

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Estabilización y durabilidad de sub base usando la cantera
de Challhua con adición de cloruro de sodio en 2, 4 y 6% -
Huaraz – 2017**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR

Cochachin Mendoza, Royal Conan

ASESOR

Castañeda Gamboa, Rogelio Fermin

Huaraz – Perú

2018

PALABRAS CLAVE

Tema	Estabilización, durabilidad, sub bases.
Especialidad	Mecánica de suelos.

KEY WORDS

Topic	Stabilization, durability, sub bases.
Specialization	Soil mechanics.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Según la UNESCO producción y competitividad.

Código	Línea
01.06	Turismo y artesanía.
01.06.00.01.	Investigación y tecnologías para el diseño y construcción de infraestructura adecuada para el turismo rural.

Según la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Pedro.

Código	Línea
04.	Transversales del Conocimiento.
04.04.	Nuevos Materiales y Nanotecnologías.

Según la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad San Pedro.

Programa	Ingeniería Civil.
Área	2. Ingeniería y Tecnología.
Sub – área	2.1. Ingeniería Civil.
	Ingeniería Civil.

**Estabilización y durabilidad de sub base
usando la cantera de Challhua con adición
de cloruro de sodio en 2, 4 y 6% - Huaraz –
2017**

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue determinar la estabilización y durabilidad de la sub base con el uso del agregado de la cantera de Challhua con la adición del cloruro de sodio al 2, 4 y 6%, estudio que se realizó en la ciudad de Huaraz en el año 2017, con la finalidad de aumentar el índice CBR con la adición del cloruro de sodio en los diferentes porcentajes mencionados y además verificar su durabilidad, modificando sus propiedades físicas y mecánicas. La metodología de la presente investigación es experimental de nivel “cuasi – experimental”, porque se evaluó mediante ensayos como son de granulométrica, límites de Atterberg, proctor modificado y CBR; realizando el control y manipulación de las variables, ya que se realizaron diferentes tipos de ensayos y las muestras controladas para entender los procesos causales. La investigación también empleo el método inductivo porque permitió analizar la muestra, los resultados que se estimaron hacia la población, la técnica utilizada fue la observación, además para el proceso de los datos se utilizó los programas Excel y SPSS y en el análisis se utilizaron tablas y gráficos. Por lo que se determinó que la adición del cloruro de sodio en porcentaje de 2% aumento el CBR en un 3,1% respecto al patrón por lo que se mejoró la resistencia, además en el ensayo de durabilidad se obtuvo los porcentajes de pérdida siendo 9,364% y 5,56% del agregado grueso y fino respectivamente por lo que el material tiene gran resistencia al desgaste.

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to determine the stabilization and durability of the sub base with the use of the aggregate of the Challhua quarry with the addition of sodium chloride at 2, 4 and 6%, a study that was conducted in the city of Huaraz in the year 2017, in order to increase the CBR index with the addition of sodium chloride in the different percentages mentioned and also verify its durability, modifying its physical and mechanical properties. The methodology of this research is experimental "quasi - experimental" level, because it was evaluated through tests such as granulometric, Atterberg limits, modified proctor and CBR; performing the control and manipulation of the variables, since different types of tests were performed and the controlled samples to understand the causal processes. The research also used the inductive method because it allowed to analyze the sample, the results that were estimated towards the population, the technique used was the observation, in addition to the process of the data the Excel and SPSS programs were used and in the analysis tables were used and graphics. Therefore, it was determined that the addition of sodium chloride in 2% percentage increased the CBR by 3.1% with respect to the standard, so the resistance was improved, and in the durability test, the loss percentages were obtained. 9.364% and 5.56% of the coarse and fine aggregate, respectively, so the material has great resistance to wear.

ÍNDICE

Palabras clave – Key word – Línea de investigación	I
Título de la Investigación	II
Resumen	III
Abstract	IV
Índice	V
I. Introducción	01
II. Metodología	19
III. Resultados	21
IV. Análisis y discusión	34
V. Conclusiones	47
VI. Recomendaciones	48
VII. Referencias bibliográficas	49
VIII. Agradecimientos	51
IX. Anexos y apéndice	52

Lista de Tablas

Tabla 1. Características del cloruro de sodio (NaCl)	14
Tabla 2. Variable Dependiente	17
Tabla 3. Variable Independiente	17
Tabla 4. Proctor 0% de NaCl	22
Tabla 5. CBR 0% de NaCl	23
Tabla 6. Proctor 2% de NaCl	24
Tabla 7. CBR 2% de NaCl	25
Tabla 8. Proctor 4% de NaCl	27
Tabla 9. CBR 4% de NaCl	28
Tabla 10. Proctor 6% de NaCl	29
Tabla 11. CBR 6% de NaCl	30
Tabla 12. Análisis del agregado grueso	32
Tabla 13. Análisis cualitativo del agregado grueso	33
Tabla 14. Análisis del agregado fino	33
Tabla 15. Densidad seca máxima y humedad óptima con adición de NaCl	34
Tabla 16. Densidad Seca Máxima - % NaCl	35
Tabla 17. Humedad óptima - % NaCl	36
Tabla 18. Porcentaje de compactación – porcentaje de NaCl	37
Tabla 19. Porcentaje de CBR – porcentaje de NaCl	38
Tabla 20. Resistencia a corte - % NaCl (56 golpes)	39
Tabla 21. Resistencia a corte - % NaCl (25 golpes)	40
Tabla 22. Resistencia a corte - % NaCl (12 golpes)	42
Tabla 23. Porcentaje de cloruro de sodio vs CBR al 100%	43
Tabla 24. Análisis cualitativo del agregado grueso	44
Tabla 25. Análisis agregado grueso y fino	45

Lista de Figuras

Figura 1. Corte transversal de una carretera	05
Figura 2. Estructura del cloruro de sodio	12
Figura 3. Curva granulométrica	21
Figura 4. Grafica de densidad seca – humedad	22
Figura 5. Grafica de densidad seca – CBR (1pulg)	23
Figura 6. Grafica de densidad seca – humedad	25
Figura 7. Grafica de densidad seca – CBR (1pulg)	26
Figura 8. Grafica de densidad seca – humedad	27
Figura 9. Grafica de densidad seca – CBR (1pulg)	28
Figura 10. Grafica de densidad seca – humedad	30
Figura 11. Grafica de densidad seca – CBR (1pulg)	31
Figura 12. Grafica de densidad seca - humedad a diferentes % de NaCl	34
Figura 13. Comportamiento de densidad seca máxima - % de NaCl	35
Figura 14. Comportamiento de humedad optima - % de NaCl	36
Figura 15. Incidencia de NaCl en la compactación	37
Figura 16. Incidencia de NaCl en el porcentaje CBR	39
Figura 17. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (56 golpes)	40
Figura 18. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (25 golpes)	41
Figura 19. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (12 golpes)	42
Figura 20. CBR al 100% vs porcentaje de cloruro de sodio	43

I. INTRODUCCIÓN

De los antecedentes encontrados se ha abordado algunos trabajos relevantes a esta investigación, como el de **Greter (2010)**, en su tesis de pregrado titulada “Estabilización de un suelo arcilloso con el Sistema Nuevo ROCAMIX Líquido”, realizado en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría – Cuba, esta tesis tuvo como objetivo Comprobar la efectividad del Sistema Nuevo Rocamix Líquido en la estabilización de los suelos arcillosos, en el cual se usó la dosificación de acuerdo a la clasificación del suelo.

Por lo que esta tesis comprobó que la estabilización química del Sistema Nuevo Rocamix Líquido aumenta la resistencia a compresión simple y disminuye la ascensión capilar de los suelos arcillosos, de la presente tesis se concluyó que el suelo estabilizado con el Sistema Nuevo Rocamix Líquido presenta un aumento de valores (de resistencia a compresión axial simple) aproximadamente de un 50% de los valores del suelo sin estabilizar y el ensayo de índice de CBR realizado a las probetas con el aditivo dieron un aumento sustancial del 375% con respecto a las muestras ensayadas con el suelo de forma natural.

Así mismo se revisó la investigación de **Miranda y Negrete (2011)**, en su tesis de pregrado titulada “Estabilización de suelos cohesivos con el uso de cloruro de calcio”, realizado en la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador – Ecuador, esta tesis tuvo como objetivo estudiar el comportamiento de suelos cohesivos utilizando el Cloruro de Calcio como agente estabilizante para mejorar las propiedades físico-mecánicas en proyectos viales y establecer una dosificación óptima, por lo que la tesis determino las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo estabilizado con Cloruro de Calcio con muestras tomadas de la vía Pedernales-San Vicente.

Se concluyó que con los porcentajes utilizados de Cloruro de Calcio que son de 0.5 a 2%, la absorción de agua en el suelo en el ensayo de CBR, no se ve afectada con el aumento de Cloruro de Calcio, es decir, se mantiene la misma permeabilidad del suelo, los valores de CBR en suelo natural junto a los valores del CBR con cloruro de calcio en distintas dosificaciones no mejoró considerablemente la resistencia a esfuerzos cortantes llegando incluso a ser perjudicial para el suelo.

Por otro punto **Garnica y Peres (2002)** en su tesis de pregrado titulada “Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres”, realizado en el Instituto Mexicano Del Transporte – México, esta tesis tuvo como objetivo evaluar la estabilización con cloruro de sodio (NaCl) en suelos arcillosos, encaminados a la aplicación en terracerías de las vías terrestres, en este proyecto se analizó el comportamiento de suelos arcillosos, potencialmente expansivos, mezclados con cloruro de sodio, los suelos estudiados corresponden a los sitios de El Salitre y Jurica. Se analizó la variación de las propiedades físicas y mecánicas de dichos suelos con la adición de sal, para en diferentes porcentajes (2, 5, 10 y 20%).

Se aplicó la sal con dos métodos diferentes, uno con la sal diluida en salmuera y otro en grano, se concluyó que el cloruro de sodio generó modificaciones tanto en las propiedades índice como en las mecánicas en los materiales estudiados además la estabilización de suelos con cloruro de sodio, produce diferentes resultados en los suelos así tratados llegando incluso a producir propiedades más desfavorables en suelos utilizados en la construcción de vías terrestres, lo que es importante realizar análisis previos de la influencia del producto estabilizante sobre las propiedades de interés del suelo que se quiera mejorar.

También se revisó la investigación de **Salcedo y De La Cruz (2016)** en su tesis de pregrado titulada “Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Huancayo - JUNIN”, realizado en la Universidad Peruana Los Andes – Perú, se tuvo como objetivo evaluar la influencia del aditivo Eco Road 2000 en las propiedades de los suelos cohesivos en el anexo de Palian - Huancayo – Junín, se buscó demostrar la influencia del aditivo Eco Road 2000 en las propiedades de los suelos cohesivos, por consiguiente se realizó la zonificación y ubicación de las calicatas a estudiar

Se usó la dosificación de 1 litro por metro cubico, se concluyó que la adición del aditivo Eco Road 2000 al suelo natural se observaron notables cambios en la parte física y mecánica esto es debido a que el aditivo acelera el proceso de expansión y contracción para poder obtener un suelo más estable además en el ensayo de CBR se demostró el incremento de resistencia de un 40% con respecto al suelo natural.

En la investigación de **Gutiérrez (2010)** en su tesis de pregrado titulada “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio”, realizado en la Universidad Ricardo Palma – Perú. Esta tesis tuvo como objetivo determinar que el cloruro de magnesio es la opción que ofrece mayores ventajas técnicas, económicas y ambientales frente al cloruro de calcio y consecuentemente frente a los demás aditivos (sales) con los cuales suele compararse.

Esta tesis busco demostrar las ventajas técnicas, económicas y ambientales de los productos químicos estabilizadores estableciendo líneas de acción a seguir al momento de optar por una u otra alternativa de estabilización de una carretera no pavimentada ubicada en la costa peruana, para lo cual se usó dosificaciones de 3, 4 y 5%., se concluyó que el Cloruro de Magnesio Hexahidratado es una sal muy Higroscópica (H.R.= 32%) por lo cual funcionaria muy bien en regiones con climas secos por consiguiente no es viable para la costa del Perú. (H.R. Mínima Promedio = 68%) ya que se sobrehidrataría el suelo convirtiéndolo en muy resbaladizo

Pero el Cloruro de Calcio con su H.R.=42% se adecua mejor a las condiciones climáticas del Perú para el Cloruro de Magnesio se necesitan altas cantidades para tener altas concentraciones (28%) que a comparación del cloruro de calcio no sucede así (40%); no se pudo comprobar el aumento del CBR puesto que la inmersión de 48 horas no dejaba actuar al cloruro de magnesio.

La presente investigación se fundamenta en los principios básicos de la ingeniería civil, en carreteras, con la teoría de los pavimentos rígidos y flexibles y su relación con las teorías de mecánica de suelos. Específicamente en la estabilización de suelos para mejorar las propiedades del suelo en condiciones necesarias y de acuerdo a la MTC (EG - 2013).

La información adquirida y procesada servirá de sustento para ésta y otras investigaciones similares, siendo un aporte importante a la ingeniería de transportes en la aplicación de aditivos para la estabilización de sub bases.

Las exigencias y la competitividad del medio de trabajo para los nuevos profesionales, hacen que el conocimiento no sea suficiente, si no está acompañado con el avance de nuevas técnicas, esto significa, crear o diseñar nuevas propuestas para mejorar la calidad de nuestra obra, reduciendo tiempo y costo.

Socialmente el presente proyecto busca ser precedente para el futuro de nuevas propuestas para la estabilización, que servirá particularmente para el desarrollo de vías terrestres más seguras y mejor elaboradas ante cualquier tipo de desastre natural.

Económicamente, este proyecto tiene vital importancia ya que facilita mucho el trabajo de estabilización y por ende el costo de manera significativa, por lo que no se tendría que sustituir grandes cantidades de material, optimizando el tiempo y los costos en el presupuesto final.

Legalmente este proyecto tiene sostenibilidad a base de las normas técnicas peruanas e internacionales, además se usará el manual de carreteras del MTC (DG 2014 y EG 2013) porque son necesarias para la comprobación de datos. Técnicamente, el proyecto se aplica de la forma más eficiente posible de acuerdo a las normas de la NTP, ASTM y AASHTO.

Metodológicamente, es donde se busca profundizar más con este proyecto, ya que uno de los objetivos fundamentales es dejar esta investigación como precedente y guía para futuros proyectos realizados en nuestra ciudad, es por esto que, este proyecto trata de ser didáctico y minucioso en su desarrollo.

La problemática de la presente investigación se pone en manifiesto en las siguientes líneas:

Con el transcurso del tiempo, en la zona urbana y rural de Huaraz se ha ido incrementando el parque automotor y esto ha conllevado al mejoramiento vial ya sea trochas carrozables, pavimentos rígidos y pavimentos flexibles lo que generó el uso desmedido de materiales para la conformación del paquete estructural del pavimento (mejoramiento de sub rasante, sub base y base).

Por lo que en algunos casos estos materiales provenientes de canteras no cuentan con las suficientes condiciones de calidad necesaria o tienen una menor calidad en comparación a otros materiales.

Por lo cual en algunos casos se hace necesario la obtención de nuevo material de una cantera mucho más lejana causando un costo adicional. En consecuencia, muchas empresas ligadas a la construcción civil crearon distintos tipos de aditivos que mejoren las propiedades físicas y mecánicas para el material de la sub base mediante una reacción química (estabilización).

Sin embargo, no todos estos aditivos funcionan cómo lo especifican o al menos no en su cien por ciento y es por eso que está tesis se basa en realizar ensayos para verificar la influencia del cloruro de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del material de la sub base.

Por lo mencionado se formula el problema ¿Cómo influye el cloruro de sodio (NaCl) en la estabilización y durabilidad del material de la sub base?

De la bibliografía consultada se pudo revisar diversas definiciones que serán útiles para el desarrollo de la investigación:

Carreteras

Bañon y Bevia (2010), denominan carretera como una adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales fue acondicionada. La carretera o carpeta de rodadura está sobre puesta en dos capas llamadas sub-base y base. Estas capas están constituidas con suelo de características adecuadas o con suelos de baja calidad, pero tratados con un método de estabilización adecuado para que funcione correctamente.

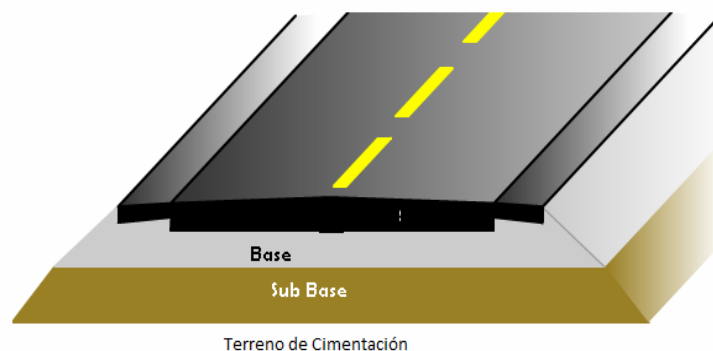


Figura 1. Corte transversal de una carretera

Fuente: www.e-asfalto.com.ar/pavimentos.html

Sub base

Bañon y Bevia (2010), definen a la sub-base como la capa granular situada entre la explanada y la base de la capa de rodadura. Es una capa típica de los pavimentos bituminosos, aunque en ocasiones se emplea en pavimentos rígidos asentados de baja capacidad portante.

Las principales funciones de esta capa son:

- **Resistencia mecánica:** ha de soportar y repartir adecuadamente las cargas de tráfico sobre la explanada, de forma que ésta pueda tolerar las presiones recibidas sin deformarse excesivamente. Además, dada la profundidad a la que se halla situada en el firme, está sometida a una alta presión de confinamiento lateral.
- **Economía:** al estar más alejada del plano de rodadura, sus características portantes no tienen por qué ser muy elevadas, por lo que pueden emplearse materiales de inferior calidad, para economizar de esta manera el coste de la obra.
- **Drenaje:** debe impedir la ascensión capilar del agua procedente del cimiento a las capas superiores del pavimento, ya que afectaría de manera negativa a su comportamiento mecánico y durabilidad.

Aparte de exigir características drenantes al material (bajo contenido en finos arcillosos) deben disponerse drenes o cunetas conectados con esta capa que faciliten una rápida evacuación del agua filtrada.

Materiales de la sub base

Valero, L. (1963), indica que debido a las funciones y características de la sub-base, se suelen utilizar materiales con una granulometría muy bien estudiada, estricto contenido en finos y con gravas resistentes para evitar su degradación con el paso del tiempo. Las gravas naturales son sin duda los materiales más apropiados para sub-bases, dado que es un material altamente friccionante, aunque no presentan una elevada capacidad de soporte.

Son más económicas que las gravas artificiales obtenidas de rocas trituradas mediante el proceso de machaqueo, estas pueden emplearse en casos de mayor exigencia mecánica. En muchos casos se han utilizado capas sub-base confeccionadas con materiales que por diversos motivos (tráfico, clima, calidad del material) han sido estabilizadas con ligantes o conglomerantes.

Base

Bañon y Bevia (2010), indican que la capa de base se encuentra situada entre la capa sub-base (o la explanada en casos donde no existe sub-base) y el pavimento. La principal función que se le atribuye a esta capa es la resistente, para lo cual debe presentar un alto grado de compacidad relativa. También debe ser durable, por lo que debe presentar insensibilidad al agua y los cambios volumétricos que ocasiona su presencia, así como una estabilidad a las cargas prolongadas en el tiempo.

Estabilización de suelos

Valero, L. (1963), define a la estabilización de suelos como una técnica para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización.

Crea poco impacto ambiental, ya que ahorra transportar a un vertedero enormes volúmenes de material de excavación, y por otro, traer enormes volúmenes de material de préstamo. Con la estabilización se pretende aumentar la resistencia mecánica de los suelos, se entrelazan las partículas de una forma más efectiva y se aseguran que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos.

Para conseguir una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica. Además, se produce un aumento de la durabilidad de dicha capa. El proceso de estabilización que inicialmente se aplicaba solamente a suelos y materiales de escasa calidad se ha extendido actualmente a capas granulares formadas por gravas de calidad, que originan las gravas tratadas.

Este tipo de materiales se fabrican en plantas especiales y están sometidos a continuos controles de calidad, para ser transportados posteriormente a obra. Hasta ahora los principales aditivos empleados han sido el cemento y la cal, sin embargo, la estabilización con estos aditivos aumenta los costos en la construcción y no controlan de manera satisfactoria la pérdida de humedad en los suelos utilizados en bases y sub-bases.

Es por ello que se analizará la estabilización mediante el cloruro de sodio (NaCl), con el fin de obtener suelos con características físicas y mecánicas que reúnan las condiciones óptimas para su uso.

Tipos de estabilizadores de suelos

Estabilización mecánica

Duque y Escobar (2002), sostienen que la estabilización mecánica es una técnica de mejora basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad y que cumpla las exigencias deseadas. Las propiedades que generalmente se pretenden mejorar con este tipo de estabilizaciones son la plasticidad y/o la granulometría; la plasticidad afecta a la susceptibilidad del material al agua y su capacidad drenante; la granulometría incide en la resistencia, trabajabilidad y compacidad final de la capa de suelo.

Estabilización volumétrica

Duque y Escobar (2002), sostienen que cuando se pretende mejorar un suelo a efecto de evitar la expansión volumétrica, es porque algunos suelen variar su volumen considerablemente ante los cambios de humedad. Esto ocurre con mayor frecuencia en los suelos arcillosos, al modificar las propiedades de este suelo implica transformar la masa granulada, entrelazar suficientemente sus partículas, para lograr que resista la presión interna de expansión.

Estudios anteriores han demostrado que los tratamientos químicos son los más recomendados para las arcillas superficiales, en tanto que los procedimientos térmicos (calentamientos que modifiquen la estructura molecular de las arcillas) son adecuados para las arcillas profundas expansivas.

Métodos de estabilización de suelos

Estabilización con cloruro de calcio (CaCl₂)

MTC (2014), sostiene que el cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque también se puede obtener de algunos arroyos y pozos naturales siendo la fuente más común el obtenido en la elaboración de carbonato de sodio mediante procedimientos químicos. La solubilidad del cloruro de calcio es de 60 g aproximadamente, por cada 100 c.c. de agua destilada a 0 °C, o de 159 g aproximadamente, por cada 100 c.c. de agua destilada a 100 °C.

Se ha demostrado que con la adición de cloruro de calcio disminuyen las fuerzas de repulsión entre las arcillas; pero en algunos libros se asegura que la película de agua que rodea a las partículas se ve eléctricamente reforzada con la adición del cloruro de calcio, a tal grado que se incrementa notablemente la cohesión aparente. Se ha encontrado un incremento en los pesos volumétricos hasta en un 11% con la adición de 0.5 a 3% de cloruro de calcio, según el tipo de suelo. Sin embargo, existen datos que reporta disminuciones en el peso volumétrico con respecto a un suelo arcilloso que no contenga cloruro de calcio.

Así también, se tiene que el cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo, pero desafortunadamente esta sal es fácilmente lavable. Se reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente.

Dicha humedad puede mantenerse en sus dos terceras partes durante el día de calor seco, lo cual hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo en terracerías. Sin embargo, existen limitaciones para el empleo del cloruro de calcio, entre las más importantes están:

- Que en el medio ambiente se tenga una humedad relativa superior a 3%.
- Que se tengan minerales que pasen por la malla 200 y que estos reaccionen favorablemente con la sal.

Estabilización con silicato de sodio Na_2SiO_3 (vidrio líquido)

MTC (2014), indica que el silicato de sodio pertenece al grupo de compuestos químicos que poseen un amplio intervalo en sus propiedades físicas y químicas. Se le ha empleado como adhesivo, cementante, detergente, defloculante, catalizador, etc., en solución es incoloro e inodoro y actúa en términos generales, como un jabón fuerte. Causa serios daños a los ojos si se llega a introducir en ellos.

La estabilización con silicato de sodio para su uso en carreteras se ha empleado en el mundo desde 1945, aproximadamente, y parece ser que los mejores resultados se han obtenido en el caso de suelos arenosos y climas moderados.

Desde 1945 se ha investigado la efectividad del silicato de sodio como estabilizante de suelos, algunas veces se empleó sólo y otras, junto con otros productos químicos. Sin embargo, los éxitos logrados fueron en el caso de suelos arenosos y en climas moderados. Para estabilizar suelos de otro tipo diferente al arenoso se necesitaría emplear el silicato de sodio con otros productos químicos.

Estabilización con métodos químicos

MTC (2014), sostiene que en la actualidad se ha aplicado un gran número de productos químicos con el fin de lograr estabilizar los suelos, la mayoría de los productos empleados han generado resultados satisfactorios. Aunque es poco común el empleo de químicos para la estabilización, está adquiriendo bastante difusión y experimentación.

De los productos químicos que han sido efectivos en la estabilización de suelos; algunos son económicamente competitivos contra los productos más comunes empleados para el mismo fin. Por lo que, se debe tener la asesoría de especialistas en la materia, tanto durante la etapa de diseño, como en la etapa de construcción de la estabilización.

Estabilización con cloruro de sodio NaCl (sal)

MTC (2014), indica que el cloruro de sodio (NaCl) se presenta en forma de cristales fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y fáciles de conseguir. Con la adición de cloruro de sodio al agua se puede abatir la temperatura de congelamiento de esta última. Las soluciones que contienen NaCl disueltas presentan una mayor tensión superficial que en el caso del agua destilada y en 1% de sal incrementa la tensión superficial en 1 a 2 dinas por cm².

La adición de cloruro de sodio al agua abate la presión de vapor. Los cambios en el agua, debidos a la adición de cloruro de sodio, tanto en el punto de congelación como en la tensión superficial y la tensión de vapor, dependen de la solubilidad de la sal. El cloruro de sodio se adiciona al agua en pequeños porcentajes, ésta se disuelve rápidamente, pero a medida que el porcentaje adicionado va siendo más elevado.

Se disuelve con más dificultad y se tendrá un cierto porcentaje más allá del cual el cloruro de sodio ya no se disuelve. Existe en la superficie de las partículas arcillosas una doble capa de iones adsorbidos, en el cual la energía potencial existente se disipa a partir de dicha superficie, hasta que en una cierta distancia se tenga el mismo potencial que el líquido circundante.

La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que la rodean, para reducir el punto de evaporación y mejorar la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, se produce una acción cementante.

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.

Es de suma importancia tener conocimiento de la reacción íntima entre la sal y el suelo, así como la permanencia a través del tiempo de la estabilización lograda y los efectos colaterales que causaría, en algunos elementos de la estructura del camino.

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.

Cloruro de sodio

Osorio, J. (2013), indica que el cloruro de sodio es un compuesto químico de fórmula NaCl. Las sales se caracterizan por sus enlaces iónicos, lo cual da lugar a puntos de fusión relativamente altos, conductividad eléctrica en disolución o fundidas y estructura cristalina en estado sólido. El cloruro de sodio es un sólido incoloro, soluble en agua fría o caliente, ligeramente soluble en alcohol e insoluble en ácido clorhídrico concentrado.

En su forma cristalina es transparente, con un brillo parecido al hielo. Generalmente, contiene impurezas de cloruro de magnesio ($MgCl_2$), sulfato de magnesio ($MgSO_4$), sulfato de calcio ($CaSO_4$), cloruro de potasio (KCl) y bromuro de magnesio ($MgBr_2$).



Figura 2. Estructura del cloruro de sodio

Fuente: <http://ichn.iec.cat/bages/geologia>

La sal se halla ampliamente distribuida en la naturaleza. Se encuentra diluida en el agua de los océanos en concentraciones que alcanzan los 30 g/L de agua y constituye un 3% de la masa del agua de los océanos. También se encuentra distribuida por ríos, lagos y mares interiores en concentraciones que varían entre el 0.002% y 30%.

Asimismo, forma capas en pantanos y en el fondo de lagos secos, sobre todo en zonas extremadamente áridas. Mineral halita, conocido comúnmente como sal de piedra, aparece en lechos de ríos y lagos, depositado por la deshidratación de antiguas masas de agua salada.

La sal se forma constantemente por la acción ríos y corrientes sobre rocas que contienen cloruros y compuestos de sodio. El método más simple de obtener sal en las zonas cercanas a los mares es por evaporación del agua salada, pero este método es costoso. En la mayoría de los casos se obtiene de depósitos subterráneos mediante técnicas de minería o a través de pozos excavados en dichos depósitos.

Propiedades del cloruro de sodio

Las siguientes propiedades del cloruro de sodio utilizado:

Cloruro de sodio:

- ❖ Nombre comercial: CLORURO DE SODIO
- ❖ Sinónimos: sal de mesa, halita, sal de mar
- ❖ Peso molecular: 58.44
- ❖ Familia química: haluros, sal inorgánica
- ❖ Fórmula: NaCl

Identificadores:

- ❖ Número CAS: 7647-14-5
- ❖ Número RTECS: VZ4725000

Propiedades físicas:

Estado de agregación: sólido

- ❖ Apariencia: incoloro; aunque parece blanco si son cristales finos o pulverizados
- ❖ Olor: Inodoro
- ❖ Densidad: 2200 kg/m³, 2.2 gr/cm³
- ❖ Masa: 58.4 uma
- ❖ Punto de Fusión: 1074K (801 °C)
- ❖ Punto de ebullición: 1738 K (1465 °C)
- ❖ Punto de descomposición: 0K (-273.16 °C)
- ❖ Temperatura crítica: 0K (-273.16°C)
- ❖ Presión de vapor: 1 atm @ 463 °C
- ❖ Densidad relativa: 1.165
- ❖ Solubilidad en agua: muy soluble
- ❖ Reactividad en agua: ninguna

Componentes

99% cloruro de sodio.

Riesgo

- ❖ Salud: ligero
- ❖ Inflamabilidad: ninguna
- ❖ Reactividad: ninguna

Tabla 1. Características del cloruro de sodio (NaCl)

Características	Limites
Cloruro de sodio, %	98.00 – 99.70
Humedad, %	2.00 – 3.60
Materia insoluble, %	0.007 – 0.175
Ion calcio, %	0.035 – 0.910
Ion magnesio, %	0.002 – 0.074
Ion Sulfato, %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm (N° 4)	20 – 55%
Tamiz 1.18 mm (N° 16)	50 – 70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (N° 16)	13% max

Fuente: www.itson.mx/laboratorios

Comportamiento de los suelos estabilizados con cloruro de sodio

Rivera, L. (2010), indica que las investigaciones sobre el tema de estabilización de suelos con cloruro de sodio que presentan un detalle del comportamiento esfuerzo-deformación son escasas. Existen autores que han estudiado el efecto del cloruro de sodio en las propiedades de los suelos, principalmente en las propiedades físicas y entre las principales observaciones. Se pueden citar las siguientes:

1. El peso volumétrico seco y la resistencia a la compresión se incrementan al adicionar cloruro de sodio hasta un 3%.
2. El límite líquido y el índice plástico se reducen al adicionar cloruro de sodio.
3. La cohesión y el ángulo de fricción interna parecen disminuir al adicionar cloruro de sodio en especímenes en los que no se permita la pérdida de humedad. Si se permite el secado antes de ensayar los especímenes, tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna aumentan de manera importante.
4. Las partículas de roca caliza parecen solubles a soluciones de cloruro de sodio.
5. La capacidad de retención de humedad aumenta en los suelos tratados con cloruro de sodio.
6. Se aumenta significativamente la tensión superficial del agua que puede, después del endurecimiento, ser responsable del aumento de la densidad del suelo hasta un 15% sobre aquella de un suelo sin tratar.
7. La cristalización durante el tiempo seco cementa las partículas de suelo en la superficie de los suelos. La expansión de estos cristales, a medida que se forman, llena los espacios vacíos del suelo y reduce el secado posterior.

Al analizar estudios realizados se evidencia que no todos los suelos responden de manera adecuada a la adición de cloruro de sodio, para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

Cambio en el peso volumétrico con la adición de sal

Villa, L. (2015), sostiene que, con respecto a la estabilización de suelos con cloruro de sodio, se ha discutido mucho sobre el cambio en el peso volumétrico de un material con la adición de sal. Mientras algunos investigadores aseguran un pequeño incremento, otros no apoyan esa teoría. Se sabe que la adición de cloruro de sodio hace que disminuya la humedad óptima.

Se admite teóricamente que el cloruro de sodio ocasiona que los suelos se estructuren en forma dispersa y produce así un acercamiento entre las partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico, pero en la práctica este criterio no se ha verificado en todos los casos analizados.

Formas de aplicar el cloruro de sodio a los suelos

Bañon y Bevia (2010), sostienen que la estabilización con cloruro de sodio mejora algunas propiedades de los suelos a utilizar en bases y sub-bases. 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.

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, en salmuera.

En Grano:

Esta forma de emplear consiste en aplicar un porcentaje de cloruro de sodio directamente al suelo, que homogenice de forma uniforme. 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.

En salmuera:

Una de las principales propiedades del cloruro de sodio es que puede disolverse en agua fácilmente, es una ventaja para aplicar satisfactoriamente el porcentaje adecuado al suelo. Al diluir el cloruro de sodio en agua es más fácil aplicarlo al suelo y homogeneizarlo. 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.

Operacionalización de variable

Tabla 2. Variable Dependiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Resistencia del material estabilizado.	Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. (Juárez E. 1973).	Es el esfuerzo máximo que puede soportar una muestra de material compactado bajo la carga unitaria de un pistón metálico, de 0.5 pulgadas cuadradas de área.	%
Durabilidad del material estabilizado.	Es la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas. (MTC E 209-2000).	Es la capacidad del material para resistir la desintegración por la acción de la solución saturada del sulfato de magnesio.	Ciclo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Variable Independiente

VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Dosificación del cloruro de sodio.	Dosificación en porcentajes de cloruro de sodio para la combinación con el material extraído de la cantera de Challhua.	Porcentaje: 0, 2, 4, y 6% de Cloruro de sodio.

Fuente: Elaboración propia

Se plantea como hipótesis la adición del cloruro de sodio en 2, 4 Y 6% en el agregado de la cantera de Challhua, mejora la estabilización y durabilidad de la sub base en la ciudad de Huaraz - 2017.

El objetivo general del siguiente estudio es determinar la estabilización y durabilidad de la sub base con el uso del agregado de la cantera de Challhua con la adición al 2, 4 y 6% de cloruro de sodio, Huaraz – 2017. Y como objetivos específicos:

Determinar las características y propiedades del agregado de la cantera de Challhua.

Determinar las características y propiedades del agregado, con los porcentajes 0%, 2%, 4% y 6% de cloruro de sodio.

Con la mejor dosificación de la estabilización con cloruro de sodio, realizar el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio para determinar la resistencia a la desintegración del agregado.

II. METODOLOGÍA

La Investigación es **Aplicada, explicativa y de enfoque cuantitativo**. En la presente investigación se aplicó una de las nuevas tecnologías halladas en la estabilización, que cumplió con los estándares de calidad y normativa. Ya que esto nos permitió utilizar el cloruro de sodio para mejorar la sub base del pavimento. Además, con el uso del sulfato de magnesio se suministra una información útil para juzgar la calidad del agregado.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, se estudia las variables y sus indicadores objetivamente, midiendo y registrando sus valores respuesta en los instrumentos de recolección de datos (guías de observación). La hipótesis planteada se comprobó por medios matemáticos y estadísticos el cual constituye la base alrededor de la cual se diseña todo el experimento.

El diseño que le corresponderá a esta investigación será experimental, porque se adiciono en porcentajes de 2, 4 y 6% el cloruro de sodio para evaluar su efecto en el agregado de la sub base y el uso del sulfato de magnesio para medir su resistencia a la desintegración.

La población está constituida por los agregados explotados por la cantera de Challhua.

Se extrajo 3 muestras representativas de la cantera de Challhua para la elaboración de la investigación.

Se aplicó como técnica la observación ya que la percepción del material debe ser registrada en forma cuidadosa y experta. Todo lo observado se puso escrito lo antes posible. Para esto se utilizó como instrumento una guía de observación resumen porque me permitió elaborar sistemas de organización y clasificación de la información de los diversos ensayos.

Técnica

Instrumento

Observación

Guía de observación Resumen.
Fichas técnicas del laboratorio de los ensayos.

- Se elaboraron guías de observación, para tomar datos recolectados en el laboratorio.
- Las guías fueron tomadas con respecto a los siguientes ensayos:
 - ❖ Análisis Granulométrico por Tamizado.
 - ❖ Ensayo Limites de Atterberg.
 - ❖ Ensayo de Compactación (Proctor modificado)
 - ❖ Ensayo de CBR (Ensayo de Relación de Soporte de California).
 - ❖ Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio
- Guía de registro, para ver el avance de las dosificaciones.
- Computadora para analizar los resultados arrojados en el laboratorio.
- Materiales necesarios para la elaboración de la estabilización de la sub base.

Para la presente investigación el procesamiento de datos fue posterior a los ensayos respectivos apoyados en una hoja de cálculo Excel y el software SPSS.

En el análisis de los datos se tuvo presente:

- Los métodos estadísticos, tanto descriptivos como inferenciales para la presentación, descripción, análisis e interpretación de datos obtenidos en la observación por cada indicador ensayado. Los datos fueron analizados con una tabla, gráfico, media, varianza y porcentajes.

III. RESULTADOS

Las características y propiedades de la muestra patrón de la cantera de Challhua son:

Análisis granulométrico por tamizado

El material utilizado para esta estabilización contiene los siguientes datos: (Este ensayo fue realizado acorde a la NTP 400.012 y MTC E 204 requeridas por el laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la Universidad San Pedro).

- ✓ Grava: 14.43%
- ✓ Arena: 65.63%
- ✓ Finos: 19.94%

Además, se verifico que la muestra según la clasificación de suelos se encuentra:

- ✓ Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S): en el grupo SM.
- ✓ Clasificación A.A.S.H.T.O.: en el sub grupo A-2-4.

Gráfico de análisis granulométrico por tamizado

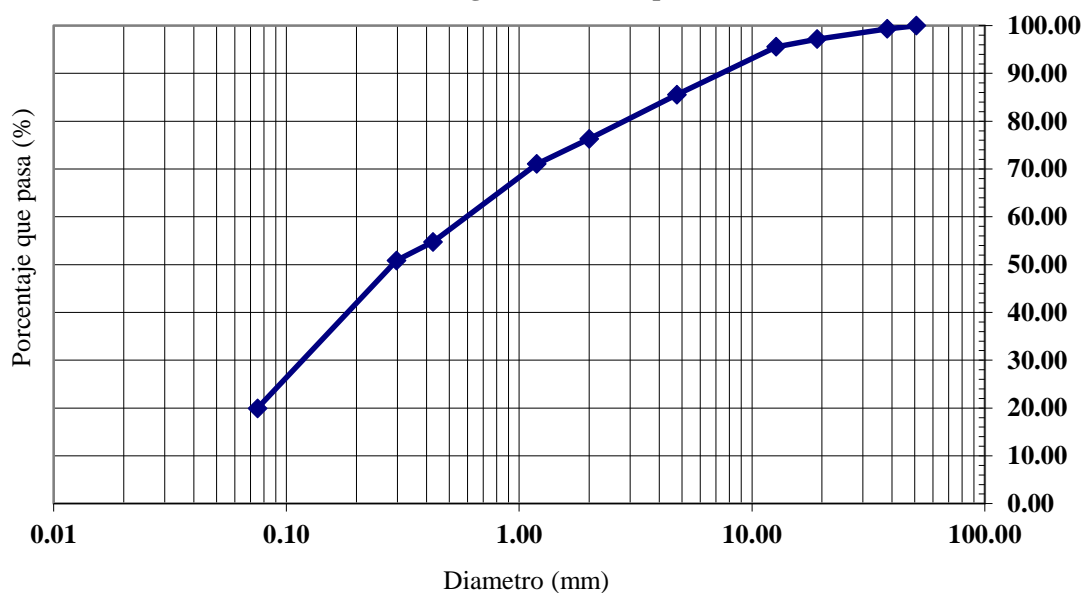


Figura 3. Curva granulométrica.

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Ensayo límites de Atterberg

El material por ser granular no presenta límites de Atterberg en ninguno de los porcentajes de cloruro de sodio.

Ensayo de compactación (proctor modificado con 0% de NaCl)

El ensayo de compactación realizado con 0% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Tabla 4. Proctor 0% de NaCl

Proctor con 0% NaCl	
C. Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)
17,4	1,200
21,8	1,208
25,7	1,195
27,0	1,192

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

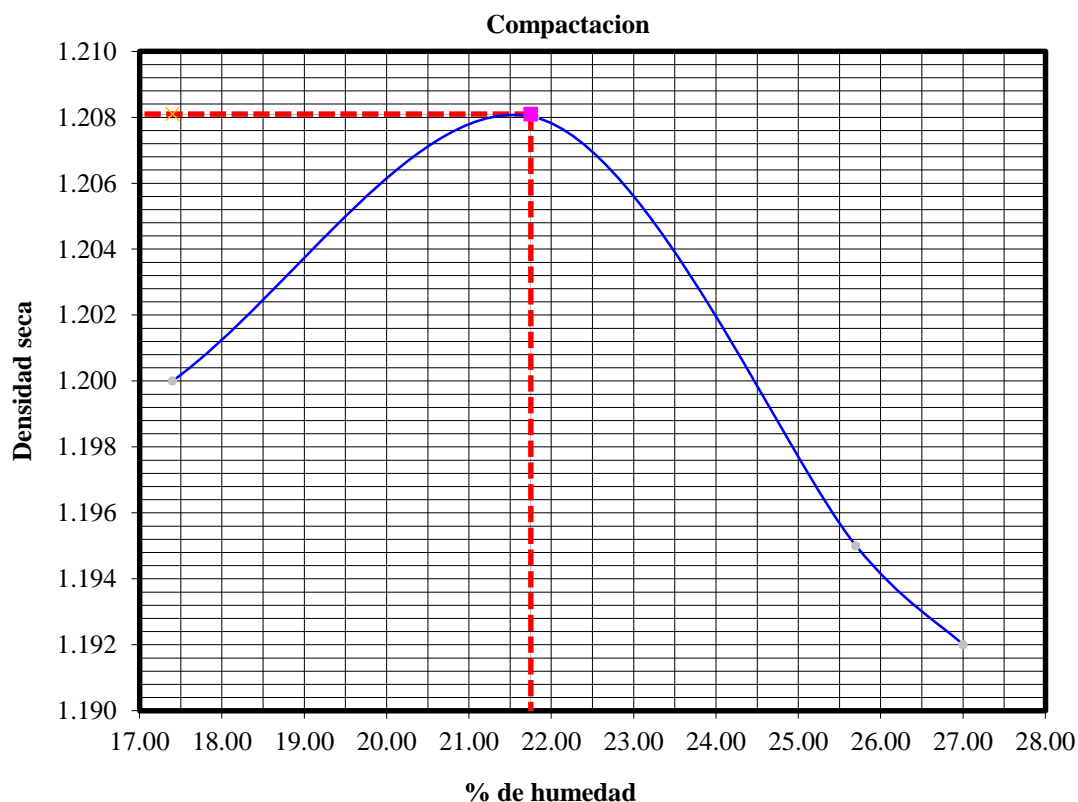


Figura 4. Grafica de densidad seca – humedad.

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

- ✓ Densidad seca máxima γ_d : $1207,502 \text{ Kg/m}^3 = 1,208 \text{ gr/cm}^3$.
- ✓ Humedad óptima: 21,8%

Ensayo de CBR (CBR con 0% de NaCl)

El ensayo de CBR realizado con 0% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Humedad óptima: 21,8%

Tabla 5. CBR 0% de NaCl

Golpes	A la compactación		C	Expansión	C.B.R.
No.	H(%)	γ_d (gr/cm ³)	(%)	(%)	(%)
12	20,83	1,052	87,10	0,00	56,8
25	20,84	1,129	93,44	0,00	87,6
56	20,81	1,205	99,76	0,00	96,8

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

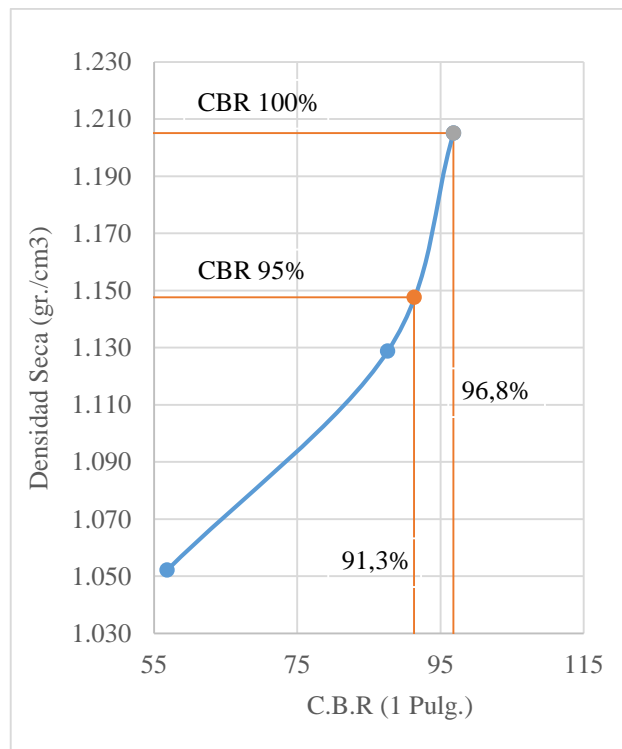


Figura 5. Grafica de densidad seca – CBR (1pulg.).

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración:

56 golpes:

- Penetración 0,1": 2904 lb
- Penetración 0,2": 3888 lb

25 golpes:

- Penetración 0,1": 2628 lb
- Penetración 0,2": 3101 lb

12 golpes:

- Penetración 0,1": 1704 lb
- Penetración 0,2": 2108 lb

Datos obtenidos % CBR vs % Compactación:

- % Compactación:

12 golpes: 87,10

25 golpes: 93,44

56 golpes: 99,76

- % CBR:

12 golpes: 56,8

25 golpes: 87,6

56 golpes: 96,8

Las características y propiedades del agregado, con los porcentajes 2, 4 y 6% de la cantera de Challhua son:

Ensayo de compactación (proctor modificado con 2% de NaCl)

El ensayo de compactación realizado con 2% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Tabla 6. Proctor 2% de NaCl

Proctor con 2% NaCl	
C. Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)
9,3	1,163
11,7	1,193
14,1	1,211
17,8	1,187

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

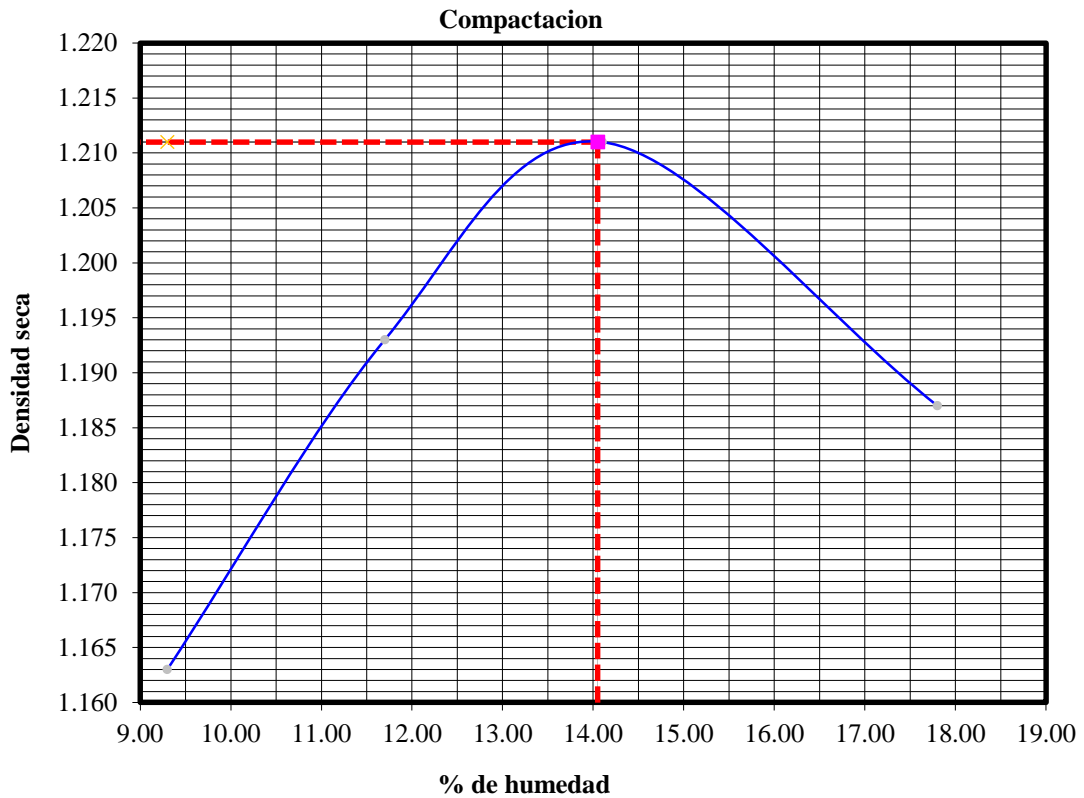


Figura 6. Grafica de densidad seca – humedad.

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

- ✓ Densidad seca máxima γ_d : $1211,089 \text{ Kg/m}^3 = 1,211 \text{ gr/cm}^3$.
- ✓ Humedad óptima: 14,1%

Ensayo de CBR (CBR con 2% de NaCl)

El ensayo de CBR realizado con 2% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Humedad óptima: 14,1%

Tabla 7. CBR 2% de NaCl

Golpes	A la compactación		C	Expansión	C.B.R.
No.	H(%)	γ_d (gr/cm³)	(%)	(%)	(%)
12	13,38	1,075	88,75	0,00	28,1
25	13,36	1,129	93,22	0,00	68,4
56	13,36	1,209	99,86	0,00	99,9

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

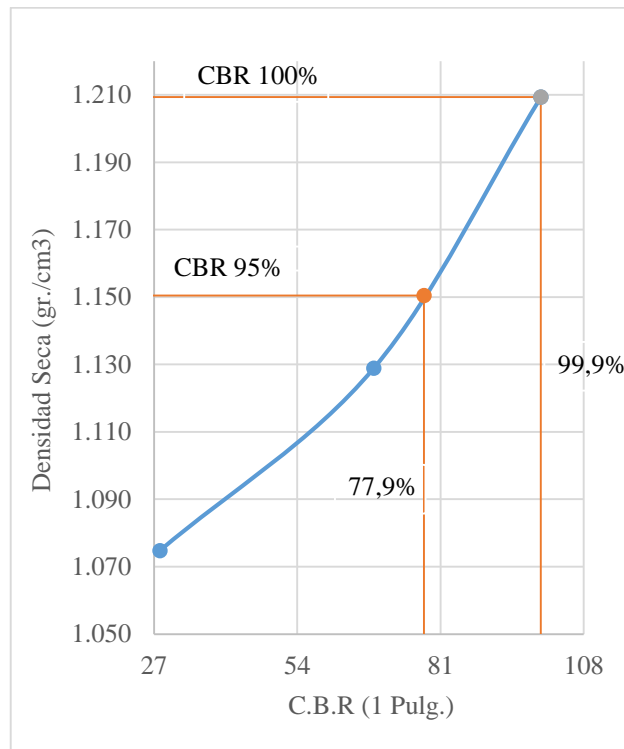


Figura 7. Grafica de densidad seca – CBR (1pulg).

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración:

56 golpes:

- Penetración 0,1": 2997 lb
- Penetración 0,2": 3815 lb

25 golpes:

- Penetración 0,1": 2052 lb
- Penetración 0,2": 3002 lb

12 golpes:

- Penetración 0,1": 843 lb
- Penetración 0,2": 1234 lb

Datos obtenidos % CBR vs % Compactación:

- % Compactación:
 - 12 golpes: 88,75
 - 25 golpes: 93,22
 - 56 golpes: 99,86

- % CBR:
 - 12 golpes: 28,1
 - 25 golpes: 68,4
 - 56 golpes: 99,9

Ensayo de compactación (proctor modificado con 4% de NaCl)

El ensayo de compactación realizado con 4% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Tabla 8. Proctor 4% de NaCl

Proctor con 4% NaCl	
C. Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)
6,3	1,195
9,4	1,200
11,7	1,214
14,6	1,201

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

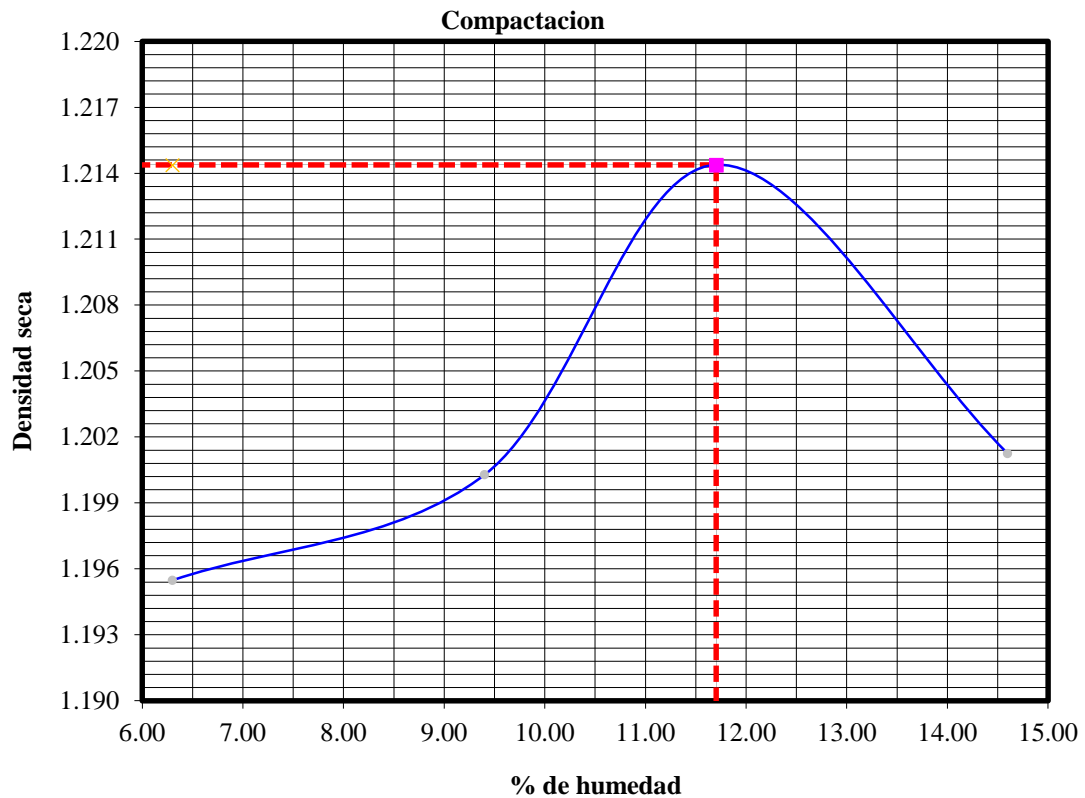


Figura 8. Grafica de densidad seca – humedad.

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

- ✓ Densidad seca máxima γ_d : $1214,378 \text{ Kg/m}^3 = 1,214 \text{ gr/cm}^3$.
- ✓ Humedad óptima: 11,7%

Ensayo de CBR (CBR con 4% de NaCl)

El ensayo de CBR realizado con 4% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Humedad óptima: 11,7%

Tabla 9. CBR 4% de NaCl

GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	H(%)	γ_d (gr/cm ³)	(%)	(%)	(%)
12	11,84	1,048	86,32	0,00	43,1
25	11,83	1,128	92,88	0,00	71,0
56	11,81	1,184	97,55	0,00	96,2

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

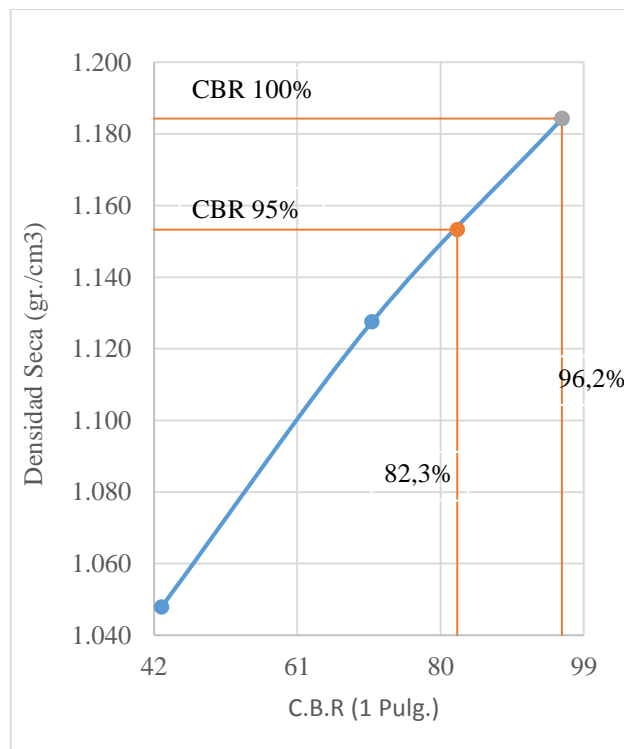


Figura 9. Grafica de densidad seca – CBR (1 pulg.).

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración:

56 golpes:

- Penetración 0,1": 2886 lb
- Penetración 0,2": 3644 lb

25 golpes:

- Penetración 0,1": 2130 lb
- Penetración 0,2": 2788 lb

12 golpes:

- Penetración 0,1": 1293 lb
- Penetración 0,2": 1597 lb

Datos obtenidos % CBR vs % Compactación:

- % Compactación:

12 golpes: 86,32

25 golpes: 92,88

56 golpes: 97,55

- % CBR:

12 golpes: 43,1

25 golpes: 71,0

56 golpes: 96,2

Ensayo de compactación (proctor modificado con 6% de NaCl)

El ensayo de compactación realizado con 6% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Tabla 10. Proctor 6% de NaCl

Proctor con 6% NaCl	
C. Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)
6,5	1,182
8,2	1,203
9,5	1,219
12,5	1,139

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

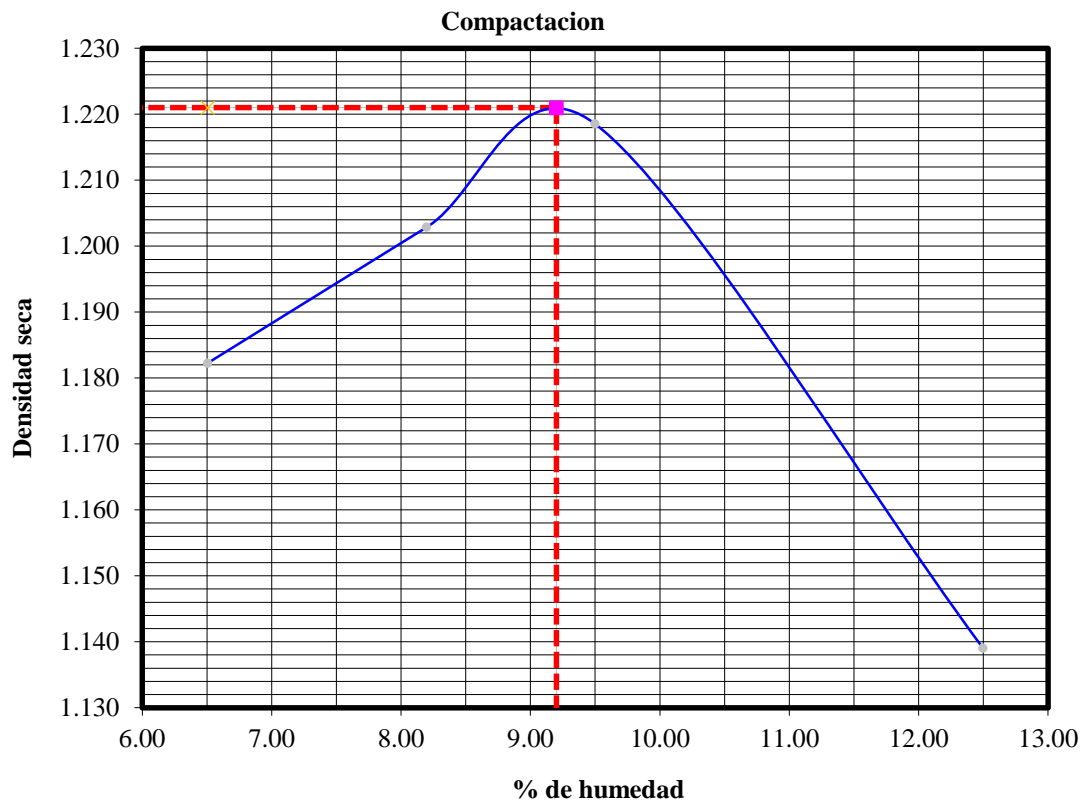


Figura 10. Grafica de densidad seca – humedad.

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

- ✓ Densidad seca máxima γ_d : $1220,824 \text{ Kg/m}^3 = 1,221 \text{ gr/cm}^3$.
- ✓ Humedad óptima: 9,2%

Ensayo de CBR (CBR con 6% de NaCl)

El ensayo de CBR realizado con 6% de Cloruro de sodio, muestra un comportamiento de la siguiente manera:

Humedad óptima: 9,2%

Tabla 11. CBR 6% de NaCl

Golpes	A la compactación		C	Expansión	C.B.R.
No.	H(%)	γ_d (gr/cm³)	(%)	(%)	(%)
12	9,15	1,091	89,39	0,00	36,5
25	9,18	1,129	92,43	0,00	43,9
56	9,15	1,195	97,84	0,00	68,5

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

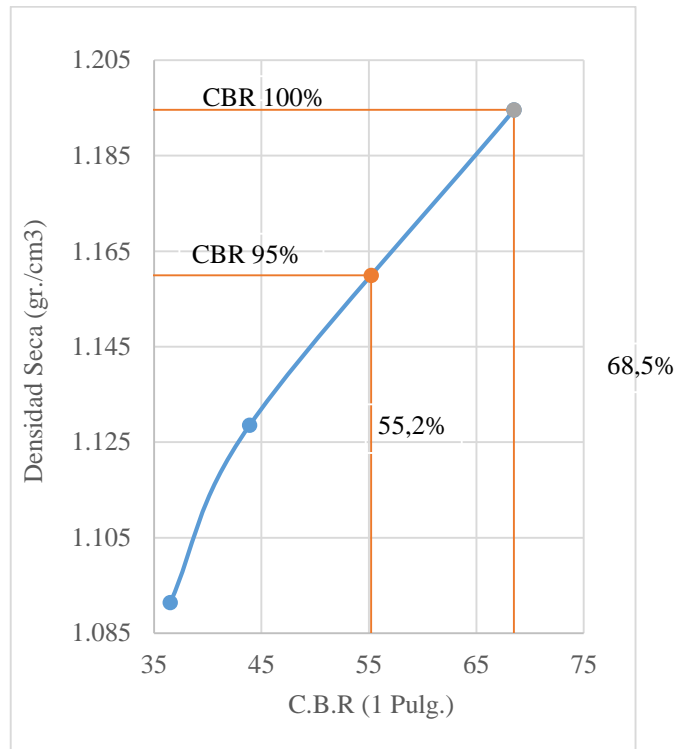


Figura 11. Grafica de densidad seca – CBR (1 pulg.).

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración:

56 golpes:

- Penetración 0,1": 2055 lb
- Penetración 0,2": 2555 lb

25 golpes:

- Penetración 0,1": 1317 lb
- Penetración 0,2": 1608 lb

12 golpes:

- Penetración 0,1": 1095 lb
- Penetración 0,2": 1381 lb

Datos obtenidos % CBR vs % Compactación:

- % Compactación:
 - 12 golpes: 89,39
 - 25 golpes: 92,43
 - 56 golpes: 97,84
- % CBR:
 - 12 golpes: 36,5
 - 25 golpes: 43,9
 - 56 golpes: 68,5

Con la adición del 2% de cloruro de sodio al agregado de la cantera de Challhua se realizó el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio (con 2% de NaCl)

A la estabilización del material con 2% de Cloruro de sodio, se realizó el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio, donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 12. Análisis del agregado grueso.

Agregado Grueso									
	Tamaño	%	Peso (gr) Requerido	Peso (gr) Inicial	Peso (gr) Final	Perdidas		Gradación Original	Perdidas Correg. (%)
						Peso (gr)	%		
1	2" a 1 1/2"	40	2000 ± 200	2091,0	1856,0	235	11,24	0,340	3,821
2	1 1/2" a 1"	67	1000 ± 50	1063,7	1025,4	38,3	3,60	0,214	0,771
	1" a 3/4"	33	500 ± 30	545,1	534,9	10,2	1,87	0,153	0,286
3	3/4" a 1/2"	67	670 ± 10	658,7	478,3	180,4	27,39	0,108	2,958
	1/2" a 3/8"	33	330 ± 5	342,1	289,4	52,7	15,40	0,073	1,125
4	3/8 a N°4		300 ± 5	300,0	289,2	10,8	3,60	0,112	0,403
								<i>Pérdidas totales</i>	<i>9,364</i>

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Tabla 13. Análisis cualitativo del agregado grueso.

Análisis Cualitativo Del Agregado Grueso							
Alteración De Partículas Después Del Ensayo							
Tamaño	Rajadas		Fracturadas		Laminadas (Escamosas)		Nº Inicial De Partículas
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
2" a 1 1/2"	1	6,67	-		-		15
1 1/2" a 1"	2	10,0	1	5,00	1	5,00	20
1" a 3/4"	1	3,03	2	6,06	-		33

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Tabla 14. Análisis del agregado fino.

Agregado Fino							
Tamaño	Peso Requerido(gr)	Peso Inicial(gr)	Peso Final(gr)	Perdidas		Gradación Original	Perdidas Correg. (%)
				Peso (gr)	%		
3/8" a N°4	100	100	91,9	8,10	8,10	0,117	0,95
N°4 a N°8	100	100	87,9	12,10	12,10	0,029	0,35
N°8 a N°16	100	100	84,2	15,80	15,80	0,137	2,16
N°16 a N°30	100	100	85,9	14,10	14,10	0,096	1,35
N°30 a N°50	100	100	83,2	16,80	16,80	0,044	0,74
N°50 a N°100	-	-	-	-	-	0,168	-
Pasa N°100	-	-	-	-	-	0,415	-
						Pérdidas totales	5,56

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Ensayo de compactación (proctor modificado)

Tabla 15. Densidad seca máxima y humedad óptima con adición de NaCl.

Cloruro de Sodio (%)	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima gr/cm ³
0	21,8	1,208
2	14,1	1,211
4	11,7	1,214
6	9,2	1,221

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 15 muestra la variación en la humedad óptima y la densidad seca máxima con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (NaCl).

En la figura 12 se muestra la curva de densidad seca máxima y humedad óptima obtenida con diferentes porcentajes de NaCl.

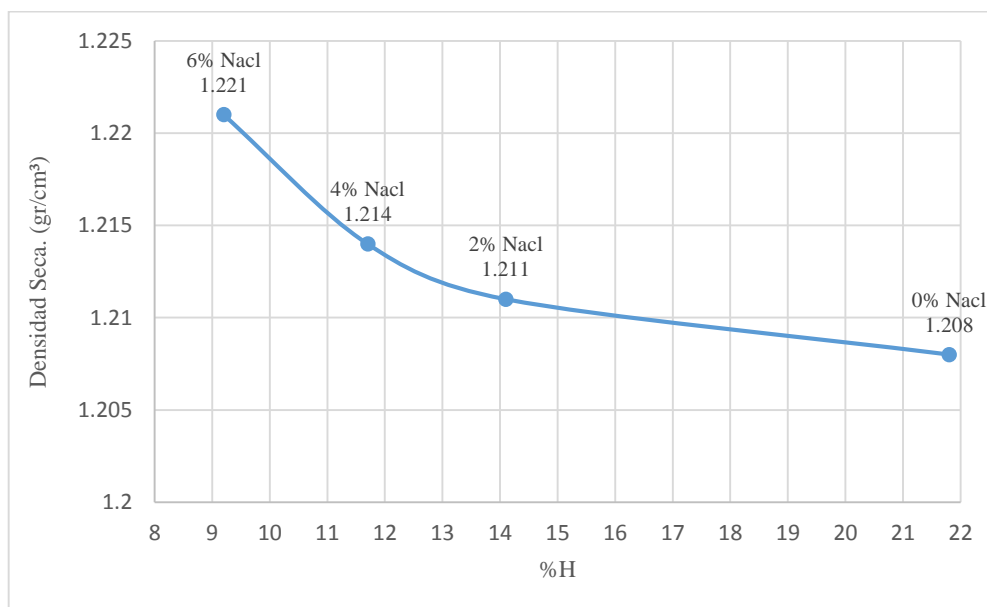


Figura 12. Grafica de densidad seca - humedad a diferentes % de NaCl.

Fuente: Elaboración propia.

Al aumentar el porcentaje de cloruro de sodio (NaCl), el material cambia su comportamiento, cuando se aumenta el contenido de NaCl en la muestra de suelo, aumenta la Densidad Seca Máxima y se reduce la Humedad Óptima de compactación.

Tabla 16. Densidad Seca Máxima - % NaCl.

Cloruro de Sodio (%)	Densidad Seca Máxima gr/cm ³
0	1,208
2	1,211
4	1,214
6	1,221

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 16 muestra un resumen de la variación en la densidad seca máxima que tiene el suelo compactado con el aumento de cloruro de sodio (NaCl).

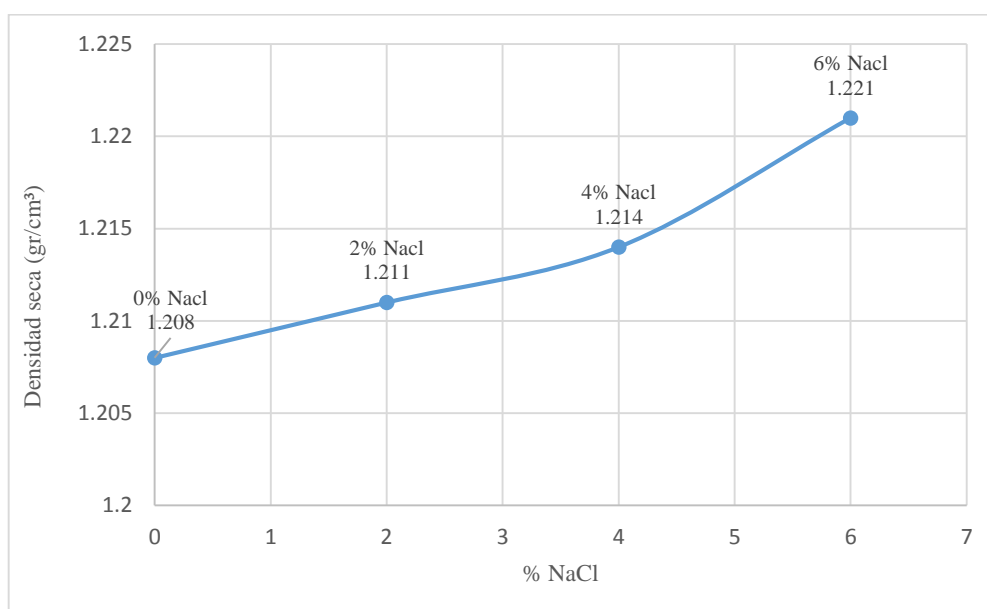


Figura 13. Comportamiento de densidad seca máxima - % de NaCl.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 13 muestra que al aumentar el porcentaje de NaCl en el suelo, se aumenta la densidad seca máxima en el ensayo proctor modificado, el incremento en la densidad del suelo es constante al agregar porcentajes de NaCl de 2% y 4%. Sin embargo, al agregar un 6% la densidad se incrementa de manera mayor a los incrementos anteriores.

Tabla 17. Humedad optima - % NaCl.

Cloruro de Sodio (%)	Humedad Óptima (%)
0	21,8
2	14,1
4	11,7
6	9,2

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 17 muestra la variación en la humedad óptima de la muestra de suelo compactado con el aumento de cloruro de sodio (NaCl).

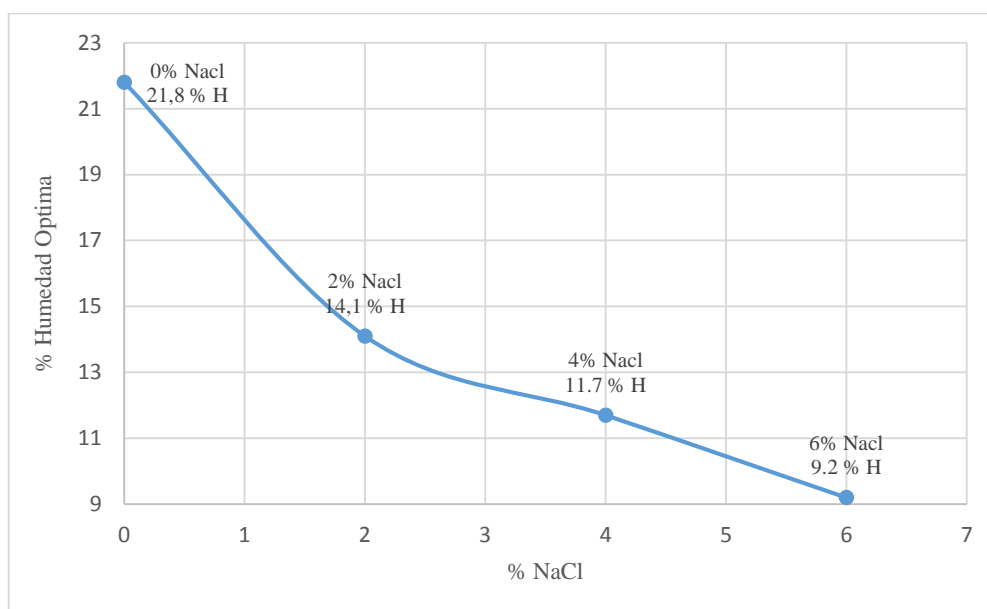


Figura 14. Comportamiento de humedad optima - % de NaCl.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 14 indica que al aumentar el porcentaje de NaCl en la muestra de suelo, se disminuye la humedad óptima necesaria para obtener una densidad seca máxima en el ensayo Proctor, pero al agregar un porcentaje de NaCl muy alto, se corre el riesgo de tener una humedad óptima muy baja, con lo cual la compactación no es la adecuada.

Las variaciones de la humedad óptima y la máxima, se debe a que el cloruro de sodio es higroscópico, es decir tiene la capacidad de absorber la humedad del material, por lo que al incrementar los cristales de cloruro de sodio se reduce la humedad óptima.

Y al reducir la humedad se pueden alcanzar mayores o menores densidades (en este caso se aumentó la densidad), la razón de esto es que el agua llena los espacios del suelo ocupados por el aire, permitiendo la mejor acomodación de las partículas, mejorando la compacidad.

El cloruro de sodio al retener la humedad que la rodea crea una capa en la parte superior de la sub base, evitando que la humedad se evapore con facilidad ayudando a obtener una mejor densificación. También se debe a la lubricación que se logra con el cloruro de sodio, reduciendo la fricción intergranular, que presenta el material.

Ensayo de CBR

Tabla 18. Porcentaje de compactación – porcentaje de NaCl.

% NaCl	12 golpes	25 golpes	56 golpes
0	87,10	93,44	99,76
2	88,75	93,22	99,86
4	86,32	92,88	97,55
6	89,39	92,43	97,84

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 18 muestra un resumen de la variación en la compactación del suelo en el ensayo CBR con el aumento de cloruro de sodio.

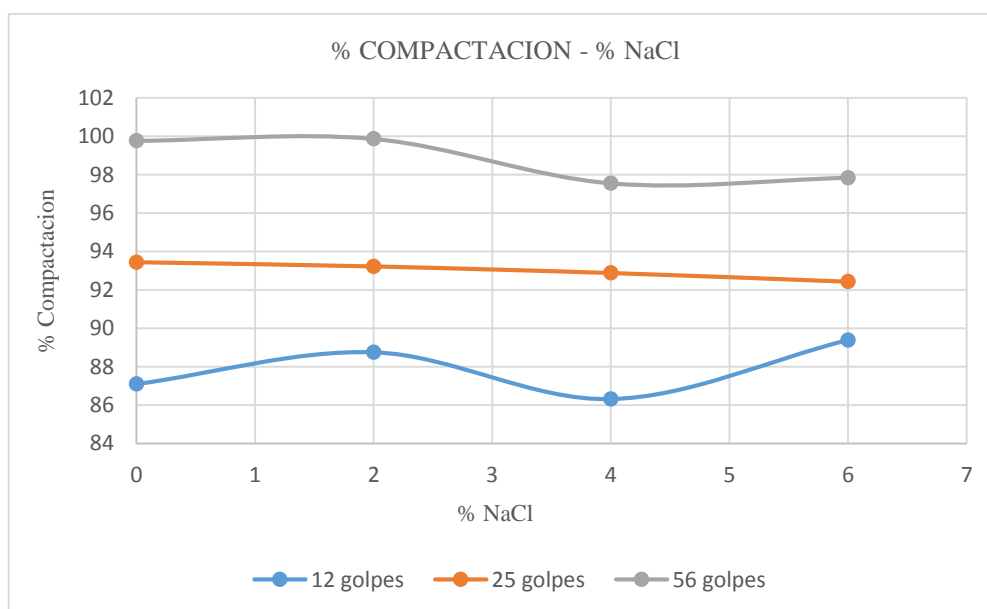


Figura 15. Incidencia de NaCl en la compactación.

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de compactación varía al agregar NaCl al suelo, se puede observar claramente que la resistencia a la compresión aumenta en 2% de NaCl esto se produce porque el cloruro de sodio mejora la densificación con un contenido de humedad óptimo, al agregar más NaCl al suelo la resistencia a la compresión disminuye, sin embargo, al agregar un porcentaje de NaCl mayor a 4% la resistencia a la compresión aumenta una leve proporción y se estabiliza al llegar al 6% de NaCl, dando un comportamiento no uniforme en el suelo en las primeras aplicaciones de Cloruro de Sodio.

El ensayo compactado a 12 golpes es el que presenta una mayor variación en el porcentaje de compactación, el ensayo compactado a 25 golpes mantiene un decremento muy bajo en la compactación, el ensayo compactado a 56 golpes se compacta de forma similar al de 12 golpes, sin embargo, después de aplicar un 4% de NaCl se va estabilizando el porcentaje de compactación.

Tabla 19. Porcentaje de CBR – porcentaje de NaCl.

% NaCl	12 golpes	25 golpes	56 golpes
0	56,8	87,6	96,8
2	28,1	68,4	99,9
4	43,1	71,0	96,2
6	36,5	43,9	68,5

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 19 muestra la variación en el porcentaje CBR con el aumento de cloruro de sodio.

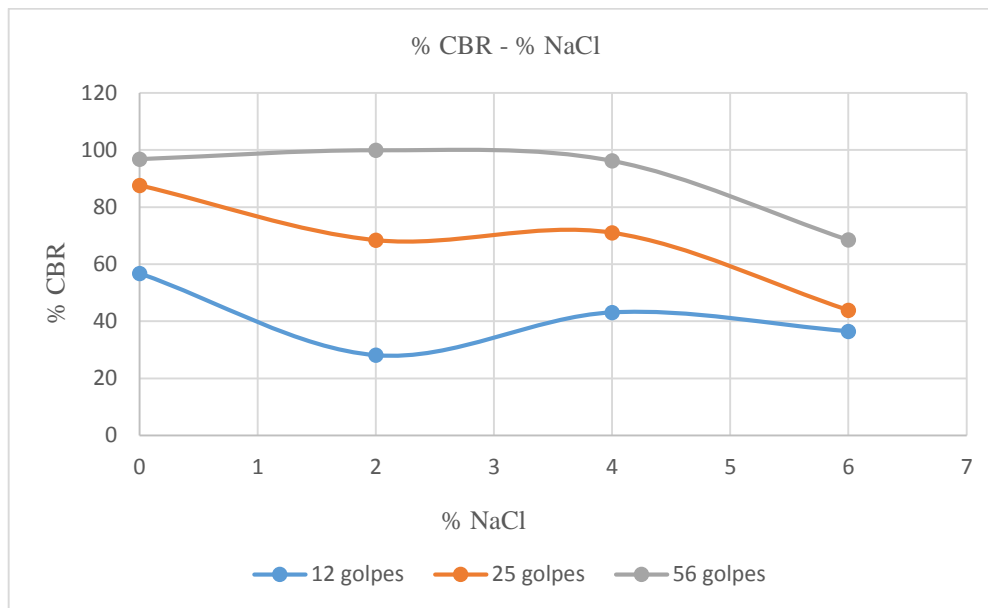


Figura 16. Incidencia de NaCl en el porcentaje CBR.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 16 muestra la variación en el porcentaje de CBR con la adición de NaCl, se observa que a 56 golpes el comportamiento del 2% de NaCl el porcentaje de CBR aumenta, mientras que en 12 y 25 golpes disminuye.

Sin embargo, con una cantidad de 2% y 4% de NaCl el porcentaje de CBR aumenta, pero en 56 golpes disminuye. Al agregar más del 4% de NaCl, el porcentaje de CBR continúa disminuyendo, lo que indica que el contenido de cloruro de sodio de 4% y 6% afecta de forma negativa el porcentaje de CBR.

Tabla 20. Resistencia a corte - % NaCl (56 golpes).

Resistencia a corte vs. % NaCl (56 golpes)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	2904	3888
2%	2997	3815
4%	2886	3644
6%	2055	2555

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 20 muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 56 golpes.

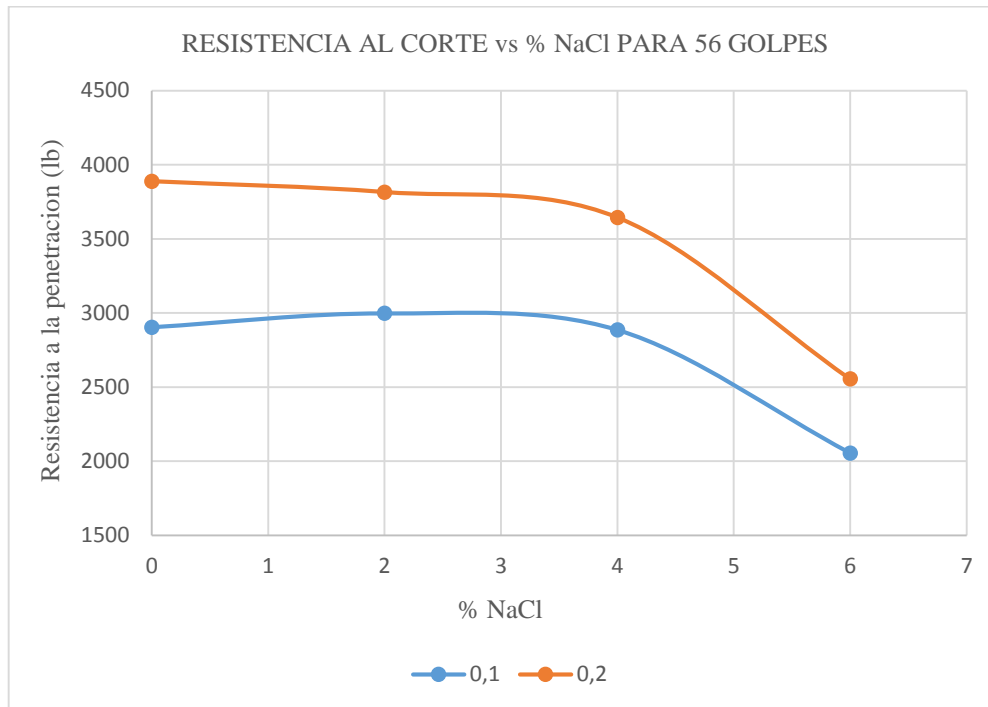


Figura 17. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (56 golpes).

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia al corte en el ensayo de penetración a 0.1" y 0.2" en una probeta compactada a 56 golpes se ve afectada al haber sido sumergida durante cuatro días en agua, esta tiene un ligero aumento en 1", en 2% de NaCl; pero en 2" la resistencia disminuye en todos los porcentajes. Además, al agregar un porcentaje de NaCl mayor a 4% en 1" y 2", la resistencia al corte decrece a una razón mayor que con porcentajes iguales o menores al 4% de cloruro de sodio.

Tabla 21. Resistencia a corte - % NaCl (25 golpes).

Resistencia a corte vs. % NaCl (25 golpes)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	2628	3101
2%	2052	3002
4%	2130	2788
6%	1317	1608

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

La tabla 21 muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 25 golpes.

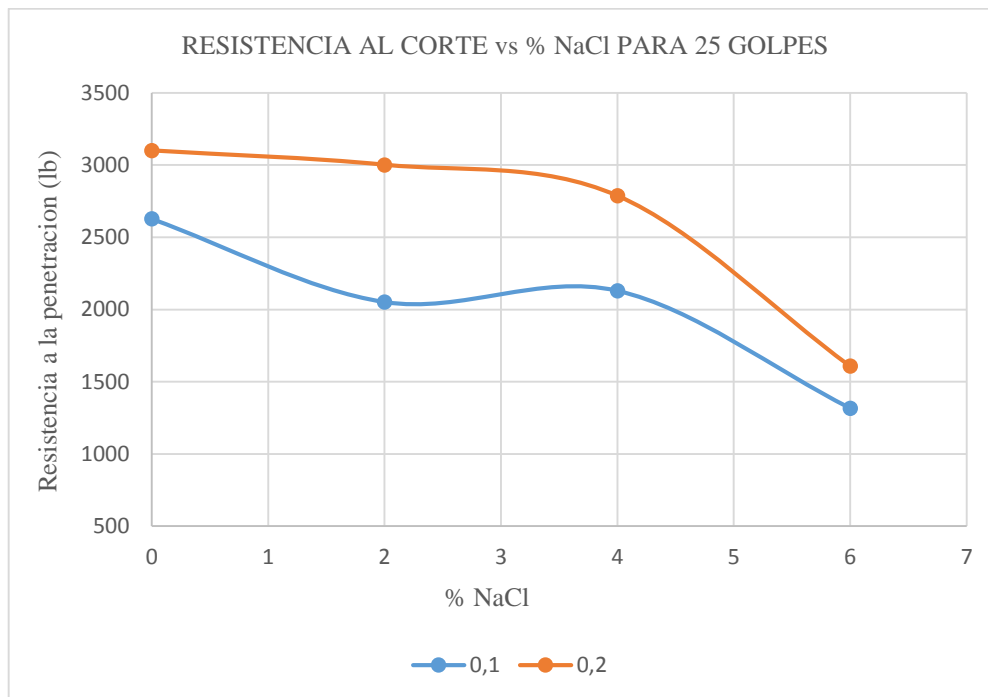


Figura 18. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (25 golpes).

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia al corte en el ensayo de penetración en una probeta compactada a 25 golpes se ve afectada negativamente con la adición de NaCl. Esta resistencia disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua, con cada aumento en el porcentaje de NaCl la resistencia al corte disminuye considerablemente.

Al agregar un porcentaje de NaCl menor a 4%, la resistencia al corte en una penetración de 0.2" decrece a una razón relativamente baja, sin embargo, con porcentajes iguales o mayores al 4% de cloruro de sodio, la resistencia a la misma penetración disminuye considerablemente.

Para una penetración de 0.1" la resistencia al corte se comporta de manera variada, al adicionar NaCl al suelo hasta un 2% la resistencia disminuye en forma considerable, sin embargo, en porcentajes mayores a 2%, pero no mayores a 4% la resistencia tiene un aumento relativamente bajo, al aumentar más de 4% de NaCl, la resistencia vuelve a decrecer.

Tabla 22. Resistencia a corte - % NaCl (12 golpes).

Resistencia a corte vs. % NaCl (12 golpes)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	1704	2108
2%	843	1234
4%	1293	1597
6%	1095	1381

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

La tabla 22 muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 12 golpes.

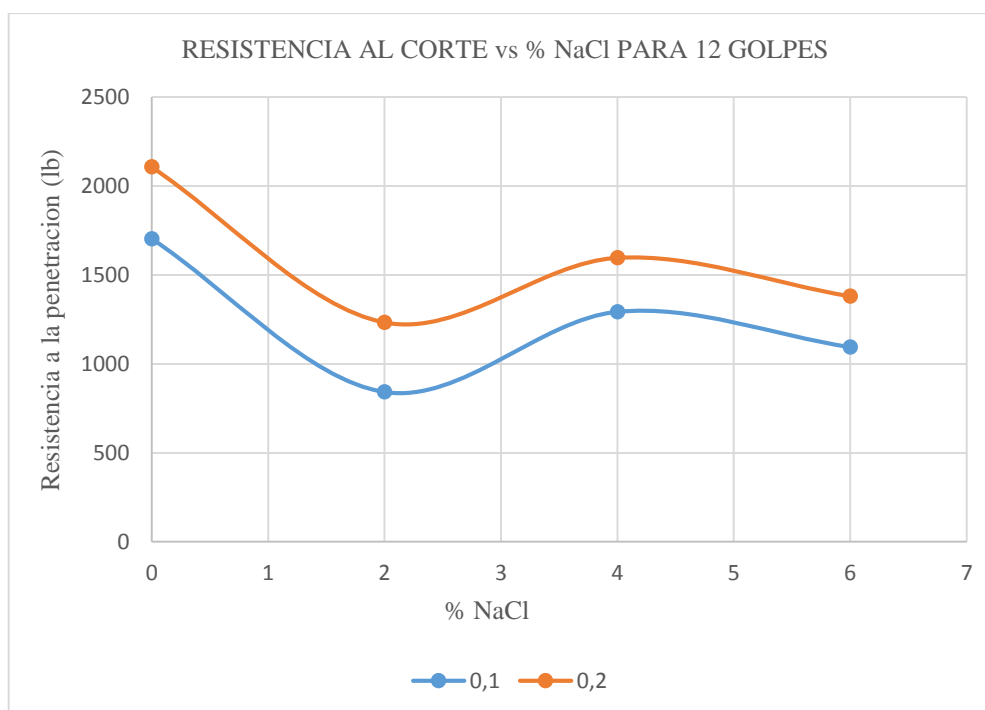


Figura 19. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (12 golpes).

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia al corte en el ensayo de penetración en una probeta compactada a 12 golpes se ve afectada negativamente con la adición de NaCl. Esta resistencia disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua. Al agregar un porcentaje de NaCl no mayor de 2%, la resistencia al corte en una penetración de 0.2" decrece considerablemente.

Sin embargo, con porcentajes mayores a 2% pero no mayores a 4% la resistencia aumenta, si se agrega más del 4% la resistencia al corte vuelve a disminuir. Para una penetración de 0.1” la resistencia al corte se comporta de forma similar la resistencia a una penetración de 0.2”.

Tabla 23. Porcentaje de cloruro de sodio vs CBR al 100%.

% NaCl	CBR al 100%
0%	96,8
2%	99,9
4%	96,2
6%	68,5

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 23 muestra la variación de los porcentajes de cloruro de sodio con los valores del CBR al 100%.

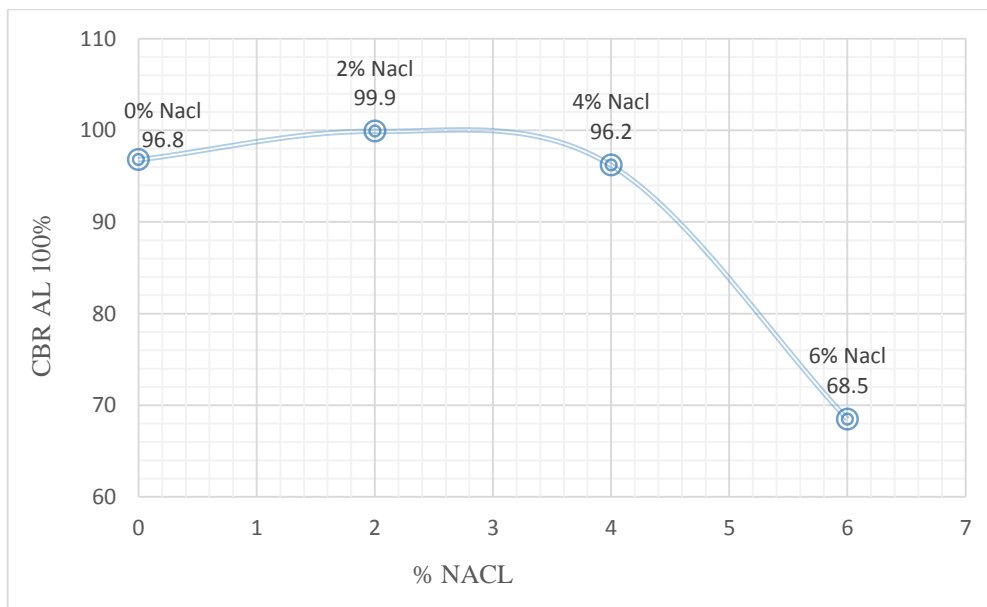


Figura 20. CBR al 100% vs porcentaje de cloruro de sodio.

Fuente: Elaboración propia.

Al agregar un porcentaje de 2% de cloruro de sodio la resistencia del material aumenta, pero para porcentajes mayores a 2% y menores que 4% decrece a una razón relativamente baja. Sin embargo, para porcentajes de 4% y 6% el valor de esta disminuye considerablemente.

El aumento del CBR con el porcentaje de 2% de cloruro de sodio es debido a su propiedad cementante con el cual se mejora la cohesión aumentando su resistencia. Pero con porcentajes de 4% y 6% el cloruro de sodio tiene un efecto negativo debido a que las moléculas del cloruro de sodio con estos porcentajes se activan su efecto corrosivo al ser combinados con las partículas del agregado estudiado.

Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio (con 2% de NaCl)

Tabla 24. Análisis cualitativo del agregado grueso.

Análisis Cualitativo Del Agregado Grueso

Alteración de partículas después del ensayo

Tamaño	Rajadas		Fracturadas		Laminadas (Escamosas)		N° inicial de partículas
	N°	%	N°	%	N°	%	
2" a 1 1/2"	1	6,67	-		-		15
1 1/2" a 1"	2	10,0	1	5,00	1	5,00	20
1" a 3/4"	1	3,03	2	6,06	-		33

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales - USP.

Luego de haber estado 16 horas sumergido en sulfato de magnesio las partículas del agregado grueso tuvieron alteraciones, de 16 partículas de tamaños que están entre 2" a 1 1/2" debido al efecto del sulfato 1 partícula sufrió de rajadura el cual representa el 6,67%; de 20 partículas de tamaños que están entre 1 1/2" a 1" por efecto del sulfato 2 partículas sufrieron de rajaduras, 1 se fracturo y 1 sufrió de laminación (deformación volumétrica) en la cual esta partícula disminuyo su volumen inicial, de las cuales representan el 10, 5 y 5% respectivamente; para tamaños 1" a 3/4" de 33 partículas 1 sufrió de rajadura y 2 se fracturaron representando el 3,03 y 6,06% respectivamente.

A partir de esto se afirma que el agregado grueso al haber sido estabilizada por cloruro de sodio al 2%, tiene una buena durabilidad frente a la acción del sulfato afectando de forma mínima sus partículas.

Tabla 25. Análisis agregado grueso y fino.

Agregado grueso						
Tamaño	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Perdidas		Gradación original	Perdidas corregidas
			Peso (gr)	%		
2" a 1 1/2"	2091,0	1856,0	235	11,24	0,340	3,821
1 1/2" a 1"	1063,7	1025,4	38,3	3,60	0,214	0,771
1" a 3/4"	545,1	534,9	10,2	1,87	0,153	0,286
3/4" a 1/2"	658,7	478,3	180,4	27,39	0,108	2,958
1/2" a 3/8"	342,1	289,4	52,7	15,40	0,073	1,125
3/8 a N°4	300,0	289,2	10,8	3,60	0,112	0,403
Pérdidas totales						9,364
Agregado fino						
Tamaño	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Perdidas		Gradación original	Perdidas corregidas
			Peso (gr)	%		
3/8" a N°4	100	91,9	8,10	8,10	0,117	0,95
N°4 a N°8	100	87,9	12,10	12,10	0,029	0,35
N°8 a N°16	100	84,2	15,80	15,80	0,137	2,16
N°16 a N°30	100	85,9	14,10	14,10	0,096	1,35
N°30 a N°50	100	83,2	16,80	16,80	0,044	0,74
Pérdidas totales						5,56

Fuente: Elaboración propia.

Durante 16 horas el agregado grueso y fino estabilizados con 2% de cloruro de sodio estuvieron sumergidos totalmente en sulfato de magnesio, después de ese tiempo se determinó el porcentaje de pérdida del material que según la norma el máximo valor de pérdida del agregado grueso es el 15% y para el fino es de 18%, entonces según el ensayo realizado para el agregado grueso se tuvo una pérdida total de 9,364% y para el fino es 5,56%. Por lo que, al tener un bajo porcentaje al desgaste, este podrá ser utilizado en climas con muy bajas temperaturas; soportando acción de interperismo físico y químico.

En relación con los antecedentes:

Greter (2010) analizó un suelo arcilloso con un aditivo llamado Rocamix líquido, este tipo de suelo al ser de muy mala calidad se trabajó con porcentajes de acuerdo a su clasificación, la cual al hallar su resistencia a compresión axial simple aumentó en un 50% respecto a su suelo sin estabilizar y el valor de CBR tuvo un aumento del 375% con respecto al suelo natural, por lo que se afirma que este aditivo tuvo una mayor influencia en este tipo de suelo.

Al igual que, **Salcedo y De La Cruz (2016)** ellos estabilizaron un suelo de tipo cohesivo con el aditivo Eco Road 2000 obteniendo un aumento en la resistencia del 40% con respecto a su base; estos aditivos tienen una mejor influencia en el material estabilizado, en comparación del cloruro de sodio que solo aumento el valor del CBR en 3,1% respecto al natural, pero se debe tener en cuenta que el material estabilizado fue otro.

Con respecto **Miranda y Negrete (2011)** estabilizo la rasante de una pavimentación de la vía Pedernales-San Vicente – Ecuador, con cloruro de calcio en porcentajes de 0,5 a 2%, en la cual el CBR no mejoro en ningún porcentaje llegando incluso a ser perjudicial, por lo que una mejor opción sería utilizar cloruro de sodio ya que en esta investigación se obtuvo un mejor resultado.

Garnica y Peres (2002) utilizaron cloruro de sodio para estabilizar un suelo de tipo arcilloso el cual utilizaron porcentajes de 2, 5, 10 y 20%, además la sal se aplicó de 2 formas en una con sal diluida y otra en grano, la cual genero modificaciones en las propiedades del suelo llegando a ser perjudiciales para este, sin embargo, en esta investigación se obtuvo resultados favorables, pero con muy poco incremento de la resistencia, por lo que es muy importante realizar un análisis previo de la influencia del producto estabilizante sobre las propiedades de interés del suelo que se quiere mejorar.

Además, se observó que, con el método de disolución en el agua, la sal no se disuelve adecuadamente, cuando se tiene humedades optimas bajas se tiene una mala homogenización, por lo que la forma más adecuada de adicionar cloruro de sodio es emplearla en grano.

V. CONCLUSIONES

1. El material obtenido de la cantera de Challhua está compuesto por grava, arena y finos en porcentajes de 14,44%; 65,63% y 19,94% respectivamente, además su ubicación en la clasificación de suelos es: SM y en el sub grupo A-2-4, con la cual el material vendría a ser una arena limosa.
2. Al realizar la comparación entre el patrón con el 2, 4 y 6% de NaCl se determinó que el porcentaje compactación y CBR tiene un aumento en sus valores al adicionar 2% de cloruro de sodio: En las características de compactación se obtiene la densidad seca máxima de 1,211 gr/cm³ y la humedad optima de 14,1%; El valor del CBR de la muestra patrón es 96,8% y el valor del CBR de la muestra efectiva es 99,9%, por lo que se tuvo un aumento de 3,1%.
Sin embargo, al adicionar 4 y 6% de cloruro de sodio el valor del CBR disminuye, con valores de 96,2% y 68,5 respectivamente.
3. El ensayo de durabilidad se realizó con 2% de cloruro de sodio en el cual se obtuvo el porcentaje de pérdida del agregado sometido a la acción del sulfato de magnesio siendo estos 9,364% de agregado grueso y 5,56% del agregado fino, por lo que el material tiene alta resistencia al desgaste.

VI. RECOMENDACIONES

1. Al agregar los porcentajes de cloruro de sodio, se recomienda hacerlo en grano cuando el porcentaje sea muy alto, sin embargo, si el porcentaje de sal es inferior al 2%, es preferible disolverlo en agua.
2. Realizar ensayos para tener un mejor resultado de la estabilización, ya que existen diferentes tipos de suelos y cada uno reacciona de diferente manera con porcentajes de sal similares.
3. Evitar el uso de NaCl en un terreno de capilaridad alta, donde haya una fuente de agua a poca profundidad (nivel freático) o en un lugar con infiltración lateral; a menos que se tomen las precauciones adecuadas para interceptar este flujo de agua y drenarlo de la base o sub-base estabilizada, ya que el cloruro de sodio es soluble en agua y se le debe proteger contra la cantidad excesiva de humedad.
4. En el ensayo de durabilidad se debe tener en cuenta el lavado de la muestra antes y después de ser ensayada para evitar sobre estimaciones del peso que se obtiene al final y por ende el porcentaje de desgaste.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bañon, L. y Bevia, J. (2010). *Manual de carreteras*. Perú: Editorial San Marcos.

Céspedes, M. (2003). “*Pavimentos*”. Recuperado de:

www.e-asfalto.com.ar/pavimentos.html

Duque, G. y Escobar, C. (2002). *Mecánica de suelos para pavimentos*. Colombia: Editorial Prentice Hall.

Garnica, P. y Peres, A. (2002). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres, tesis de pregrado*. Recuperado de:

<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt201.pdf>

Greter, L. (2010). *Estabilización de un suelo arcilloso con el Sistema Nuevo ROCAMIX Líquido, tesis de pregrado*. Recuperado de:

http://www.rocamix.es/TESIS/santana_lam_greter.pdf

Gutiérrez, C. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio, tesis de pregrado*. Recuperado de:

http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/116/1/gutierrez_ca.pdf

Juárez, E. (1973). *Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos*. México: Editorial Limusa.

Miranda, J. y Negrete, D. (2011). *Estabilización de suelos cohesivos con el uso de cloruro de calcio, tesis de pregrado*. Recuperado de:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12736/Estabilizacion-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- MTC (2014). *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Reglamento nacional de gestión de infraestructura vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC, cap. IX, pp. 92-109.
- Osorio, J. (2013). “*cloruro de sodio*”. Recuperado de:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2332333.pdf>
- Rivera, L. (2010). “*Comportamiento resistente de suelos estabilizados*”. Recuperado de:
www.fceia.unr.edu.ar/.../Caracteristicas%20tacto%20visuales%202014_2s_imp.pdf
- Salcedo, K. y De La Cruz, L. (2016). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palian – Huancayo – JUNIN, tesis de pregrado*. Recuperado de:
http://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/UPLA/112/Lizeth_Mercedes_Tesis_Licenciado_2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Valero, L. (1963). *Mecánica del suelo para ingenieros de carreteras y aeropuertos*. España: Editorial Alameda.
- Villa, L. (2015). “*Estabilización de suelos para pavimentos*”. Recuperado de:
<https://www.equindustriales.com/app/download/.../Estabilizaciondesuelos.pdf>

VIII. AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quiero agradecer a mi familia, en especial a mi madre y padre; mis hermanas, y mi abuela, por brindarme todo su apoyo y confianza durante toda mi vida.

A todos los profesores de la facultad de ingeniería civil, en especial a mi asesor el Ing. Castañeda Gamboa Rogelio Fermin, por haberme guiado en estos últimos tiempos de intensa lucha y cansancio.

Y a todas las demás personas que, de cualquier manera, aportaron sus conocimientos para la realización de este proyecto.

IX. ANEXOS Y APÉNDICE

ANEXO 1 RESULTADOS DE LABORATORIO

ANEXO 2 PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 1 RESULTADOS DE LABORATORIO



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO
(NTP 400.012, MTC E 204)

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACIÓN Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ
FECHA: 05/03/2018

UBICACIÓN: CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH

Tamices	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
Ø	(mm)				
5"	127,00				
4"	101,60				
3"	76,20				
2"	50,80	0,00	0,00%	100,00%	
1 1/2"	38,10	19,06	0,67%	99,33%	
1"	25,40	0,00	0,67%	99,33%	
3/4"	19,050	61,59	2,16%	2,83%	97,17%
1/2"	12,700	45,22	1,59%	4,42%	95,58%
3/8"	9,525	0,00	0,00%	4,42%	95,58%
1/4"	6,350	0,00	0,00%	4,42%	95,58%
Nº 4	4,760	285,44	10,02%	14,43%	85,57%
Nº 8	2,380	0,00	0,00%	14,43%	85,57%
Nº 10	2,000	263,81	9,26%	23,69%	76,31%
Nº 16	1,190	150,12	5,27%	28,96%	71,04%
Nº 20	0,840	0,00	0,00%	28,96%	71,04%
Nº 30	0,590	0,00	0,00%	28,96%	71,04%
Nº 40	0,426	464,79	16,31%	45,29%	54,74%
Nº 50	0,297	110,37	3,87%	49,14%	50,86%
Nº 60	0,250	0,00	0,00%	49,14%	50,86%
Nº 80	0,177	0,00	0,00%	49,14%	50,86%
Nº 100	0,149	0,00	0,00%	49,14%	50,86%
Nº 200	0,075	881,25	30,92%	80,06%	19,94%
Fondo	0,01	568,35	19,94%	100,00%	0,00%
PESO INICIAL	2850,00				

Descripción Muestra:

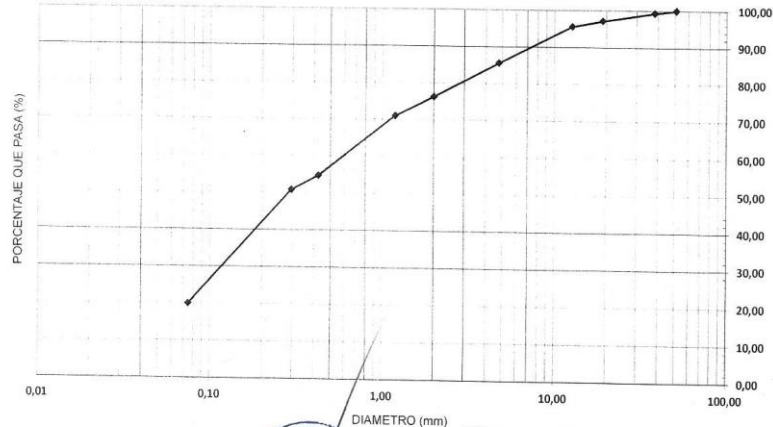
% de Grava: 14,43%
% de Arena: 65,63%
% de Finos: 19,94%

L.L. No presenta
L.P. No presenta
I.P. No presenta

Clasificación:
S.U.C.S.: SM
A.A.S.H.T.O.: A-2-4

PESO SECO INICIAL	2850
PESO SECO LAVADO	2677
PESO PERDIDO POR LAVADO	173

GRÁFICO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
- Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) al 0% de NaCl
(ASTM D 1883, MTC E 132)**

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ **UBICACIÓN:** CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH
FECHA: 05/03/2018

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	1000	1000	1000
Peso del molde + suelo húmedo (grs)	7017	7218	7695
Peso del molde (gramos)	4318	4322	4313
Peso del suelo húmedo (grs.)	2699	2896	3382
Volumen del molde (cc)	2123	2123	2323
Densidad húmeda (grs./cm3)	1,27	1,36	1,46
Densidad seca (grs./cm3)	1,052	1,129	1,205
Tarro N°	10	12	16
Peso del tarro + suelo húmedo (grs.)	152,92	152,16	137,75
Peso del tarro + suelo seco (grs.)	135,60	134,99	123,35
Peso del agua (grs.)	17,32	17,17	14,40
Peso del tarro (grs.)	52,45	52,62	54,16
Peso del suelo seco (grs.)	83,15	82,37	69,19
% de humedad	20,83	20,84	20,81

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN	
		DIAL	Mm. %	DIAL	mm %	DIAL	mm %	DIAL	mm %		
SIN EXPANSIÓN											

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01- N° de Golpes			MOLDE N°02- N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg"		Libras.	Libras./pulg"		Libras.	Libras./pulg"
0,000			0,00			0,00			0,00
0,025	44	482	161	63	671	224	76	794	265
0,050	89	924	308	139	1405	468	152	1528	509
0,075	131	1328	443	203	2016	672	228	2262	754
0,100	170	1704	568	266	2628	876	294	2904	968
0,150	193	1924	641	292	2885	962	348	3424	1141
0,200	212	2108	703	315	3101	1034	396	3888	1296
0,250	227	2255	752	333	3277	1092	435	4260	1420
0,300	239	2365	788	347	3412	1137	464	4539	1513
0,400	252	2494	831	362	3561	1187	500	4892	1631
0,50	258	2549	850	369	3628	1209	514	5022	1674

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maiza Ambrosio
 Jefe
 CIP: 116544

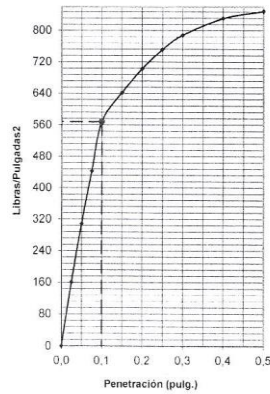




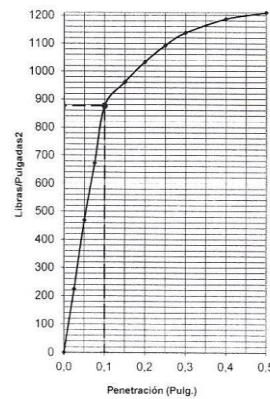
USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

SOLICITA:	COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN	ENSAYO:	C.B.R
TESIS:	ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017	Humedad Optima Porct. Mod.:	21,8 %
FECHA	05/03/2018	Max. Den. Porct. Mod.:	1,208 gr/cm ³

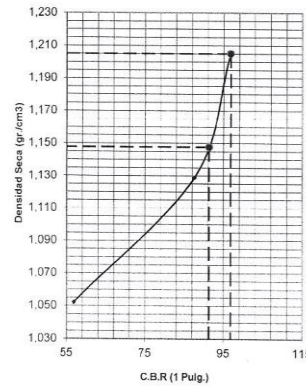
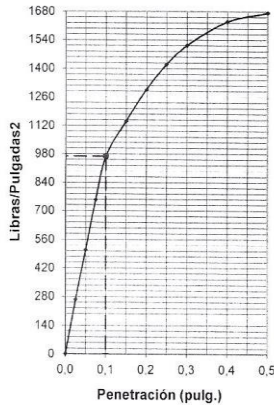
12 Golpes-C.B.R. 1":56,8%-&=1,05gr/cm3



25 Golpes-C.B.R. 1":87,6%-&=1,13gr/cm3



56 Golpes-C.B.R. 1":96,8%-&=1,21gr/cm3



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MATERIALES Y
CONCRETO
Ing. Elizardo Maza Ambrosio
CIP: 10884
JEFE



GOLPES	W. %	&.gr./cm3	HINCH. %	COMP. %	CBR-1"	CBR-2"	C.B.R.	C.B.R.
12	20,83	1,052	0,00	87,10	56,8		95%	100%
25	20,84	1,129	0,00	93,44	87,6		91,3	96,8
56	20,81	1,205	0,00	99,76	96,8			

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
 - Nuevo Chimbote D1-1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



COMPACTACION DE SUELO (PROCTOR MODIFICADO) AL 2% DE NaCl
(NTP 339.141, ASTM D 1557, MTC E 115)

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ
FECHA: 05/03/2018

UBICACIÓN: CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH

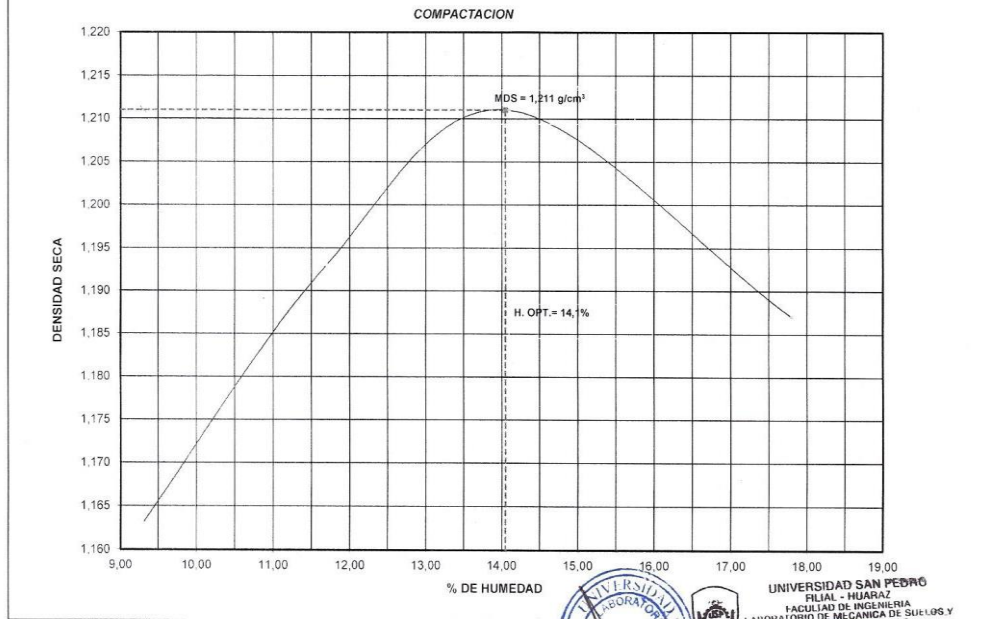
Dimensiones del Molde **Diametro:** 10,15 **Altura:** 11,68 **Peso del Martillo:** 10 lb **Vol.** 945,07

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA Nº	1	2	3	4
PESO DEL TARRO (grs)	55,02	55,00	55,95	54,84
PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA	149,71	147,34	149,31	140,15
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs)	141,65	137,67	137,77	127,26
PESO DEL AGUA (grs)	8,06	9,67	11,54	12,89
PESO DEL MATERIAL SECO (grs)	86,6	82,7	81,8	72,4
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	9,30	11,70	14,10	17,80

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD %	9,30	11,70	14,10	17,80
PESO DEL SUELO+MOLDE (grs)	5471	5529	5576	5591
PESO DEL MOLDE (grs)	4270	4270	4270	4270
PESO DEL SUELO (grs)	1201	1259	1306	1321
DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm ³)	1,271	1,332	1,382	1,398
DENSIDAD SECA (grs/cm ³)	1,163	1,193	1,211	1,187
Densidad Máxima (grs/cm ³)				1,211
Humedad Óptima%				14,1




 UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrósio
 CIP: 118544
 JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
 - Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) al 2% de NaCl
(ASTM D 1883, MTC E 132)**

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ **UBICACIÓN:** CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH
FECHA: 05/03/2018

COMPACTACIÓN

Molde Nº	01	02	03
Nº de golpes por capa	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	1000	1000	1000
Peso del molde + suelo húmedo (grs)	6905	7039	7498
Peso del molde (gramos)	4318	4322	4313
Peso del suelo húmedo (grs.)	2587	2717	3184.5
Volumen del molde (cc)	2123	2123	2323
Densidad húmeda (grs./cm3)	1.22	1.28	1.37
Densidad seca (grs./cm3)	1.075	1.129	1.209
Tarro Nº	5	11	6
Peso del tarro + suelo húmedo (grs.)	201.62	197.95	172.41
Peso del tarro + suelo seco (grs.)	184.30	180.78	158.01
Peso del agua (grs.)	17.32	17.17	14.40
Peso del tarro (grs.)	54.81	52.31	50.22
Peso del suelo seco (grs.)	129.49	128.47	107.79
% de humedad	13,38	13,36	13,36

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA			EXPANSIÓN			LECTURA			EXPANSIÓN			
		DIAL	Mm.	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%				
SIN EXPANSIÓN														

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE Nº01- Nº de Golpes			MOLDE Nº02- Nº de Golpes			MOLDE Nº03- Nº de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0,000			0,00			0,00			0,00
0,025	21	261	87	49	534	178	78	818	273
0,050	43	471	157	108	1103	368	157	1576	525
0,075	63	664	221	157	1577	526	235	2334	778
0,100	81	843	281	206	2052	684	304	2997	999
0,150	103	1056	352	260	2568	856	349	3429	1143
0,200	122	1234	411	305	3002	1001	389	3815	1272
0,250	136	1376	459	341	3355	1118	421	4124	1375
0,300	147	1483	494	369	3626	1209	445	4355	1452
0,400	160	1607	536	400	3925	1308	475	4649	1550
0,50	166	1661	554	414	4060	1353	486	4757	1586

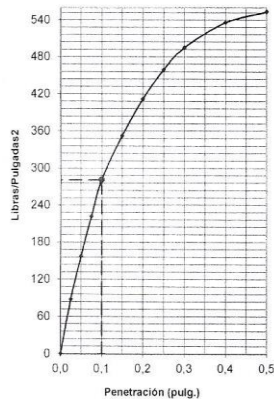
UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 OFICINA DE MECANICA DE SUELOS Y
 MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 Jefe
 CIP: 116544



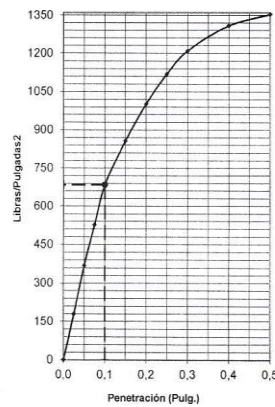


SOLICITA:	COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN	ENSAYO:	C.B.R
TESIS:	ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017	Humedad Optima Porct. Mod.:	14,1 %
FECHA:	05/03/2018	Max. Den. Porct. Mod.:	1,211 gr/cm ³

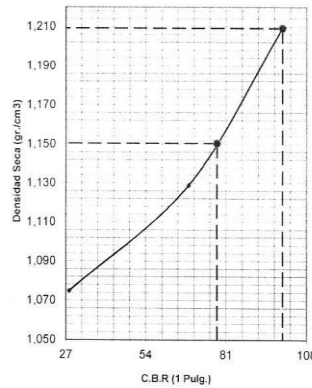
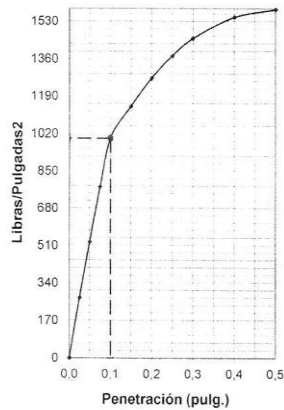
12 Golpes-C.B.R. 1":28,1%-&=1,07gr/cm3



25 Golpes-C.B.R. 1":68,4%-&=1,13gr/cm3



56 Golpes-C.B.R. 1":99,9%-&=1,21gr/cm3



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

GOLPES	W. %	&.gr./cm3	HINCH. %	COMP. %	CBR-1"	CBR-2"	C.B.R.	C.B.R.
12	13,38	1,075	0,00	88,75	28,1		95%	100%
25	13,36	1,129	0,00	93,22	68,4		77,9	99,9
56	13,36	1,209	0,00	99,86	99,9			

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
 CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
 - Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
 OFICINA CENTRAL DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

COMPACTACION DE SUELO (PROCTOR MODIFICADO) AL 4% DE NaCl
(NTP 339.141, ASTM D 1557, MTC E 115)

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ
FECHA: 05/03/2018

UBICACIÓN: CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH

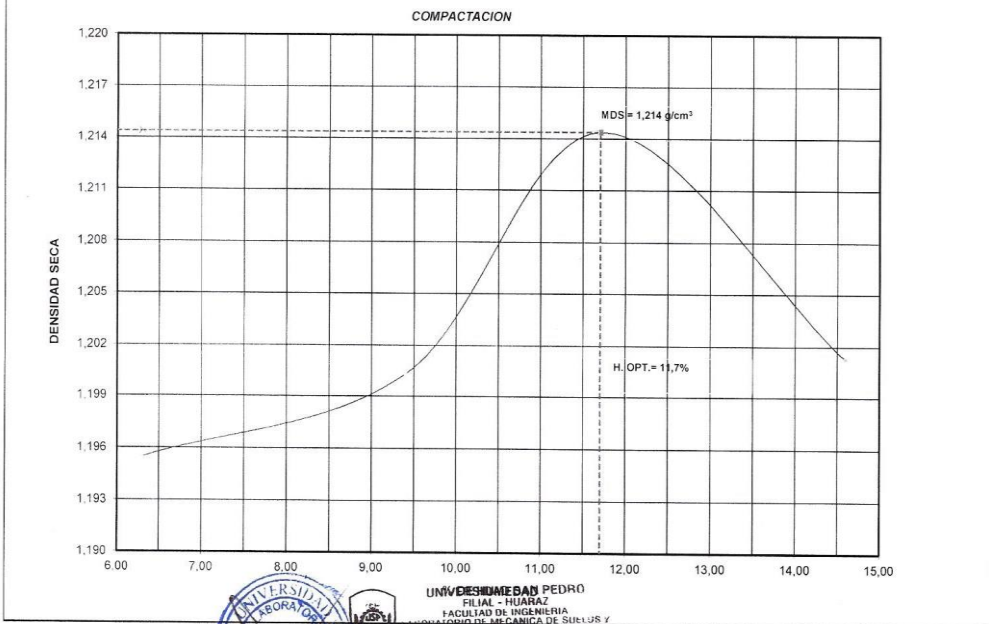
Dimensiones del Molde **Diametro:** 10,15 **Altura:** 11,68 **Peso del Martillo:** 10 lb **Vol.** 945,07

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA Nº	1	2	3	4
PESO DEL TARRÓ (grs)	54,92	55,01	53,85	53,80
PESO DEL TARRÓ+MUESTRA HÚMEDA	190,92	167,54	163,99	154,99
PESO DEL TARRÓ+ MUESTRA SECA (grs)	182,86	157,87	152,45	142,10
PESO DEL AGUA (grs)	8,06	9,67	11,54	12,89
PESO DEL MATERIAL SECO (grs)	127,9	102,9	98,6	88,3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6,30	9,40	11,70	14,60

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD %	6,30	9,40	11,70	14,60
PESO DEL SUELO+MOLDE (grs)	5471	5511	5552	5571
PESO DEL MOLDE (grs)	4270	4270	4270	4270
PESO DEL SUELO (grs)	1201	1241	1282	1301
DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm ³)	1,271	1,313	1,357	1,377
DENSIDAD SECA (grs/cm ³)	1,195	1,200	1,214	1,201
			Densidad Máxima (grs/cm ³)	1,214
			Humedad Óptima%	11,70



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

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
- Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) al 4% de NaCl
(ASTM D 1883, MTC E 132)**

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ **UBICACIÓN:** CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH
FECHA: 05/03/2018

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	1000	1000	1000
Peso del molde + suelo húmedo (grs)	6806	6999	7389
Peso del molde (gramos)	4318	4322	4313
Peso del suelo húmedo (grs.)	2488	2677	3076
Volumen del molde (cc)	2123	2123	2323
Densidad húmeda (grs./cm3)	1,17	1,26	1,32
Densidad seca (grs./cm3)	1,048	1,128	1,184
Tarro N°	2	7	18
Peso del tarro + suelo húmedo (grs.)	219,89	218,45	190,51
Peso del tarro + suelo seco (grs.)	202,57	201,28	176,11
Peso del agua (grs.)	17,32	17,17	14,40
Peso del tarro (grs.)	56,24	56,18	54,21
Peso del suelo seco (grs.)	146,33	145,10	121,90
% de humedad	11,84	11,83	11,81

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA			EXPANSIÓN			LECTURA			EXPANSIÓN		
		DIAL	Mm.	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%			
SIN EXPANSIÓN													

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0,000			0,00			0,00			0,00
0,025	33	377	126	51	552	184	76	789	263
0,050	67	708	236	112	1144	381	151	1518	506
0,075	98	1011	337	163	1637	546	226	2248	749
0,100	128	1293	431	214	2130	710	293	2886	962
0,150	145	1459	486	251	2487	829	334	3286	1095
0,200	159	1597	532	282	2788	929	371	3644	1215
0,250	171	1708	569	308	3032	1011	401	3930	1310
0,300	179	1790	597	327	3220	1073	423	4145	1382
0,400	189	1887	629	348	3427	1142	451	4416	1472
0,50	193	1929	643	358	3521	1174	461	4517	1506

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

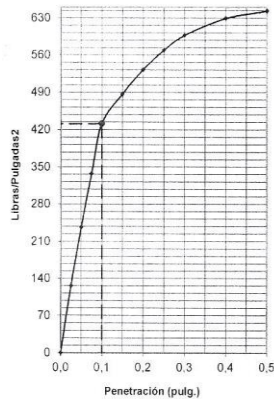




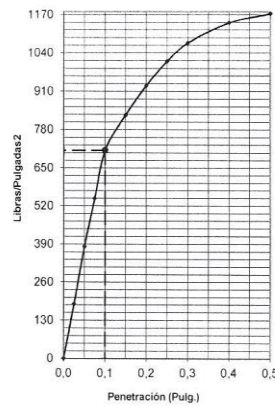
USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

SOLICITA:	COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN	ENSAYO:	C.B.R
TESIS:	ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017	Humedad Optima Porct.. Mod.:	11,7 %
FECHA	05/03/2018	Max. Den. Porct.. Mod.:	1,214 gr/cm ³

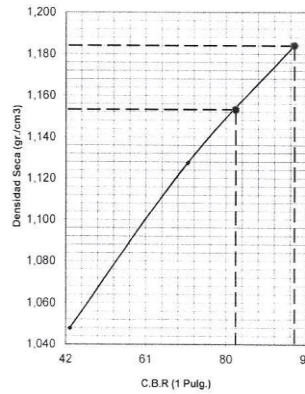
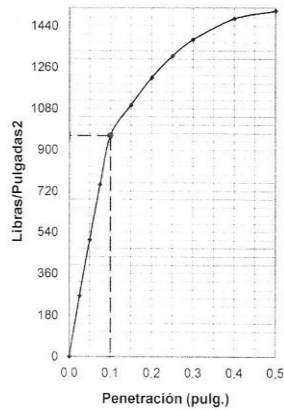
12 Golpes-C.B.R. 1":43,1%-&=1,05gr/cm3



25 Golpes-C.B.R. 1":71%-&=1,13gr/cm3



56 Golpes-C.B.R. 1":96,2%-&=1,18gr/cm3



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
INSTITUTO DE MECANICA DE SUELOS Y
GEOTECNIA
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



GOLPES	W. %	&.gr./cm3	HINCH. %	COMP. %	CBR-1"	CBR-2"	C.B.R.	C.B.R.
12	11,84	1,048	0,00	86,32	43,1		95%	100%
25	11,83	1,128	0,00	92,88	71,0		82,3	96,2
56	11,81	1,184	0,00	97,55	96,2			

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
 - Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

COMPACTACION DE SUELO (PROCTOR MODIFICADO) AL 6% DE NaCl
(NTP 339.141, ASTM D 1557, MTC E 115)

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ
FECHA: 05/03/2018

UBICACIÓN: CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH

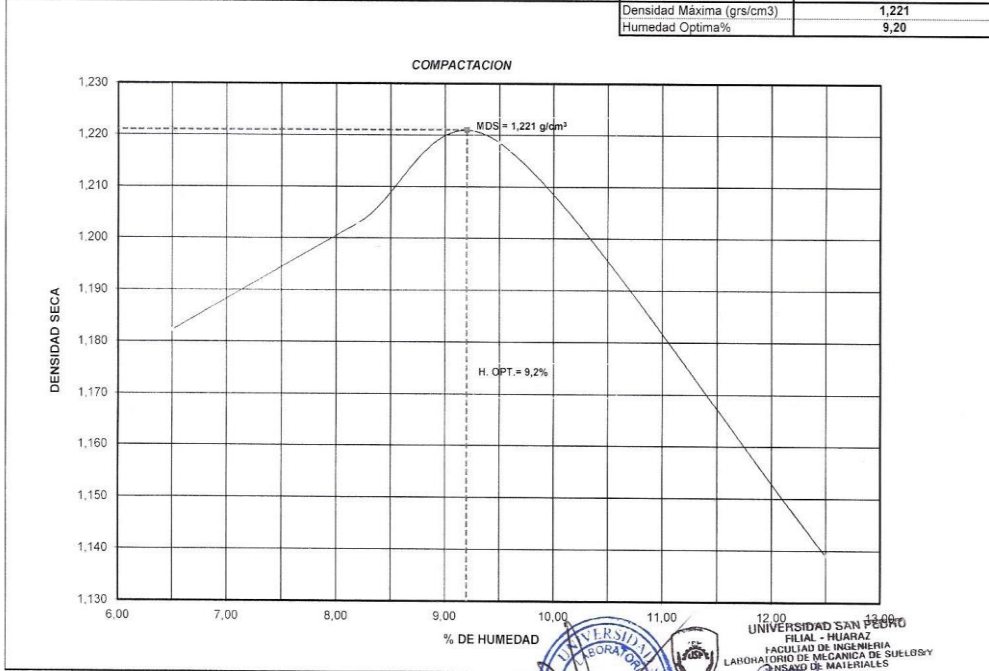
Dimensiones del Molde **Diametro:** 10,15 **Altura:** 11,68 **Peso del Martillo:** 10 lb **Vol.** 945,07

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA Nº	1	2	3	4
PESO DEL TARRO (grs)	54,82	56,85	55,45	54,21
PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA	186,79	184,47	188,49	170,24
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs)	178,73	174,80	176,95	157,35
PESO DEL AGUA (grs)	8,06	9,67	11,54	12,89
PESO DEL MATERIAL SECO (grs)	123,9	118,0	121,5	103,1
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6,50	8,20	9,50	12,50

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD %	6,50	8,20	9,50	12,50
PESO DEL SUELO+MOLDE (grs)	5460	5500	5531	5481
PESO DEL MOLDE (grs)	4270	4270	4270	4270
PESO DEL SUELO (grs)	1190	1230	1261	1211
DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm ³)	1,259	1,301	1,334	1,281
DENSIDAD SECA (grs/cm ³)	1,182	1,203	1,219	1,139
Densidad Máxima (grs/cm ³)				1,221
Humedad Óptima%				9,20



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

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
 - Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) al 6% de NaCl
(ASTM D 1883, MTC E 132)**

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN
TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017
LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO - FILIAL HUARAZ
CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA - HUARAZ **UBICACIÓN:** CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH
FECHA: 05/03/2018

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	1000	1000	1000
Peso del molde + suelo húmedo (grs)	6847	6938	7342
Peso del molde (gramos)	4318	4322	4313
Peso del suelo húmedo (grs.)	2529	2616	3029
Volumen del molde (cc)	2123	2123	2323
Densidad húmeda (grs./cm3)	1,19	1,23	1,30
Densidad seca (grs./cm3)	1,091	1,129	1,195
Tarro N°	3	8	13
Peso del tarro + suelo húmedo (grs.)	261,72	254,54	222,42
Peso del tarro + suelo seco (grs.)	244,40	237,37	208,02
Peso del agua (grs.)	17,32	17,17	14,40
Peso del tarro (grs.)	55,04	50,35	50,68
Peso del suelo seco (grs.)	189,36	187,02	157,34
% de humedad	9,15	9,18	9,15

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN	
		DIAL	Mm.	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	
SIN EXPANSIÓN											

PENETRACIÓN

PENETRACION	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras /pulg ²		Libras.	Libras /pulg ²		Libras.	Libras /pulg ²
0,000			0,00			0,00			0,00
0,025	28	326	109	31	359	120	53	575	192
0,050	56	604	201	68	718	239	107	1090	363
0,075	83	858	286	99	1017	339	160	1604	535
0,100	107	1095	365	130	1317	439	207	2055	685
0,150	123	1251	417	146	1475	492	234	2319	773
0,200	137	1381	460	160	1608	536	258	2555	852
0,250	148	1485	495	171	1716	572	276	2744	915
0,300	156	1563	521	180	1799	600	292	2885	962
0,400	165	1654	551	189	1891	630	311	3065	1022
0,50	169	1693	564	194	1932	644	318	3131	1044

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
 DE MINAS Y METALURGIA
 DEPARTAMENTO DE MATERIALES
 MSc. Elizabeth Maza Ambrogi
 JEFE



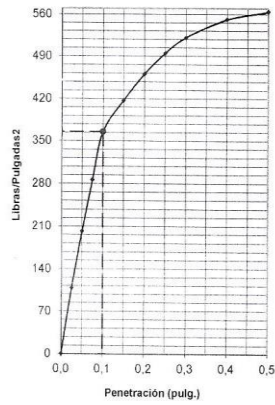


USP

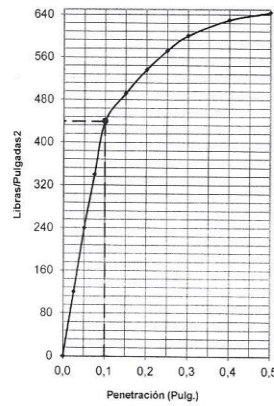
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

SOLICITA:	COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN	ENSAYO:	C.B.R
TESIS:	ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ - 2017	Humedad Optima Porct.. Mod.:	9,2 %
FECHA	05/03/2018	Max. Den. Porct.. Mod.:	1,221 gr/cm ³

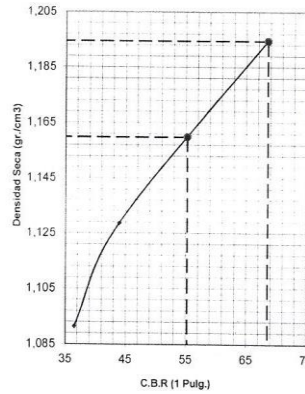
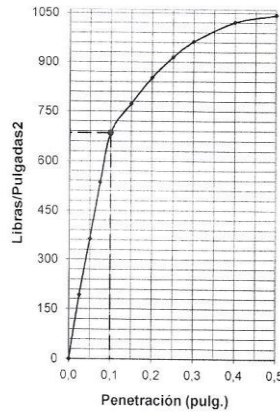
12 Golpes-C.B.R. 1":36,5%-&=1,09gr/cm3



25 Golpes-C.B.R. 1":43,9%-&=1,13gr/cm3



56 Golpes-C.B.R. 1":68,5%-&=1,19gr/cm3



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
CONVOCATORIA DE MAESTRANTES
Ing. Elizabeth Maza Ambros,
CIP: 116544
JEFE

GOLPES	W. %	&.gr./cm3	HINCH. %	COMP. %	CBR-1"	CBR-2"	C.B.R.	C.B.R.
12	9,15	1,091	0,00	89,39	36,5		95%	100%
25	9,18	1,129	0,00	92,43	43,9		55,2	
56	9,15	1,195	0,00	97,84	68,5			68,5

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896
CIUDAD UNIVERSITARIA: - Los Pinos B s/n. Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 - Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042
 - Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf.: 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704
OFICINA CENTRAL DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO (CON 2% DE NaCl)
(NTP 400.016, MTC E 209)

SOLICITA: COCHACHIN MENDOZA ROYAL CONAN.

TESIS: ESTABILIZACION Y DURABILIDAD DE SUB BASE USANDO LA CANTERA DE CHALLHUA CON ADICION DE CLORURO DE SODIO EN 2, 4 Y 6% - HUARAZ – 2017

LUGAR: UNIVERSIDAD SAN PEDRO – FILIAL HUARAZ.

AGREGADO GRUESO

	TAMAÑO	%	PESO (gr) REQUERIDO	PESO (gr) INICIAL	PESO (gr) FINAL	PERDIDAS		GRADACIÓN ORIGINAL	PERDIDAS CORREG (%)
						PESO (gr)	%		
1	2" a 1 1/2"	40	2000 ± 200	2091,0	1856,0	235	11,24	0,340	3,821
2	1 1/2" a 1"	67	1000 ± 50	1063,7	1025,4	38,3	3,60	0,214	0,771
	1" a 3/4"	33	500 ± 30	545,1	534,9	10,2	1,87	0,153	0,286
3	3/4" a 1/2"	67	670 ± 10	658,7	478,3	180,4	27,39	0,108	2,958
	1/2" a 3/8"	33	330 ± 5	342,1	289,4	52,7	15,40	0,073	1,125
4	3/8 a N°4		300 ± 5	300,0	289,2	10,8	3,60	0,112	0,403
Pérdidas totales									9,364

CANTERA: RIO SANTA - CHALLHUA – HUARAZ

UBICACIÓN: CHALLHUA - HUARAZ - ANCASH

FECHA: 05/03/2018

ANALISIS CUALITATIVO DEL AGREGADO GRUESO

TAMAÑO	ALTERACION DE PARTICULAS DESPUES DEL ENSAYO						Nº INICIAL DE PARTICULAS
	Rajadas		Fracturadas		Laminadas (Escamosas)		
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
2" a 1 1/2"	1	6,67	-	-	-	-	15
1 1/2" a 1"	2	10,0	1	5,00	1	5,00	20
1" a 3/4"	1	3,03	2	6,06	-	-	33

AGREGADO FINO

TAMAÑO	PESO REQUERIDO(gr)	PESO INICIAL(gr)	PESO FINAL(gr)	PERDIDAS		GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PERDIDAS CORREG (%)
				PESO (gr)	%		
3/8" a N°4	100	100	91,9	8,10	8,10	0,117	0,95
N°4 a N°8	100	100	87,9	12,10	12,10	0,029	0,35
N°8 a N°16	100	100	84,2	15,80	15,80	0,137	2,16
N°16 a N°30	100	100	85,9	14,10	14,10	0,096	1,35
N°30 a N°50	100	100	83,2	16,80	16,80	0,044	0,74
N°50 a N°100	-	-	-	-	-	0,168	-
Pasa N°100	-	-	-	-	-	0,415	-
Pérdidas totales							5,56




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

ANEXO 2 PANEL FOTOGRÁFICO

Cantera de Challhua



FOTO N° 1: El río de donde se extrae los agregados.



FOTO N° 2: La maquinaria que usan para la extracción del material.



FOTO N° 3: Ubicación de la cantera de Challhua

Análisis granulométrico



FOTO N° 4 y 5: Realizando el análisis granulométrico de agregado.

Procedimiento para combinar el NaCl con el agua y la combinación con el material a estabilizar



FOTO N° 6 y 7: Pesando el cloruro de sodio para sus diferentes porcentajes.



FOTO N° 8 y 9: Combinando el cloruro de sodio con el agua.



FOTO N° 10: Mezclando el cloruro de sodio diluida con el material.



FOTO N° 11: Llevando al horno el material combinado con el cloruro de sodio para su secado.

Proctor modificado



FOTO N° 12: Preparando el molde para en ensayo de proctor modificado.



FOTO N° 13: Compactado de cada capa con 25 golpes del pisón distribuidos uniformemente.



FOTO N° 14: Después del compactado se recorta el suelo excedente para llevarlo al horno y determinar su contenido de humedad.

Ensayo de CBR



FOTO N° 15: Colocación del dial para sumergir el molde por 4 días.



FOTO N° 16: El colocado del molde en el pistón de penetración.

Ensayo de sulfato de magnesio



FOTO N° 17 y 18: Pesando del Sulfato de Magnesio.



FOTO N° 19: Mezclando el sulfato de magnesio con el agua.



FOTO N° 20 y 21: Llevando la combinación del sulfato de magnesio con el agua para sacarlo luego de 18 horas.



FOTO N° 22: Saturando las muestras con sulfato de magnesio.



FOTO N° 23: Verificando la desintegración del agregado.