

(AASHTO - T-180, ASTM D1557, MTC E115)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : "Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"

SOLICITA : Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior

MATERIAL : SUELOS + ADICION 20%

HECHO POR : Lab. U.S.P

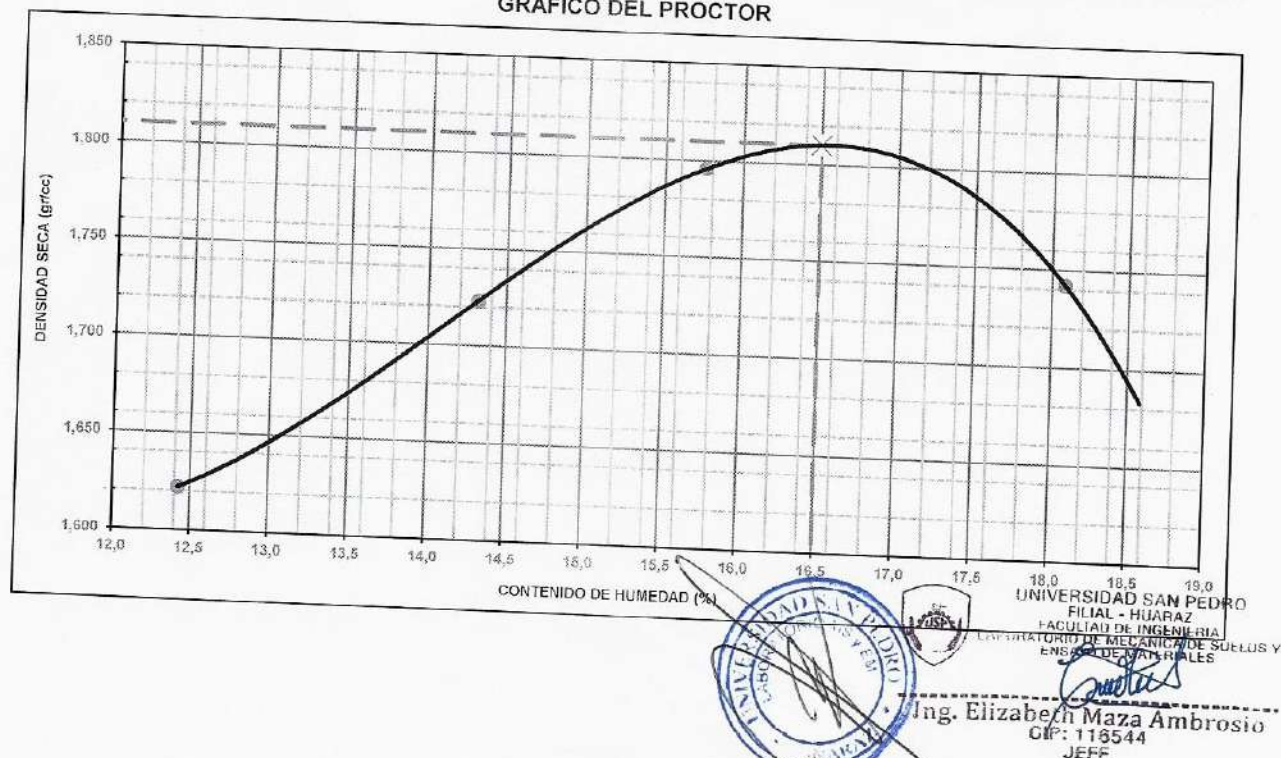
ING. RESP. : E.M.A

FECHA : 25-abr-19

COMPACTACION (METODO B)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³) : 920	PESO DEL MOLDE (gr.) : 4192			
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	5869,2	6004,0	6105,0	6084,0
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1677	1812	1913	1892
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1,823	1,970	2,079	2,057
CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE Nro.	12	47	44	15
PESO SUELO HUMEDO + TARA	681,80	687,20	690,40	754,00
PESO SUELOS SECO + TARA	626,00	622,20	619,50	683,70
PESO DE LA TARA	167,80	168,20	169,70	164,40
PESO DE AGUA	56,80	65,00	70,90	90,30
PESO DE SUELO SECO	457,20	454,00	449,80	499,30
CONTENIDO DE AGUA	12,42	14,32	15,76	18,09
PESO VOLUMETRICO SECO	1,622	1,723	1,796	1,742
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1,810	gr/cc		
HUMEDAD OPTIMA:				16,5 %

GRAFICO DEL PROCTOR



Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 118544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"				
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior				
CALICATA	1				
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS + ADICION 20%	FECHA	25/04/2019

RAZON SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

METODO DE COMPACTACION

MOLDE N°

NUMERO DE CAPAS

NUMERO DE GOLPES POR CAPA

SOBRECARGA

CONDICIONES DE LA MUESTRA

MOLDES					
M-3		M-2		M-1	
5		5		5	
12		25		56	
4530		4530		4530	
ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR	ANTES DE SATURAR	DESPUES DE SATURAR
Peso molde+Muestra Húmeda(gr)	11870,00	12025,00	12083,00	12162,00	12249,00
Peso del Molde (gr)	7981,00	7981,00	7975,00	7975,00	7975,00
Peso Muestra Húmeda (gr)	3889,00	4044,00	4108,00	4177,00	4274,00
Volúmen del molde (cc)	2041,00	2041,00	2015,00	2015,00	2037,00
Densidad húmeda (gr/cc)	1,91	1,98	2,04	2,07	2,10

Número de Tara	14	25	18	22	3	28
Peso húmedo + Tara (gr)	534,10	826,90	585,20	695,10	550,40	725,50
Peso Seco + Tara (gr)	490,00	710,50	530,20	610,00	504,80	647,20
Peso Agua (gr)	44,10	116,40	55,00	85,10	45,60	78,30
Peso Tara (gr)	169,10	165,60	170,20	168,10	168,50	163,60
Peso Muestra Seca (gr)	320,90	544,90	360,00	441,90	336,30	483,60
Contenido de Humedad %	13,74	21,36	15,28	19,26	13,56	16,19
Densidad Seca (gr/cc)	1,68	1,63	1,77	1,74	1,85	1,82

DATOS DE EXPANSION

MOLDE N°								
SOBRE CARGA								
FECHA	HORA	TIEMPO (HORAS)	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm. / %.	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm./%	LECTURA DIAL	HINCHAM. mm./%

NO EXPANSIVO



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SÓLIDOS
ENSAYOS DE TRACCIÓN

NO EXPANSIVO



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP

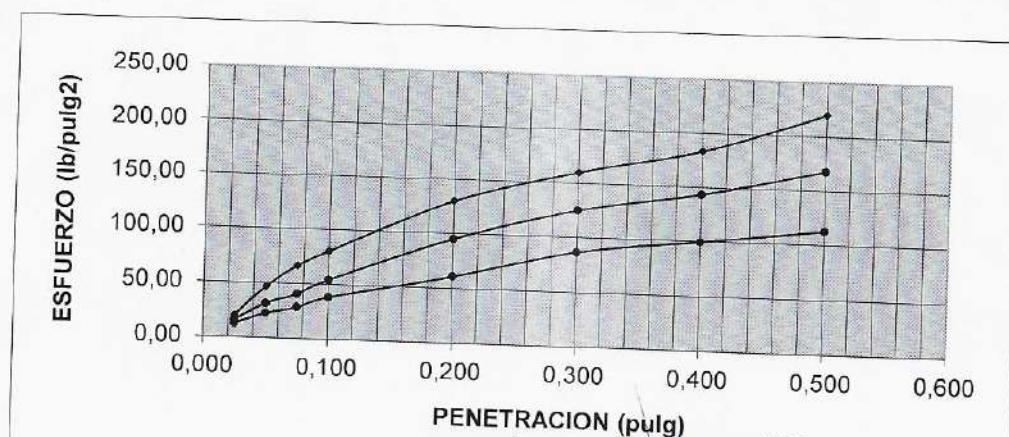
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

TESIS	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"				
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior				
CALICATA	1				
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS + ADICION 20%		FECHA 25/04/2019

ENSAYO DE CARGA - PENETRACION

PENET. pulg.	MOLDE N° 1 12 GOLPES			MOLDE N° 2 25 GOLPES			MOLDE N° 3 56 GOLPES		
	LECTURA		ENSAYO DE CARGA	LECTURA		ENSAYO DE CARGA	LECTURA		ENSAYO DE CARGA
	DIAL	lbs.		DIAL	lbs.		DIAL	lbs.	
0,025	4	37,14	12,38	5	47	15,67	10	60,2	20,07
0,050	7	66,67	22,22	9	94,2	31,40	15	140	46,67
0,075	9	85,71	28,57	12	122,3	40,77	20	200	66,67
0,100	12	115	38,33	19	162,5	54,17	25	240,95	80,32
0,200	19	182,86	60,95	32	285,2	95,07	41	390,19	130,06
0,300	25	260	86,67	37	375	125,00	50	480	160,00
0,400	31	299,05	99,68	45	430,2	143,40	56	550,1	183,37
0,500	35	338,1	112,70	52	502,86	167,62	68	660	220,00

12 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(38,33 \times 100) / 1000$	=	3,83	%
	C.B.R.	0.2"	$(60,95 \times 100) / 1500$	=	4,06	%
25 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(54,17 \times 100) / 1000$	=	5,42	%
	C.B.R.	0.2"	$(95,07 \times 100) / 1500$	=	6,34	%
56 GOLPES	C.B.R.	0.1"	$(80,32 \times 100) / 1000$	=	8,03	%
	C.B.R.	0.2"	$(130,06 \times 100) / 1500$	=	8,67	%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

Jng. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

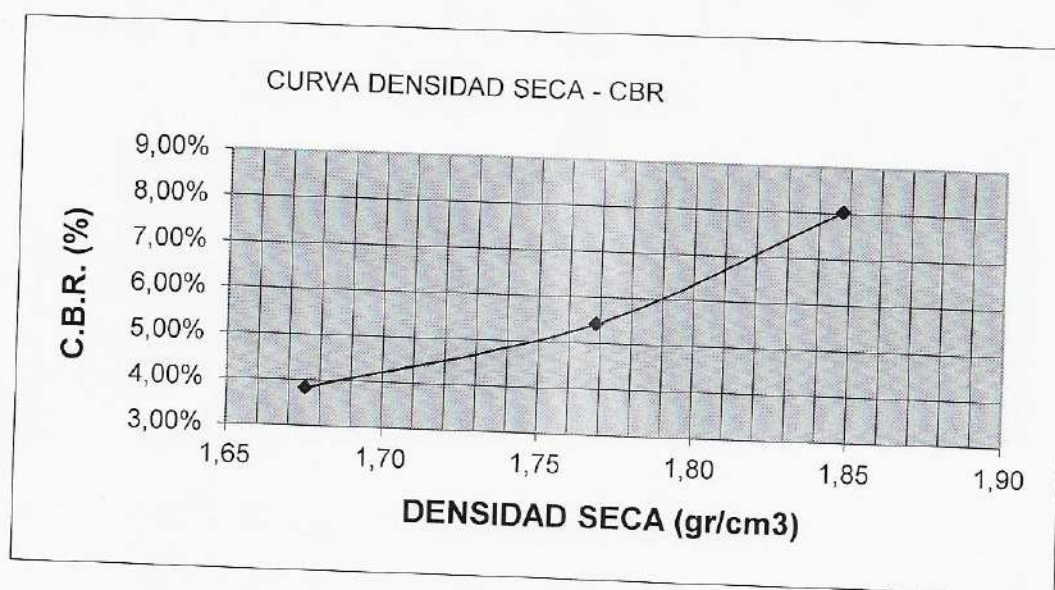


USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

OBRA	"Comportamiento de la Subrasante en la Carretera Huaraz - Unchus con Adición de 10% y 20% de Cloruro de Sodio"			
SOLICITA	Bach. Cerna Montalvo, Cesar Junior			
CALICATA	1			
MUESTRA	1	MATERIAL	SUELOS + ADICION 20%	FECHA 25/04/2019

Densidad Seca (gr/cc)	1,85	1,77	1,68
-----------------------	------	------	------

N° DE GOLPES	56	25	12
C.B.R. 0.1"	8,03%	5,42%	3,83%



DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm ³)	1,81
HUMEDAD OPTIMA (%)	16,50

C. B. R. 100 (%)	8,03%
C. B. R. 95 (%)	4,40%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAJO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE CIENCIAS



CONSTANCIA DE ENSAYOS EN LABORATORIO

EL LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO, ACREDITA QUE EL SR. CESAR JUNIOR CERNA MONTALVO REALIZÓ ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE pH DE UN SUELO NATURAL Y CON ADICIONES DE CLORURO.

MUESTRA (250 gr):
ARCILLA COLOR PARDO

GRANULOMETRÍA:
MATERIAL LIGERAMENTE FINO

PROCEDENCIA:
CARRETERA HUARAZ-UNCHUS (CALICATA)

PROYECTO: "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN LA CARRETERA HUARAZ-UNCHUS CON ADICIÓN DE 10% Y 20% DE CLORURO DE SODIO"

DETERMINACIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) DE UN SUELO NATURAL CON POTENCIÓMETRO 3210			
Muestra Patrón = 10gr	ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO (NaCl)	RECIPIENTE N° 01 (pH)	RECIPIENTE N° 02 (pH)
MUESTRA PATRÓN	0%	8.22	8.30
MUESTRA ALTERADA	10%	7.49	7.63
MUESTRA ALTERADA	20%	7.26	7.21

Se expide la siguiente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

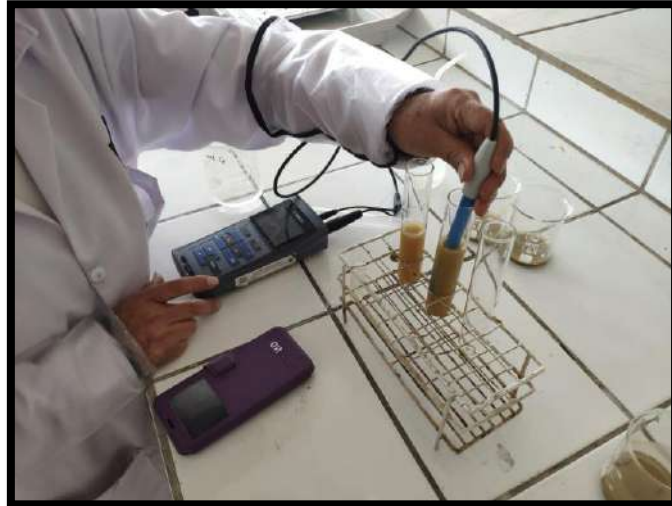
Huaraz, 26 de abril del 2019




Lic. Maguiña Soto Maricia

PANEL FOTOGRÁFICO

FOTOGRAFÍA N° 01: Luego de haber sedimentado el suelo natural, se procedió a medir el pH del suelo con la ayuda del potenciómetro



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 02: Identificación de la zona de trabajo, de donde se sacará la muestra de suelo para el estudio



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 03: Extracción de la muestra de suelo a una profundidad de 1.50 m. Se evidencian en su estratigrafía hasta 3 tipos de suelo.



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 04: Se extrajo una fracción de la muestra de suelo para poder obtener el valor de la humedad natural



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 05: El tesista extiende la muestra de suelo para su posterior secado natural y luego realizar los ensayos de laboratorio correspondientes



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 06: Se tritura la muestra seca compactada hasta obtener el suelo en sus partículas reales



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 07: Luego de preparada la muestra se procede a tamizar por la malla N° 40 con la cual se harán los ensayos de límite de Atterberg



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 08: Se realizan muestras cilíndricas de 3mm de diámetro para poder determinar el límite plástico



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 09: Se realiza ensayos en la copa de Casagrande para determinar el límite líquido de la muestra de suelo pasante de la malla N°40



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 10: Teniendo la muestra seca de la muestra total del suelo, se realiza el tamizado por la malla N°4 para separar el material fino del material grueso.



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 11: Se realiza el tamizado del agregado grueso



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 12: Se realiza el lavado del agregado fino para poder eliminar el exceso de material orgánico y polvo. Asimismo, determinar la cantidad del material arcilloso.



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 13: Se pone a secar al horno el agregado fino que se lavó, para luego realizar su granulometría por tamizado.



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 14: Se realiza el ensayo de proctor estandar en molde de 4", usando el método de compactación "A", según especificación del manual de laboratorio



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 15: Luego de obtenidos los resultados de óptima humedad en el proctor estándar, preparamos la muestra del suelo para realizar los ensayos CBR.



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 16: Se realiza la compactación del suelo en los moldes de CBR



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 17: Se procede a enrazar el material excedente del molde CBR



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 18: Proseguimos con el proceso de inmersión de las muestras de suelo en los moldes por 96 horas



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 19: Se realiza el ensayo de penetración en la máquina compresora manual considerando 1 minuto por cada 0.05" de penetración



FUENTE: Elaboración propia, 2019

FOTOGRAFÍA N° 20: Se repiten los ensayos de laboratorio: proctor estandar y CBR, dosificando la muestra del suelo con cloruro de sodio en porcentajes de 10% y 20% de tal manera determinar sus nuevas propiedades físicas y mecánicas.



FUENTE: Elaboración propia, 2019