



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Tesis**

**INFLUENCIA DEL ADITIVO CLORURO DE SODIO COMO  
ESTABILIZANTE DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA  
TRAMO CRUCE EL PORONGO – AEROPUERTO – CAJAMARCA.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**EDGAR LUIS SALAZAR ORTIZ**

**ASESOR:**

**ING. EDBER RODRÍGUEZ TAFUR**

**LÍNEA DE LA INVESTIGACIÓN**

**INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**PERU 2016**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS Todopoderoso, Padre Eterno, Ángeles, Arcángeles y Seres de Luz.**

Por haber puesto, esa luz inmensa en mi camino y a las personas indicadas para el logro de este trabajo, y permitir llegar a este gran momento tan especial en mi vida, de ver cumplido mis sueños, anhelos y muchos sentimientos que me llenan de satisfacción; gracias padre celestial por ser mi guía día a día.

### **A mi familia.**

A mi Esposa Reynery, y a mis hijos (Joseph, Briyed, Aracelis), por ser lo mejor de mi vida; por saber entender mis ausencias, por ser tolerantes y por estar siempre junto a mí, en la alegría y en la tristeza, en los triunfos y las derrotas; los quiero mucho. Ahora puedo decir que este trabajo es el resultado de la suma de todo lo mencionado y del gran esfuerzo depositado para finalmente ver concluido mi objetivo anhelado, y el de muchos.

### **A mis queridos padres: Manuel F. Salazar Ch. y Rosalila Ortiz V.**

Por ser personas incomparables, los que aún siguen labrando mi futuro, perseverantes e insistentes para el logro de mis objetivos, por su apoyo incondicional, por sus consejos, y por toda esa entrega para con todos sus hijos y mucho más... mil gracias de verdad, los quiero mucho. Que DIOS me los cuide siempre...

### **A mis hermanos**

Segundo, Sonia, Orlando; porque siempre me mostraron confianza, cariño y respeto, por sus consejos para seguir adelante, que DIOS me los cuide siempre a todos. Éxitos.

Edgar Luis

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a todos los docentes de la Universidad Cesar Vallejo de la Facultad de Ingeniería Civil por haber compartido sus conocimientos durante todo este tiempo en el desarrollo de nuestra formación profesional; a todos mis compañeros en general por haber compartido juntos las aulas, a mi asesor Ing. Edber Rodríguez Tafur, por su apoyo incondicional en el logro de este trabajo, de igual manera al Dr. Ing. Wilfredo Renán Fernández Muñoz, por brindar todas las facilidades con sus equipos en su Laboratorio de suelos.

Edgar Luis

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Edgar Luis Salazar Ortiz**, egresado de la Escuela de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería, de la Universidad César Vallejo SAC. Chiclayo, identificado con DNI N° 27047863

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

Soy autor de la tesis titulada: ***Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce El Porongo – Aeropuerto - Cajamarca*** para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

1. La tesis presentada es auténtica, siguiendo un adecuado proceso de investigación, para el cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
2. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún otro título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causa en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas civiles, penales y administrativas que pudieran derivarse de ello.

Que, en consecuencia, lo manifestado líneas arriba corresponde a la realidad y me someto a las sanciones legales pertinentes, si resultara lo contrario, inclusive a que la Universidad César Vallejo S.A.C. Chiclayo, suspenda o anule el título y denunciar tal hecho ante las autoridades competentes, ello conforme a la Ley 27444 del Procedimiento Administrativo General.

Chiclayo, mayo del 2018

Firma



Nombres y apellidos: Edgar Luis Salazar Ortiz

DNI: 27047863

## PRESENTACIÓN

### **Señores miembros del Jurado:**

Cumpliendo con las normas y disposiciones como es el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “INFLUENCIA DEL ADITIVO CLORURO DE SODIO COMO ESTABILIZANTE DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA TRAMO CRUCE EL PORONGO – AEROPUERTO – CAJAMARCA”

Considero que el estudio del presente trabajo de investigación, constituye un valioso aporte para las generaciones de hoy y del mañana, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

El autor

## ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
ÍNDICE .....	vii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Planteamiento del Problema .....	12
1.2 Formulación del Problema. ....	13
1.3 Justificación del Problema.....	13
1.4 Delimitación de la investigación .....	14
1.5 Hipótesis. ....	14
1.6 Objetivos .....	14
II. MARCO TEÒRICO .....	15
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	15
2.2 Bases Teóricas .....	20
III. MARCO METODOLÒGICO.....	68
3.1. Variables .....	68
3.2. Operacionalización de variables .....	68
3.3. Metodología .....	69
3.4. Tipos de estudio .....	70
3.5. Diseño .....	70
3.6. Población, muestra y unidad de análisis .....	71
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	71
3.8. Métodos de análisis de datos.....	71
3.9. Equipos / Materiales.....	71
IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	72
4.1. Toma de muestras .....	72
4.2. Localización .....	74
4.3. Resultados de los ensayos de laboratorio.....	75
4.4. Descripción de los perfiles estratigráficos .....	89
V. DISCUSION DE RESULTADOS.....	91

VI. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	98
6.1. CONCLUSIONES .....	98
<b>6.2. RECOMENDACIONES</b> .....	99
6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXOS.....	103
ANEXO 1: ENSAYOS DE LABORATORIO – MUESTRA PATRÓN .....	104
ANEXO 2: ENSAYOS DE LABORATORIO – MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE 1% .....	105
ANEXO 3: ENSAYOS DE LABORATORIO – MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE 2% .....	106
ANEXO 4: ENSAYOS DE LABORATORIO – MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE 3% .....	107
ANEXO 5: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.....	108
ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO .....	109

## RESUMEN

Los pavimentos son estructuras formados por un agrupamiento de capas de distintos materiales, los que son destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito hacia el terreno de fundación conocido como subrasante, una técnica ampliamente utilizada para mejorar el comportamiento esfuerzo deformación de los suelos es estabilización de la subrasante mediante la adición de aditivos comunes y aditivos químicos; los que permitirán aumentar el valor de soporte del suelo para intensificar sus propiedades físicas y mecánicas.

El cloruro de sodio es un material que ayuda con la estabilización de la subrasante, esto es gracias a la reacción que se produce al momento que se une con el suelo, gracias a la reacción que se produce debido al intercambio iónico entre el sodio y los minerales componentes del suelo, produciéndose una acción cementante, permitiendo el aumento del grado de compactación, lo cual aumenta considerablemente la capacidad de soporte, y la resistencia del suelo hacia las cargas que tenga que recibir por una estructura.

En la presente tesis de investigación se busca determinar la influencia que presenta el adicionar cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera Tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, verificando el aumento de la capacidad de soporte de terreno. Para ello se utilizará dosificaciones de 1%, 2% y 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material, realizándose la excavación de 8 pozos de exploración a cielo abierto o calicatas de donde se extraerá material con el que se realizará los ensayos de laboratorio respectivos y cumplir con los objetivos planteados.

Al finalizar con el estudio, se concluyó que la dosificación óptima para estabilizar la subrasante de la carretera Tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca sea de 2% de cloruro de sodio por metro cúbico de material, dado que este valor aumento el valor de la capacidad de soporte del suelo hasta un 250% con respecto de la muestra sin ninguna adición.

**Palabras clave:** Palabras clave: Aditivo, cloruro de sodio, estabilizante, subrasante, carretera.



## **ABSTRACT**

The pavements are structures formed by a grouping of layers of different materials, which are intended to distribute and transmit the loads applied by the transit to the foundation soil known as subgrade, a technique widely used to improve the behavior deformation of the soil it is stabilization of the subgrade by the addition of common additives and chemical additives; which will allow to increase the value of the soil support to intensify its physical and mechanical properties.

Sodium chloride is a material that helps stabilize the subgrade, thanks to the reaction that occurs when it joins the soil, thanks to the reaction that occurs due to the ion exchange between sodium and Minerals components of the soil, producing a cementing action, allowing the increase of the degree of compaction, which considerably increases the capacity of support, and the resistance of the soil towards the loads that have to receive by a structure.

In this thesis, the influence of the addition of sodium chloride as a stabilizer on the subsoil of the Tramo Cruce el Porongo - Aeropuerto - Cajamarca highway is verified, verifying the increase in ground support capacity. For this purpose, a dosage of 1%, 2% and 3% of sodium chloride per cubic meter of material will be used, with the excavation of 8 open-pit exploration wells or pits from which material will be extracted with which the tests will be carried out. Laboratory and meet the objectives set.

At the end of the study, it was concluded that the optimum dosage to stabilize the subgrade of the Tramo Cruce el Porongo - Aeropuerto - Cajamarca road is 2% of sodium chloride per cubic meter of material, since this value increases the value of Soil support capacity up to 250% with respect to the sample without any addition.

Key words: Additive, sodium chloride, stabilizer, subgrade, road

## I. INTRODUCCIÓN

Los deterioros de las carreteras se presentan muy a menudo en todo el mundo, esto se da tanto en aquellas que son pavimentadas y no pavimentadas (afirmado), debido a la presencia de suelos finos, los que dado a sus características presentan una baja capacidad de soporte y que, en contacto con el agua, éstos presentan una variación volumétrica lo que producen deformaciones y ahuellamientos en las vías.

Con la finalidad de buscar una solución a este problema, se han realizado múltiples investigaciones con el uso de adiciones comunes como cal, cemento, cloruro de sodio, entre otros y aditivos químicos; los que permiten según una dosis adecuada el aumento de la capacidad de soporte del terreno, disminuyendo de esta forma los daños que pueda sufrir el pavimento a construir.

El cloruro de sodio o comúnmente denominado sal común tiene por propiedad fundamental absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando 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, produciéndose una acción cementante. La sal es un estabilizante natural que modifica la estructura del material pétreo mejorando sus propiedades físicas, lo que contribuye a aumentar la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión, y por lo tanto a la disminución de la permeabilidad. Su uso es para todo tipo de suelo, pero su eficacia decrece ante la presencia de material orgánico .

Tomando como ejemplo a las vías en la ciudad de Cajamarca, la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto, es una que presenta en su subrasante material fino con alta plasticidad, que en presencia de humedad sufre cambios volumétricos que producen la falla de la estructura de la carretera.

Conociendo esta problemática existente en la presente tesis de investigación se tiene como objetivo principal determinar la influencia del cloruro de sodio

como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca y verificar a diferentes dosificaciones el aumento de la capacidad del terreno de fundación; para cumplir con el objetivo planteado es que nace el siguiente problema de investigación: *¿Cuál es la influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, y a la vez se plantea la siguiente hipótesis: El aditivo cloruro de sodio, aumenta la capacidad de soporte del terreno en un 20%, de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.*

Teniendo en cuenta lo planteado, se ejecutó la excavación de 08 pozos de exploración a cielo abierto o calicatas, en los cuales se realizó el registro de las calicatas teniendo en cuenta las principales características de los suelos encontrados, tales como espesor, color, humedad, compacidad, tenacidad, plasticidad, dilatancia, entre otros y tomándose muestras representativas, con las que se efectuó los ensayos de laboratorio utilizando dosificaciones de cloruro de sodio en proporciones de 1%, 2% y 3% por metro cúbico de material .

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Actualmente las carreteras en el interior de zona de expansión de Cajamarca, se encuentran a nivel de afirmado totalmente deteriorados, debido al intemperismo del tiempo como son, temperatura, clima, agua y otros. Ello se produce debido a las constantes lluvias y a la falta periódica del mantenimiento de los mismos, por la entidad competente; ocasionando deformaciones, ahuellamientos y asentamientos sobre la estructura del afirmado.

En Cajamarca existen diferentes tipos de suelos como son gravas, arenas, limos y arcillas y cada cual tiene un comportamiento ante las cargas de los vehículos y maquinarias pesadas que producen fallas en los afirmados. Las arcillas por su condición de suelo expansivo sufren variaciones de volumen ante cambios de humedad, ocasionando fallas y asentamientos, provocando patologías en la estructura de los afirmados y a la vez produciendo problemas en los usuarios como deterioro de vehículos,

incomodidad en el transporte, mayores tiempos de viaje, afectando el estilo de la comunidad.

Dado la problemática existente, hoy en día con los diferentes tipos de investigación hay mejoras en la capacidad de soporte del suelo con la utilización de adiciones como cal, cemento, aditivos químicos y otros en diferentes porcentajes por peso de material, de manera que se optimice la calidad del suelo logrando tener mejores vías y en beneficio de la comunidad.

## **1.2 Formulación del Problema.**

¿Cuál es la influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca?

## **1.3 Justificación del Problema**

La presente investigación es importante porque se alinea al estudio de las técnicas de estabilización de suelos para controlar sus efectos dañinos en los afirmados con respecto a su estabilización en los puntos críticos de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

En la presente investigación se determinará las características físicas y mecánicas del suelo de fundación de los afirmados como son CBR, Proctor Modificado, Análisis Granulométrico, Contenido de humedad, Peso específico, límites de Atterberg y otros, lo que permitirá determinar la influencia del aditivo Cloruro de Sodio para elevar la capacidad de soporte del terreno.

Técnicamente el uso del aditivo se justifica porque ayudará a obtener alto rendimiento en elevar la capacidad de soporte del terreno en la subrasante de los puntos críticos en suelos finos y bajo costo por que minimiza el transporte de materiales como over, afirmados y otros, aumentando la densidad del suelo, reduciendo problemas de trabajo y mantenimiento de los afirmados, aumentando la capacidad de soporte (%CBR), disminuyendo la permeabilidad del agua y aumentando la resistencia a la compresión

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

Se desarrollará en las progresivas del Km 0+000 al Km 03+500 del tramo de la carretera Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, ubicada en el distrito de Baños del Inca – Provincia de Cajamarca

Se realizarán 08 exploraciones geotécnicas, en donde se ejecutarán ensayos de: CBR, Proctor y otros.

#### **1.5 Hipótesis.**

El aditivo cloruro de sodio, aumentará en un 20% la capacidad de soporte del terreno de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

#### **1.6 Objetivos**

##### **Objetivo General**

Determinar la influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

##### **Objetivos Específicos**

Establecer las características físicas mecánicas de los suelos de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

Comparar la capacidad de soporte del terreno, de la muestra patrón con las muestras a dosificaciones de 1%, 2% y 3% del aditivo cloruro de sodio por metro cúbico de material de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

Determinar la dosificación óptima de cloruro de sodio tomando en cuenta los resultados obtenidos en el CBR.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

#### **Antecedentes internacionales:**

Garnica, Pérez, Gómez y Obil (2002). En su investigación *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres*. Publicación Técnica No.201 Sanfandila, Qro, 2002, llegó a las siguientes conclusiones: El cloruro de sodio generó modificaciones, tanto en las propiedades índices como en las mecánicas, en los materiales estudiados.

Respecto a la plasticidad de los materiales ensayados, se observa que éstos presentan en estado natural valores muy similares. La posición de los suelos en la carta de plasticidad, en estado natural, está arriba de la línea A y a la derecha de la línea B. por lo que se clasifican como arcillas de alta compresibilidad (CH); conforme se incrementa el contenido de sal, el suelo tiende a moverse hacia la izquierda de la mencionada carta de plasticidad, para clasificarse en el grupo CL .

Se demuestra que el periodo de reposo, entre la adición de sal y el ensayo, no afecta a los valores de plasticidad de los suelos analizados .

Respecto al valor de pH, la influencia de la sal en dicho parámetro, se observa que la sal tiene un efecto similar en ambos suelos, disminuyendo el pH, desde un valor de 7.4 hasta 6 .

Por otro lado, se observa que, en las características de compactación de los suelos, el peso volumétrico seco aumenta y disminuye el contenido de agua óptimo, con el incremento de la sal. Lo anterior, puede deberse al incremento de los cristales de sal que se suman a los minerales del suelo, y que evidentemente afectan de una u otra manera al contenido de agua y al peso volumétrico seco, quizás solo en apariencia, por una aplicación inadecuada de las definiciones de dichos parámetros para los suelos con sales .

Las características expansivas del suelo parecen ligeramente disminuir para el suelo El Salitre, mientras que para el suelo Jurica tienen una clara tendencia a incrementarse. Es importante mencionar que el incremento en el contenido de agua de las probetas significó una disminución de las

características expansivas, pero en mayor medida, del porcentaje de expansión para ambos suelos .

Según Roldán (2010), en el *artículo estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases*, concluye que la resistencia a la compresión tiende a disminuir con el incremento de NaCl, sin embargo, la resistencia muestra un leve aumento en la arena caliza con porcentajes de NaCl inferiores al 2%, por tal motivo, el porcentaje máximo aceptable de NaCl para los materiales arena limosa y arena caliza no debe exceder del 2% respecto al peso del material (p.90) .

Según Seco, Ramírez, Miqueleiz, García y Prieto (2010), “en el artículo *Uso de aditivos no convencionales en la estabilización de margas*, concluyen que el contenido óptimo de cal es de 3%, mejorando características como CBR y los ensayos a compresión no confinada (p.56) .

Por su parte, Roldán de Paz (2010), en su trabajo de investigación *Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio (NaCl) para bases y sub bases*, de la Universidad de Guatemala, expresa que el tratamiento adecuado de suelos para intensificar sus propiedades físicas y mecánicas es de suma importancia. Ya que, en algunas regiones del país existen suelos que no son aptos para construir sobre ellos, es por eso que es necesario recurrir a la estabilización de suelos con algunos métodos que representan un costo adicional. En algunos casos, las construcciones de las bases y sub-bases para carreteras están expuestas a un clima cálido extremo, lo cual conlleva que la humedad necesaria para obtener una densificación adecuada se evapore. El cloruro de sodio (NaCl) es un elemento que ayuda a aumentar el tiempo en el cual los suelos pierden humedad. Por ser higroscópico absorbe la humedad del ambiente y crea una capa blanquecina en la parte superior que funciona como una barrera para evitar que la humedad contenida se evapore rápidamente (p.78) .

Al agregar cloruro de sodio al suelo, se incrementa la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima, se obtienen resultados favorables

para los porcentajes de CBR, los cuales aumentan con porcentajes de NaCl no mayores al 2% en condiciones críticas. Sin embargo, los mejores resultados se observan cuando se pierde la humedad y se incrementa el contenido de sal en el suelo, ya que se obtiene una cimentación firme con la mezcla suelos-cloruro de sodio. Los materiales analizados fueron arena limoso color beige (selecto) y arena caliza, en ambos materiales se obtuvieron resultados positivos, sin embargo, el selecto reaccionó mejor con el estabilizante. La mezcla de suelo-cloruro de sodio empleada para realizar ensayos de triaxial mostró un aumento en la cohesión y una leve disminución en el ángulo de fricción interna en ambos materiales. El cloruro de sodio, comúnmente llamado sal de mesa, es un estabilizante adecuado y de bajo costo, pero se debe tener cuidado en la aplicación, porque está conformado con propiedades corrosivas que afectan la maquinaria utilizada .

En la Tesis de Guamán (2016), denominada “*Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*”, realizada en la Universidad Técnica de Ambato, indica que, la investigación tiene como objetivo conocer el comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado con Cal y Cloruro de Sodio con porcentajes de 2,5% - 7,5% y 12,5%. La muestra de suelo se la extrajo de una calicata a 1 m de profundidad en la ciudad del Puyo y se utilizó todo el volumen de la calicata para realizar los ensayos de laboratorio con muestras alteradas e inalteradas. Para el análisis de las propiedades del suelo en condiciones normales se realizaron los ensayos (p.136) :

Cono y arena de Ottawa, Contenido de humedad y Compresión no confinada. Para analizar las propiedades del suelo natural y el suelo estabilizado se realizaron los siguientes ensayos: Gravedad específica, Densidad real de los agentes estabilizadores, Límites Atterberg, Resistencia a la compresión simple Proctor modificado y Capacidad de soporte del suelo (CBR). En cuanto al Cloruro de Sodio se utilizó sal granular la cual se pulverizó para una mejor reacción con las partículas de arcilla. Para el ensayo de Resistencia a la compresión simple se realizaron bloques que fueron ensayados a los 7, 14 y 21 días. Con los debidos



ensayos se comparó cual es el comportamiento del suelo en condiciones normales con los suelos estabilizados con Cal y Cloruro de Sodio y se llegó a determinar su porcentaje óptimo con cada estabilizador .

#### **Antecedentes nacionales:**

Según Ugaz, en su trabajo de investigación “*Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de sub rasante*. (2006). Lima – Perú”.

Dentro de las conclusiones a que llegaron en la investigación realizada fueron: El interés de fomentar con esta investigación el tomar criterios de diseño no convencionales es debido a que la mayoría de los productos que se emplean en este trabajo, son Productos Químicos, que garantizan reacciones y transformaciones en la matriz del suelos que no se puede evaluar simplemente con ensayos microscópicos, sino también se requiere de ensayos complementarios que nos sirvan de soporte en la parte química o el proceso de reacción entre el suelos y el estabilizador, por lo general se tiende a buscar incrementos en las características de resistencia del suelo, dejando de lado a la durabilidad y duración de este proceso, ya que se tiene que tener presente que uno garantiza una obra por lo menos 7 años (p.89) .

El fin de estas investigaciones es determinar el comportamiento que se tiene de diversos productos estabilizadores en suelos peruanos y mostrar la necesidad de buscar ensayos adecuados para la determinación de características de estos productos con los suelos, llegándose a la motivación de la búsqueda de la normalización de ensayos y generar estructuraciones de procesos para trabajos de estabilización, que abarquen desde la determinación de uno o más productos o combinación de ellos, hasta la aplicación y mantenimiento de carreteras estabilizadas .

Según Gutiérrez (2010), en la Tesis de Investigación *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio frente al cloruro de calcio*, concluye que el cloruro de magnesio es una sal higroscópica, lo cual funciona muy bien en regiones con climas secos; por consiguiente, no es viable para la costa del Perú, ya

que se sobre hidrataría el suelo convirtiéndolo en muy resbaladizo. El cloruro de calcio se adecua mejor a las condiciones climáticas del Perú debido a las características que presenta (p.76) .

De la Cruz y Salcedo (2016) “en la tesis, *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación en palian – Huancayo – Junín*, indica que la presente investigación da un marco general de la problemática local en las técnicas constructivas en pavimentos, y por ello se vienen proponiendo nuevas alternativas gracias al avance de la tecnología, se vienen creando productos que simplifican la construcción de los pavimentos (p.56) .

Sin embargo, se han presentado en el mercado comercial una gran variedad de productos que mejoran el comportamiento de los suelos, de los cuales estos son muy prometedores en sus especificaciones técnicas presentando su alta eficiencia con cualquier variedad de tipos de suelos. Entre la variedad de empresas que fabrican los estabilizadores, vimos oportuno escoger a la empresa Eco Road ya que dicha entidad estaría ingresando recién al mercado de Junín, ésta entidad produce el aditivo llamado Eco Road 2000 que sirve para la estabilización de suelos .

Por lo tanto, el objetivo de la presente tesis es demostrar mediante diversos estudios, si lo mencionado en la especificación técnica de este producto elegido cumple con la dosificación (1 litro por 15 m<sup>3</sup>), ver en qué porcentaje aumenta la resistencia del suelo (CBR), ya sea en condiciones óptimas y críticas, y por último realizar una evaluación presupuestal. Para realizar los diversos estudios acudimos a Normas de la MTC que se basa en las Normas Técnicas Peruanas, MTC y ASTM por consiguiente se requirió el uso de un laboratorio que cuente con los equipos necesarios para realizar los ensayos de suelos, también fue necesario la utilización de software para elaboración del presupuesto (S10 2005) .

### **Antecedentes locales:**

Según Chávez (2014) “en la Tesis de Investigación *Influencia de la Cal y Yeso en la Estabilización de los Suelos Arcillosos en la Carretera Cajamarca – Cumbe Mayo*, concluye que el aumento de la capacidad de soporte de terreno varía entre 60% al 90%”.

Según Jara (2014), en la investigación de la Universidad Nacional de Cajamarca, titulada, *Efecto de la Cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso*, expresa, que Los suelos arcillosos presentes en una subrasante crean problemas debido a su elevada plasticidad, reducida capacidad de soporte e inestabilidad de volumen en función de la humedad, por ello centramos nuestro objetivo en evaluar el efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso para el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas mediante procedimientos normados (p.76) .

Para la evaluación se trabajó con diferentes porcentajes de cal, 0%, 2%, 4% y 6%, en peso de la muestra de suelo arcilloso a evaluar, tomando estos porcentajes de cal según norma ASTM 6276 y ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos normados .

Los resultados obtenidos de esta evaluación de estabilización son variaciones muy grandes, en el índice de plasticidad bajo a un valor de 9.23 con la adición de cal al 6% siendo el Índice de plasticidad inicial de 36.87 con la adición de cal al 0%, y una variación considerable en el CBR (capacidad de soporte), logrando alcanzar un valor de 11.48% al adicionarle cal al 4% siendo el CBR con cal al 0% de 2.55. Evaluando los resultados obtenidos, con los diferentes porcentajes de cal, para el tipo de suelo A-7-5(29), se tiene mejores resultados con la adición de 4% de cal con la cual se obtiene el máximo CBR al 95% que es de 11.48% .

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1. SUELOS:**

#### **A. Definición**

## **Universidad Nacional De Colombia. Mecánica de los suelos (2002).**

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras civiles, arquitectónicas, viales, etc. Para poder definir el comportamiento del suelo ante la obra que en él incide se consideran tres grupos de parámetros, que son (p.78) :

- Los parámetros de identificación: La granulometría (distribución de los tamaños de grano que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de consistencia del agregado en función del contenido en agua) .
- “Los parámetros de estado: La humedad (contenido en agua del agregado), y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes”.
- “Los parámetros estrictamente geomecánicos: La resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o la permeabilidad” .

## **B. Propiedades físicas del suelo**

### ***Análisis granulométrico por tamizado***

**Das Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (2010)** En cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica. La distribución granulométrica de suelos de grano grueso es generalmente determinada mediante análisis granulométrico por mallas (p.98) .

“Un análisis granulométrico por mallas se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo por una serie de mallas cada vez más pequeñas y con una charola en el fondo. La cantidad de suelo retenido en cada malla se mide y el por ciento acumulado de suelo que pasa a través de cada malla es determinado”.

Este porcentaje es denominado el porcentaje que pasa, contiene una lista de los números de mallas más usados y el tamaño de sus aberturas. Estas mallas se usan comúnmente para el análisis de suelos con fines de clasificación .

El porcentaje que pasa por cada malla, determinado por un análisis granulométrico por mallas, se grafica sobre una escala semilogarítmica,

como se muestra en la (Tabla N° 01). Note que el diámetro del grano  $D$  se grafica sobre la escala logarítmica y el porcentaje que pasa se grafica sobre la escala aritmética .

Tabla 1: Tamaños de mallas Standart.

Criba no.	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Fuente: Das Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

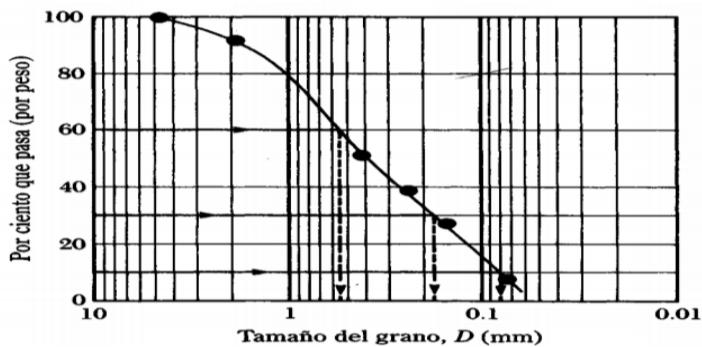


Figura 1: Tamaño del grano,  $D$  (mm)

Fuente: Das Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Varias organizaciones han intentado desarrollar los límites de tamaño para gravas, arenas, limos y arcillas en base a los tamaños de las partículas de los suelos presenta los límites de tamaño recomendados en el sistema de la American Association of State Highway and transportation Officials (AASHTO) y en el sistema Unified Soil Classification (Corps of Engineers, Department of the Army y Bureau of Reclamation). Muestra que las partículas de suelo más pequeñas que 0.002mm son clasificadas como arcilla .

Sin embargo, las arcillas por naturaleza son cohesivas y pueden convertirse en filamento cuando están húmedas. Esta propiedad es causada por la presencia de minerales de arcilla tales como la caolinita, la illita y la montmorillonita. En contraste, algunos minerales como el cuarzo y el

feldespato pueden estar presentes en un suelo en partículas de tamaño pequeño como los minerales de arcilla. Pero éstas no tienen la propiedad de cohesión de los minerales arcillosos. Por tanto, se denominan partículas de tamaño arcilla y no partículas arcillosas (Das Braja, 2010, p.15) .

Tabla 2: Límites de tamaño de suelos separados

Sistema de clasificación	Tamaño del grano (mm)
<b>Unificado</b>	<b>Grava: 75 mm a 4.75 mm</b> <b>Arena: 4.75 mm a 0.075 mm</b> <b>Limo y arcilla (finos): &lt;0.075 mm</b>
<b>AASHTO</b>	<b>Grava: 75 mm a 2 mm</b> <b>Arena: 2 mm a 0.05 mm</b> <b>Limo: 0.05 mm a 0.002 mm</b> <b>Arcilla: &lt;0.002 mm</b>

Fuente: Das Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

### ***Plasticidad***

**Crespo Villalaz. Mecánica de suelos y cimentaciones (2006, p. 69-70).**

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg o límites de consistencia, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes (Figura 11) .

Los mencionados límites son: Límite Líquido (L.L.), Límite Plástico (L.P.) y Límite de Contracción (L.C.), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando el suelo que pase por la malla N° 40. La diferencia entre los valores del límite líquido (L.L.) y del límite plástico (L.P.) da el llamado Índice Plástico (I.P.) del suelo. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla. Cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo se dice que es no plástico (N.P.), y en ese caso el índice plástico se dice que es igual a cero. El índice de plasticidad indica el

rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico.

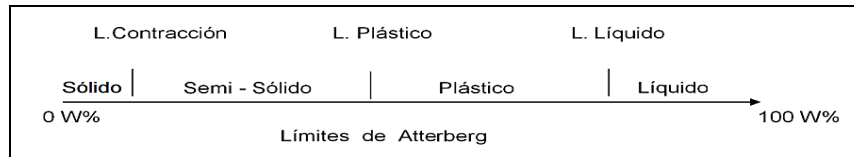


Figura 2: Límites de consistencia

Fuente: Crespo Villalaz. Mecánica de suelos y cimentaciones.

### ***Límites de plasticidad***

**Juárez (1980, p.17)** Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales el debido a Atterberg, se mencionará. Atterberg hizo ver que, en primer lugar, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente del contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido en que la arcilla se comporta plásticamente. Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia .

**LÍMITE LÍQUIDO:** la frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico fue llamada por Atterberg límite líquido  $W_{LL}$ . Ninguna de las pruebas para determinar los límites de Atterberg es difícil de ejecutar, requiere de cierta experiencia para desarrollar la técnica necesaria para obtener resultados reproducibles. La determinación del límite líquido se hace comúnmente utilizando un aparato mecánico, diseñado por Casagrande; se coloca una muestra del suelo remoldeado en la copa, y se hace una ranura de 2mm de ancho en su base y de 8mm de altura, en el centro de la pasta del suelo .

Luego, el operador da vuelta a la manivela que levanta la copa a cierta altura de manera que el punto de contacto entre la copa y la base quede a 1cm sobre la base. Desde esta posición, la copa cae libremente. El suelo está en el límite líquido, si se requieren 25 golpes para hacer que los extremos inferiores de la ranura queden en contacto entre sí, en una

longitud de 13mm (0.5"). La humedad que tenga la muestra cuando se le da este número de golpes es el límite líquido.

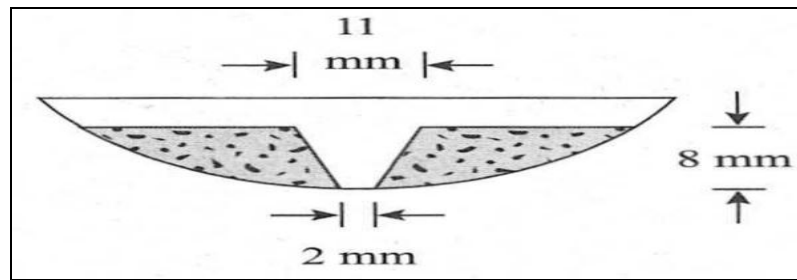


Figura 3: Dimensiones de la ranura en la copa de Casagrande para determinar el límite líquido

Fuente: Juárez Badillo, Rico Rodríguez. Mecánica de suelos.

A partir de investigaciones de los resultados obtenidos por Atterberg con su método original y usando determinaciones efectuadas por diferentes operadores en varios laboratorios, se estableció que el límite líquido obtenido por medio de la copa de Casagrande corresponde al de Atterberg, se define como el contenido de agua del suelo para que la ranura se cierre a lo largo de 1.27cm (1/2"), con 25 golpes en la copa .

Esta correlación permitió incorporar a la experiencia actual toda la adquirida previamente al uso de la copa. De hecho, el límite líquido se determina conociendo 3 o 4 contenidos de agua diferente en su vecindad, con los correspondientes números de golpes y trazando la curva. Contenido de agua – Número de golpes. La ordenada de esa curva correspondiente a la abscisa de 25 golpes es el contenido de agua correspondiente al límite líquido (Juárez, 1980, p.17) .

**LÍMITE PLÁSTICO:** La frontera convencional entre el estado plástico y semisólido, fue llamado por Atterberg límite plástico  $W_{PP}$ , definido también en términos de una manipulación de laboratorio. La determinación del límite plástico se ejecuta, formando cilindros delgados con una muestra de suelo plástico con un diámetro de 3mm. Si el suelo no se desmorona, se recoge el cilindro, se vuelve a amasar y se rola de nuevo. Se repite este proceso, hasta que el cilindro se comienza a desmoronar, precisamente cuando adquiere el



diámetro de 3mm. A la humedad a la que se desmorone y agriete el cilindro se la define como límite plástico (López, 2008, p.18) .

**ÍNDICE DE PLASTICIDAD:** La amplitud de variación de la humedad, en la cual el sistema se comporta como material plástico, se llama frecuentemente intervalo plástico, y la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico se le llama índice de plasticidad I.P. El límite líquido y el índice de plasticidad constituyen unidos una medida de la plasticidad de un suelo. Los suelos que poseen  $W_{LL}$  (límite líquido) e I.P. de grandes valores se dicen que son muy plásticos. A los que tienen bajos valores se les llama ligeramente plásticos. La interpretación de las pruebas de los límites líquido y plástico se facilita usando la carta de plasticidad desarrollada por Casagrande .

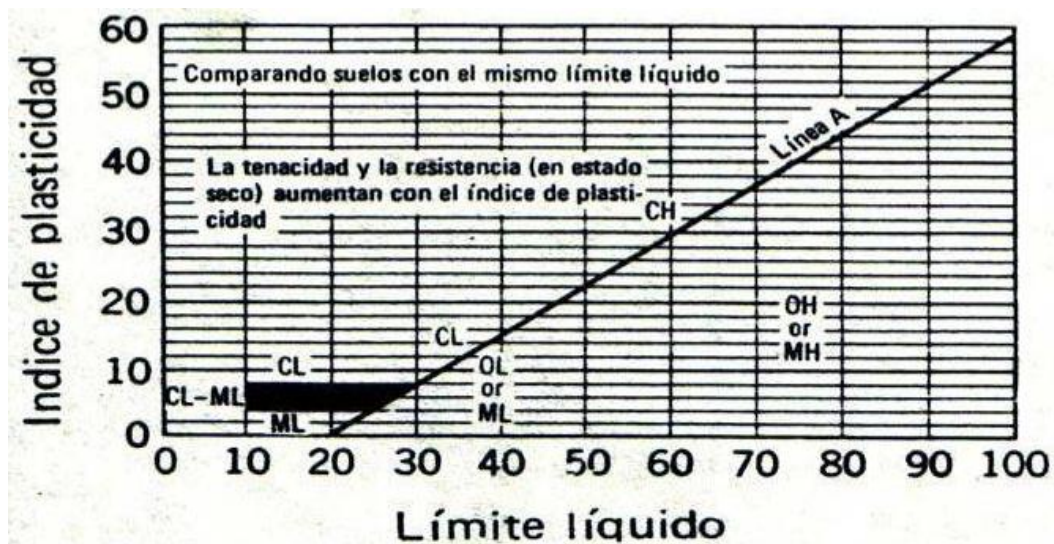


Figura 4: Carta de Plasticidad

Fuente: López Ruiz, José Emilio. Análisis estructural del edificio existente de bioterio

### C. Propiedades mecánicas el suelo

#### **Compactación**

**Chang (2009)** Es el proceso de empaquetamiento de las partículas de suelo más cercanamente posible por medio mecánico aumentando la densidad seca. Las partículas sólidas son empaquetadas lo más cercanamente por medios mecánicos aumentando la densidad seca. Se reduce la relación de vacíos. Poca o no reducción del contenido de agua.

Los vacíos no pueden eliminarse por compactación, por control de ellos se reducen al mínimo (p.20) .

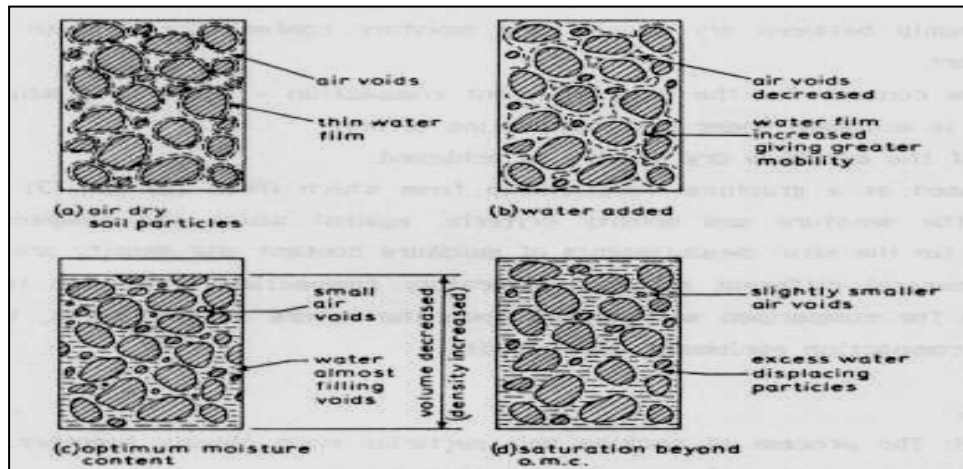


Figura 5: Representación de la compactación de los granos de suelo.

Fuente: Chang Chang Luis. Universidad Nacional de Ingeniería. FIC-CISMID. Compactación.

A bajo contenido de agua el grano de suelo es rodeado por una delgada película de agua.

“El agua adicional permite juntar los granos más fácilmente”.

“El aire es desplazado y la densidad seca es incrementada”.

“La adición de agua permite expulsar el aire durante la compactación”.

“Los granos de suelo se muestran lo más cercanos posibles hasta cierto punto y de ahí aumenta la cohesión”.

“Cuando la cantidad de agua excede lo requerido, el exceso de agua empuja los granos de suelo hacia fuera y la densidad adquirida disminuye”.

“A mayor contenido de humedad, el aire es desplazado por la compactación y la densidad continúa disminuyendo”.

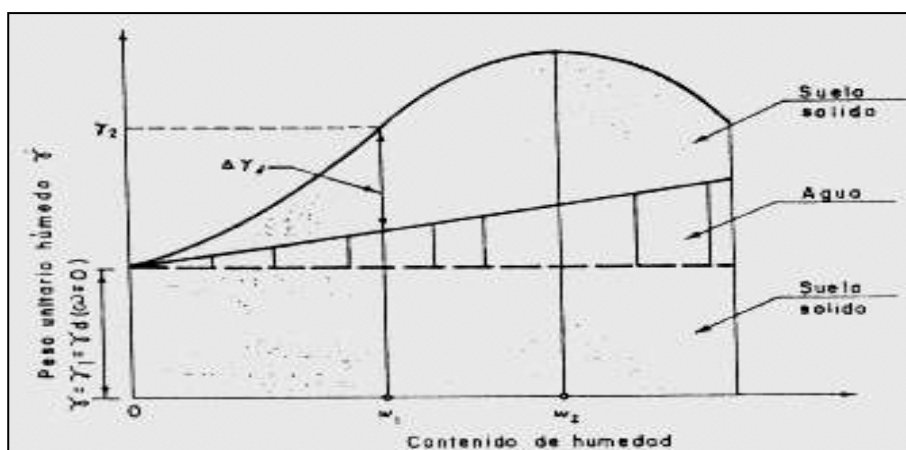


Figura 6: Principio de compactación.

Fuente: Chang Chang Luis. Universidad nacional de Ingeniería. FIC-CISMID.  
Compactación

“Para realizar la compactación se realizan pruebas estándar de laboratorio usadas para evaluar los pesos específicos secos máximos y los contenidos óptimos de agua para varios suelos son”:

- “Prueba Proctor estándar (ASTM D-698)”
- “Prueba Proctor modificada (ASTM D-1557)”

El suelo se compacta en un molde en varias capas por medio de un pizón. El contenido de agua,  $w$ , del suelo se cambia y se determina el peso específico seco,  $\gamma_d$ , de compactación en cada prueba. El peso específico seco máximo de compactación y el correspondiente contenido óptimo de agua se determinan graficando  $\gamma_d$  versus  $w$  (%). (Das Braja, 2006, p.15)

Tabla 3: Especificaciones para la prueba Proctor estándar (ASTM D-698)

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	4 pulg (101.6 mm)	4 pulg (101.6 mm)	6 pulg (152.4 mm)
Volumen del molde	0.0333 pie <sup>3</sup> (944 cm <sup>3</sup> )	0.0333 pie <sup>3</sup> (944 cm <sup>3</sup> )	0.075 pie <sup>3</sup> (2124 cm <sup>3</sup> )
Peso del pizón	5.5 lb (2.5 kg)	5.5 lb (2.5 kg)	5.5 lb (2.5 kg)
Altura de caída del pizón	12 pulg (304.8 mm)	12 pulg (304.8 mm)	12 pulg (304.8 mm)
Número de golpes de pizón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación	12,400 pie-lb/pie <sup>3</sup> (600 kN-m/m <sup>3</sup> )	12,400 pie-lb/pie <sup>3</sup> (600 kN-m/m <sup>3</sup> )	12,400 pie-lb/pie <sup>3</sup> (600 kN-m/m <sup>3</sup> )
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla No. 4 (4.57 mm). Puede usarse si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla No. 4.	Porción que pasa la malla de $\frac{3}{8}$ -pulg (9.5 mm). Puede usarse si el suelo retenido sobre la malla No. 4 es más del 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de $\frac{3}{8}$ -pulg (9.5 mm).	Porción que pasa la malla de $\frac{3}{4}$ -pulg (19.0 mm). Puede usarse si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de $\frac{3}{8}$ -pulg (9.5 mm) y menos de 30% por peso es retenido en la malla de $\frac{3}{4}$ -pulg (19.00 mm).

Fuente: Das Braja M. Principios de Ingeniería de Cimentaciones.

Tabla 4: Especificaciones para la prueba Proctor Modificado (ASTM D-1557)

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	4 pulg (101.6 mm)	4 pulg (101.6 mm)	6 pulg (152.4 mm)
Volumen del molde	0.0333 pie <sup>3</sup> (944 cm <sup>3</sup> )	0.0333 pie <sup>3</sup> (944 cm <sup>3</sup> )	0.075 pie <sup>3</sup> (2124 cm <sup>3</sup> )
Peso del pizón	10 lb (4.54 kg)	10 lb (4.54 kg)	10 lb (4.54 kg)
Altura de caída del pizón	18 pulg (457.2 mm)	18 pulg (457.2 mm)	18 pulg (457.2 mm)
Número de golpes de pizón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	56,000 pie-lb/pie <sup>3</sup> (2700 kN-m/m <sup>3</sup> )	56,000 pie-lb/pie <sup>3</sup> (2700 kN-m/m <sup>3</sup> )	56,000 pie-lb/pie <sup>3</sup> (2700 kN-m/m <sup>3</sup> )
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla No. 4 (4.75 mm). Puede usarse si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla No. 4.	Porción que pasa la malla de $\frac{3}{8}$ -pulg (9.5 mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla No. 4 es más de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de $\frac{3}{8}$ -pulg (9.5 mm).	Porción que pasa la malla de $\frac{3}{4}$ -pulg (19.0 mm). Puede usarse si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de $\frac{3}{8}$ -pulg (9.5 mm) y menos de 30% por peso es retenido en la malla de $\frac{3}{4}$ -pulg (19.0 mm).

Fuente: Das Braja M. Principios de Ingeniería de Cimentaciones

### **Capacidad de soporte (CBR)**

**(Joseph E. Bowles. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil)**

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, California Bearing Ratio) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcciones de carreteras y aeropuertos. El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un porcentaje de la relación de soporte. El porcentaje CBR (o simplemente CBR), definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado. (Hernández, 2008, p.21)

Tabla 5: Cálculo del Índice del CBR

$$\% \text{ CBR} = \frac{\text{CARGA UNITARIA DEL ENSAYO} \times 100}{\text{CARGA UNITARIA PATRÓN}}$$

---

---

Fuente: Crespo (2004)

El número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero, por ejemplo: 30, 45, 98, etc. Los valores de carga unitaria que se utilizan en la ecuación son :

Tabla 6: Valores de carga unitaria

Penetración		Carga unitaria patrón		Carga estándar
mm	plg	Mpa	lb/plg <sup>2</sup>	lb
2.50	0.10	6.90	1,000	3,000
5.00	0.20	10.30	1,500	4,500
7.50	0.30	13.00	1,900	5,700
10.00	0.40	16.00	2,300	6,100
12.70	0.50	18.00	2,600	7,800

Fuente: Joseph E. Bowles. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil

El número CBR se basa en la relación de carga para una penetración de 0.1plg. (2.5mm). Si el valor de CBR a una penetración de 0.2plg. (5mm) es mayor, el ensayo debe repetirse. Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de CBR mayor de 0.2plg de penetración, dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación estándar o modificada. ASTM D698 o D1557 .

Se preparan tres probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es 56, 25 y 12 golpes). El suelo al cual se aplica el ensayo, debe contener una pequeña cantidad de material que pase por el tamiz de dos pulgadas (50mm) y quede retenido en el tamiz de  $\frac{3}{4}$  plg

(19mm), se recomienda que esta fracción no exceda del 20%. Antes de determinar la resistencia a la penetración generalmente, las probetas se saturan durante 96 horas, con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento; para simular las condiciones de trabajo más desfavorables. Pero en ningún caso el peso de la sobrecarga será menor de 4.5kg .

Es necesario durante este período tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del período de saturación se hace la penetración para obtener el valor de CBR para el suelo en condiciones de saturación completa. En ambos ensayos de penetración, para determinar los valores de CBR se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud que se utilizó durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos :

- Brindar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.
- Indica la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 0.05plg/min (1.27mm/min). Se toman lecturas de carga contra penetración a cada 0.02plg (0.5mm) hasta llegar a un valor de 0.2plg (5.0mm) a partir del cual se toman lecturas con incrementos de 0.1plg (2.5mm) hasta obtener una penetración total de 0.5plg (12.7mm). El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos para utilizarlos como base y sub-rasante en pavimentos de carreteras y aeropistas.

Tabla 7: Clasificación típica para el uso de diferentes materiales

No CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM,	A2, A4, A6, A7

			SP	
20-25	Bueno	Base; Sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Joseph E. Bowles. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil, p. 191

El número CBR es un índice del valor o capacidad soporte de un suelo. Un CBR de dos o tres por ciento indicará que el material tiene una capacidad soporte muy baja; otro CBR de 60 ó 70% mostrará un material de buena resistencia, apto para capa de base de pavimentos. El CBR significa la relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles. La prueba de CBR comprende tres ensayos fundamentales:

- “Determinación de la densidad y humedad de la muestra compactada”.
- “Determinación de las propiedades expansivas del material, porcentaje de hinchamiento (expansión) o swelling”.
- “Determinación de la resistencia a la penetración”.

#### **D. Sistema de clasificación AASHTO: (Braja – 2010)**

Este sistema de clasificación fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos). Ha sufrido varias revisiones, con la versión actual propuesta por el Committee on Classification of Materials for Sub grades and Granular Type Roads of the Highway Research Board (Comité para la Clasificación de Materiales para Sub rasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras) en 1945 (Prueba D-3282 de la ASTM; método AASHTO M145) .

El Sistema de Clasificación AASHTO actualmente en uso, se muestra en la tabla 1. De acuerdo con éste, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 Y A-7 .

La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

- “**Tamaño del grano Grava:** fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm)”.
- “**Arena:** fracción que pasa la malla No. 10 (2 mm) US. Y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm)”.
- “**Limo y arcilla:** fracción que pasa la malla No. 200”.

Tabla 8: Clasificación de materiales para sub rasantes de carreteras.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales							
componentes significativos	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes			De excelente a bueno				



Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Clasificación de grupo	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos				
	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de los sobrantes				
	De mediano a pobre			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

- **Plasticidad:** El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor .

“Si cantos **rodados y boleas** (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra”.

Para clasificar un suelo de acuerdo con la tabla 1, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta. Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para sub rasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (GI) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de sub grupo. El índice de grupo está dado por la ecuación :

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dónde: F = por ciento que pasa la malla No. 200

LL = límite líquido

P = índice de plasticidad

El primer término de la ecuación, es decir,  $(F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)]$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido. El segundo término, es decir  $0.01 (F - 15) (PI - 10)$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad. A continuación, se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo :

- “Si la ecuación da un valor negativo para GI, éste se toma igual a 0”.
- “El índice de grupo calculado con la ecuación se redondea al número entero más cercano”.
- “No hay un límite superior para el índice de grupo”.
- “El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, Y A-3 siempre es 0. 5”.
- “Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial para PI”.

$$GI = 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para sub rasantes es inversamente proporcional al índice de grupo.

### E. Mejoramiento de suelos

Es un proceso que tiene por objeto aumentar su resistencia, su durabilidad, su insensibilidad al agua y otros aspectos relacionados con el fin perseguido. Entre los métodos para mejorar el suelo sobre el cual se asienta una carretera tenemos :

Tabla 9: Clasificación de materiales para sub rasantes de carreteras.

	<b>Físicos</b>	Confinamiento (suelos no cohesivos).
		Preconsolidación (suelos cohesivos).
<b>Métodos</b>	<b>Químicos (Estabilizaciones)</b>	Mezclas (suelo con suelo).
		Vibroflotación.
		Con cemento.
		Con asfalto.
		Con Sal
		Con cal
		Con otras sustancias: (Sales como la

Fuente: la ingeniería de suelos en las vías terrestres, RICO RODRIGUEZ, ALONSO Y DEL CASTILLO, Hemilio, Editorial Limusa S.A., 1974, México.

- **Métodos físicos**

Los métodos físicos de mejoramiento de suelos incluyen:

**Confinamiento (suelos no cohesivos):** El confinamiento de un depósito de suelo puede lograrse con la aplicación de columnas de grava, cuya construcción implica el reemplazo parcial de entre un 15 y 35% del suelo, que usualmente penetra hasta alcanzar un estrato resistente. La presencia de la columna crea un material compuesto de menor compresibilidad media y de mayor resistencia al corte que la del suelo natural. Los procedimientos para su construcción incluyen la vibrosustitución, que consiste en introducir un tubo por vibración, con inyección en la hincada para llegar hasta la profundidad máxima. El orificio se rellena luego con material de aporte (grava de tamaños en el rango de 2 a 80 mm); o bien con pilotes de grava, para lo cual se encamisada la perforación y, alcanzado el nivel previsto se la rellena, para luego extraer la camisa.

**Preconsolidación (suelos cohesivos):** La preconsolidación se logra aplicando una sobrecarga sobre un depósito de suelo, la que debe exceder la carga máxima que este va a soportar. Se busca así que la consolidación parcial sea equivalente al mayor grado que alcanzará con la carga máxima, la que requerirá mayor tiempo para producirse .

El proceso puede acelerarse por medio de drenes verticales, conectados en su parte superior por un manto de arena que permita la liberación de la humedad.

**Mezclas de suelos:** La mezcla de suelos requiere la realización de una serie de ensayos, con el fin de evaluar las características de cada uno de los tipos de suelo que se desean mezclar. Este método requiere la remoción de gran cantidad de material de la superficie y no resulta práctico para el mejoramiento mecánico de depósitos de gran profundidad, por lo que su uso se limita a obras viales .

**Vibroflotación:** La vibroflotación es un método apto para suelos granulares con un bajo contenido de finos. Consiste en introducir en el terreno un tubo con una cabeza vibratoria, cuya acción producirá un reacomodamiento de sus granos, lo que aumentará su densidad. El método se aplica siguiendo una red de geometría diseñada en la superficie del terreno, de forma tal que el tratamiento alcance la totalidad del depósito. Tiene la ventaja de alcanzar profundidades importantes sin afectar edificaciones cercanas. Conforme se retira la cabeza vibratoria, el espacio vacío se rellena con material de aporte. En la superficie puede ser necesario agregar un cierto volumen de material para compensar la pérdida de volumen por el reacomodo de los granos.

#### - **Métodos químicos**

La estabilización química se refiere al cambio de las propiedades de suelos logrado mediante la adición de cementantes orgánicos, inorgánicos o sustancias químicas especiales.

Es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio .

**Con cemento:** Se mezcla el suelo con cemento Portland, lo que genera dos procesos: a) los silicatos cálcicos del cemento afectan al agua convirtiéndola en alcalina. La abundancia de calcio es usada por el suelo para modificar sus cargas superficiales; b) una vez que los iones de calcio son absorbidos por el suelo, el cemento se adhiere a sus partículas, para originar una cohesión que aumenta la resistencia al corte del material. Para que el proceso sea aceptable es necesario modificar la humedad del material, compactar a la máxima densidad e incorporar suficiente cemento para que se reduzca la pérdida de peso o se produzcan cambios de

volumen y humedad. Prácticamente todos los suelos pueden tratarse con este método, pero si los materiales son mal graduados se requerirá mayor cantidad de cemento para lograr el efecto deseado .

**“Con asfalto:** Al mezclar las partículas granulares con asfalto, se produce un material más durable y resistente. También se le agregan algunas partículas finas para llenar los vacíos. Es importante el contenido de humedad del material al anexar el asfalto y también esperar a que se evaporen los gases que este contiene antes de tenderlo y compactarlo”.

**Con sales:** Se forman a partir de la neutralización de un ácido con una base. Las sales normales tales como el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) o cloruro de potasio (KCl) son sales completamente neutralizadas, es decir que no contienen exceso de iones ácidos de hidrógeno (H<sup>+</sup>) ni básicos de hidróxilo (OH<sup>-</sup>). Se designan como sales ácidas aquellas que contienen exceso de iones de hidrógeno, como el bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>) y a las que contienen exceso de iones hidroxilo se les designa como sales básicas. En el laboratorio, se han estudiado, un gran número de sales (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, BaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, KCl) pero tanto la economía como su disponibilidad han hecho que solamente se utilicen algunas, siendo las más utilizadas el cloruro de sodio y el cloruro de calcio .

#### - **Métodos mecánicos**

**Compactación de Suelos:** Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo- deformación de los suelos. La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos; es la primera etapa del proceso de estabilización de los suelos que tiene como objetivo principal el obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda vida útil de la obra. La compactación ha figurado

entre las técnicas de construcción desde las épocas más remotas de la que se tiene noticia. Los métodos de apisonado por el paso de las personas o animales se utilizaron en épocas muy lejanas, como por ejemplo en la construcción de grandes obras hidráulicas en diversas partes de Asia .

Las principales variables que afectan el proceso de compactación de los suelos son:

La naturaleza del suelo: La clase de suelo —arcilloso, grueso o finos— con la que se trabaja es una de las variables que influye de manera decisiva en el proceso de compactación de los suelos; tal es así que las técnicas y resultados que se obtengan responderán a un tipo de suelo .

“El método de compactación: Los métodos de compactación pueden ser por impactos, por amasado, por aplicación de carga estática o por vibración”.

“La energía específica: Entendida como tal a la energía que se entrega al suelo por unidad de volumen; es decir, es la energía de compactación”.

“El contenido de agua original del suelo: Se refiere este concepto al contenido natural de agua que el suelo poseía antes de añadirle o quitarle humedad para compactarlo, en busca del contenido óptimo”.

La temperatura: Ejerce un importante efecto en los procesos de compactación de campo, en primer lugar, por efectos de evaporación del agua incorporada al suelo o de condensación de la humedad ambiente en el mismo .

## **2.2.2. PAVIMENTOS:**

### **A. Definición**

**(German Vivar Romero-Diseño y Construcción de Pavimentos. Colección del Ingeniero Civil).** Se llama pavimento a la capa o conjunto de capas comprendida entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Como función estructural un pavimento tiene la de transmitir adecuadamente los

esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial .

## **B. Capas que conforman un pavimento**

**(German Vivar Romero-Diseño y Construcción de Pavimentos. Colección del Ingeniero Civil).** Un pavimento esta pues constituido de abajo hacia arriba, por las siguientes capas:

### ***Suelo de Fundación***

En términos generales, es el terreno conformado por suelo, roca o mezcla de ambos, en corte, relleno o en corte y relleno compensados, cuya porción nivelada, perfilada y compactada, sirva de soporte al pavimento. Los suelos de fundación en corte pueden encontrarse en la naturaleza en bancos uniformes de suelos granulares, cohesivos o intermedios .

### ***Sub-rasante***

Es la porción superior del suelo de fundación que ha sido nivelada, perfilada y compactada y que servirá de apoyo a las diferentes capas del pavimento.

En lo que respecta a su calidad el MTC distingue dos grupos de materiales:

- “Para sub-rasante: Cualquier tipo de suelo exceptuando materiales blandos e inestables que no sean factibles de compactar, pedrones y lechos de roca”.
- “Para sub rasante especial: Cualquier suelo que cumpla una de las gradaciones siguientes y que además consista de partículas duras y durables de escorias, piedras o gravas tamizadas o trituradas, libres de residuos vegetales, grumos o terrones de arcilla”:

La capacidad de soporte de la sub-rasante se mide con el CBR (California Bearing Ratio o Relación Soporte de California-Norma ASSHTO T193-81) para el caso de pavimentos flexibles, y con el módulo k de Reacción de las Sub-rasante (o Coeficiente de Balasto- AASHTO T 221-90) para el caso de pavimentos rígidos .

“Una sub-rasante puede ser de buena, regular o mala calidad según su CBR este comprendido entre 60% y 100%, 10% y 60% o 0% y 10%, respectivamente. Si la sub-rasante es buena, puede servir de apoyo

directamente a la Superficie de Rodadura; si es mala, conviene estudiar la posibilidad de reemplazarla o estabilizarla con materiales de mejor calidad”.

En lo que respecta a su grado de compactación de las sub-rasantes, el MTC especifica un mínimo de 95% de su Máxima Densidad Seca Proctor modificado (AASHTO T180) cuando el suelo es granular y tiene un máximo de 10% que pasa la malla N°200, con un índice de Plasticidad de 6% o menos. Cuando el suelo es limoso, limo-arenoso o arcilloso, con índice plástico mayor de 10%, el MTC especifica un mínimo de 95% de su Máxima Densidad Seca Proctor Estándar (AASHTO T99), recomendando que durante la compactación no se exceda el Optimo Contenido de Humedad en más de 2% .

La Especificación Estándar AASHTO M57-80 (1990), especifica que los materiales que clasifican como A-1 (gravas), A-2-4, A-2-5 (arenas) o A-3 (limos), deben ser usados como sub-rasante cuando estén disponibles, debiendo compactarse a no menos del 95% de su Máxima Densidad Seca AASHTO T99. Los materiales que clasifican como A-2-6, A-2-7 (arenas), A-4 (limos), A-5, A-6 ó A-7 (arcillas), pueden ser usados si son compactados en la profundidad especificada a no menos del 95% de su Máxima AASHTO T99 y dentro de los puntos porcentuales de su optimo contenido de humedad .

La Sub-rasante es de vital importancia en la permanencia de los pavimentos y muchas causas de falla se encuentran en ella, por tal motivo debe ponerse especial cuidado en su selección, tratamiento y compactación.

### ***Sub-base***

Es un material de préstamo que se coloca entre la Sub-base y la Base en un pavimento flexible o entre la Sub-rasante y las losas en un pavimento rígido, para cumplir la función de la capa drenante, anticontaminante y/o resistente.

Como capa drenante para facilitar la evacuación lateral de las aguas provenientes del nivel freático, de aniegos o de infiltración a través de las juntas en el caso de un pavimento rígido.



Como anticontaminante, para impedir que las gravas y piedras de la base se introduzcan en una sub-rasante blanda, para minimizar el efecto dañino por causa de las heladas por arcillas expansivas, o para evitar que las losas en un pavimento rígido se vean atascadas químicamente por aguas o suelos agresivos al concreto de cemento Portland. Y como capa resistente en un pavimento flexible en función de su espesor y de su Coeficiente de Resistencia Relativa .

“En un pavimento rígido su contribución a la resistencia del conjunto es mínima, teniendo más bien por función adicional el distribuir sobre la sub-rasante las cargas recibidas de las losas de manera uniforme y con valores aceptados por ella, así como prevenir la migración de finos de la sub-rasante hacia la rasante a través de las juntas en el conocido fenómeno de bombeo”.

Según el MTC, la sub-base puede ser seleccionada o granular. La sub-base seleccionada es una capa de material con los límites de gradación de una arena para concreto (AASHTO M 6-87) que va ubicada entre la sub-rasante y la sub-base granular y tienen como función primordial la de capa anticontaminante. Las Especificaciones para Construcción de Carreteras del MTC también permiten sub-bases seleccionadas de materiales de relaves (residuos de la flotación de minerales), siempre que no sean plásticos .

“El valor del CBR característico de la sub-base seleccionada es de 15% o más y su densidad compactada no será inferior al 95% de la máxima densidad Proctor Modificado (AASHTO T-180)”.

El grado de compactación al que se debe llevar la Sub-base Granular debe ser por lo menos el 100% de su Máxima Densidad Seca Teórica Proctor Modificado.

### **Base**

Que es el principal elemento estructural en los pavimentos flexibles y que en los pavimentos rígidos puede reemplazar a la Sub-base, pudiendo ser de aglomerados con asfalto (como en el caso de las Bases Negras y estabilizadas), de agregados aglomerados con cemento Portland (como en el caso de las bases estabilizadas con cemento o las bases de concreto

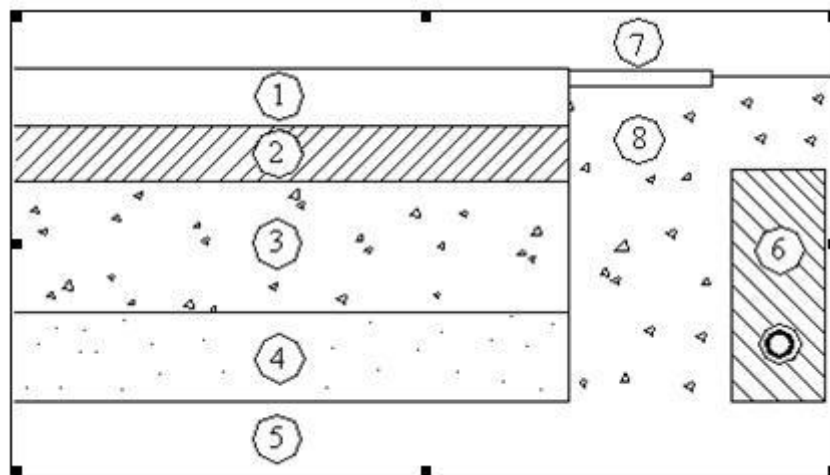
compactado con rodillo); o en suelos sin aglomerar como en el caso de los pavimentos rígidos, constituye además el principal elemento estructural .

Un pavimento flexible va colocado sobre la sub –rasante o sub-base y debajo de la superficie de rodadura.

En un pavimento rígido se coloca debajo de las losas de concreto de cemento Portland y tiene las mismas características y funciones que la sub-base, por eso muchas veces se le denomina indistintamente con uno u otro nombre.

### **Capa de desgaste o Superficie de Rodadura**

Que es la capa más superficial, que estará en contacto con las sollicitaciones y tiene como función principal el proporcionar una superficie suave al deslizamiento y resistente al desgaste. En el caso de los pavimentos rígidos, constituye además el principal elemento estructural .



**Figura 7.** Sección Típica de un Pavimento

- |                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. Capa de Rodadura | 5. Subrasante                 |
| 2. Capa Base        | 6. Sub-Drenaje Longitudinal   |
| 3. Capa Sub-base    | 7. Revestimiento de Hombreras |
| 4. Suelo Compactado | 8. Sub-Base de Hombreras      |

Fuente: Becerril y Miranda, 2016 (p.10)

## **C. Tipos de pavimentos**

(CESPEDES. Los pavimentos en las Vías Terrestres, Calles, Carreteras y Aeropistas; pág. 37-40). Por sus capas superiores y superficie de rodadura pueden ser clasificados como sigue:

- **Pavimentos flexibles:**

Pertenecen a este tipo, los pavimentos que están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas —la base y la sub-base—; de calidad descendente hacia abajo. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas. Los pavimentos Flexibles a su vez se subdividen en los siguientes tipos :

- ✓ “Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una superficie bituminosa de espesor variable menor a 25 mm, como son los tratamientos superficiales bicapa y tricapa”.
- ✓ “Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una capa bituminosa de espesor variable mayor a 25 mm, como son las carpetas asfálticas en frío y en caliente”.

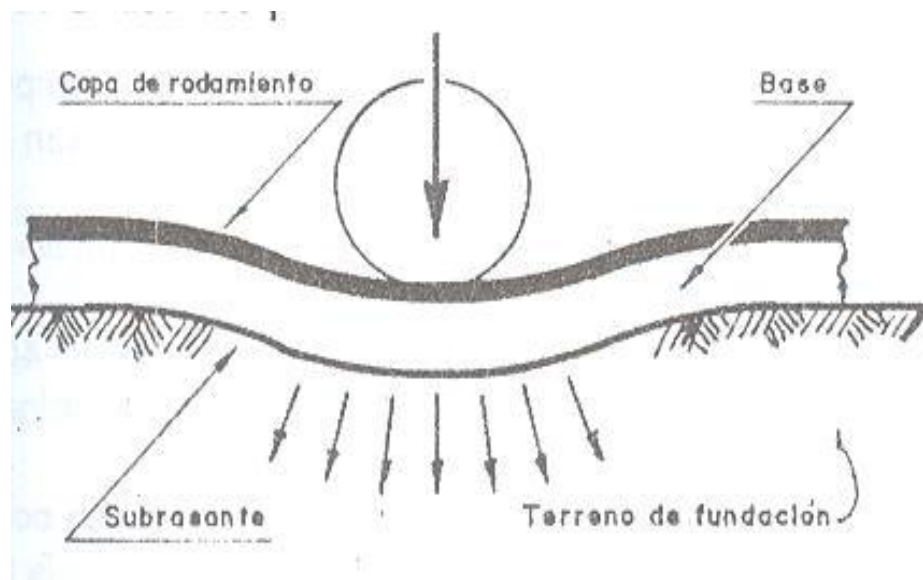


Figura 8: Distribución de cargas - pavimento flexible

**Fuente:** CESPEDES. Los pavimentos en las Vías Terrestres, Calles, Carreteras y Aeropistas; pág. 37-40.

- **Pavimentos semirrígidos:**

Conformados con solo capas asfálticas o por adoquines de concreto sobre una capa granular, cuando la necesidad lo justifique el uso de estos pavimentos el proyectista deberá recurrir a los manuales de diseño correspondiente.

- **Pavimentos rígidos:**

Conformado por losa de concreto hidráulico o cemento Portland sobre una capa granular; es decir, están apoyados sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado compuesta por grava y arena. Los pavimentos rígidos, no necesariamente tienen recubrimiento bituminoso. Cuando la necesidad lo justifique el uso de estos pavimentos el proyectista deberá recurrir a los manuales AASHTO o similares .

“La principal diferencia entre los pavimentos flexibles y los rígidos; está en la forma como se reparten las cargas. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto hidráulico”.

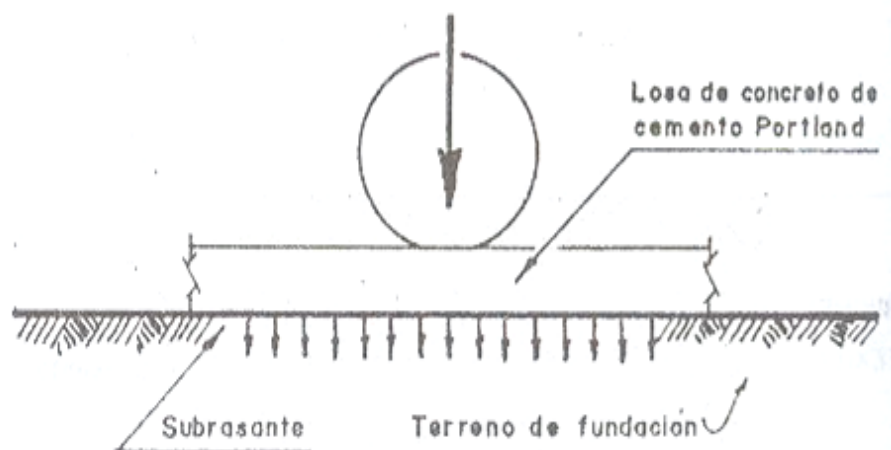


Figura 9: Distribución de cargas - pavimento rígido

**Fuente:** CESPEDES. Los pavimentos en las Vías Terrestres, Calles, Carreteras y Aeropistas; pág. 37-40.

**2.2.3. CARRETERAS:**

## **A. Definición**

### **(MANUAL DE CARRETERAS DISEÑO GEOMÉTRICO DG-2014)**

Es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos terrestres. La carretera se distingue de un camino porque la primera está especialmente concebida para la circulación de vehículos de transporte. El diseño de una carretera y su respectiva superficie de rodadura responde a una necesidad justificada social y económica; es decir, ambos conceptos se correlacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener la carretera que se proyecta a fin de que los resultados buscados sean óptimos, en beneficio de la comunidad que requiere del servicio, la cual normalmente se encuentra en situación de limitaciones muy estrechas de recursos locales y nacionales .

Las carreteras han sido desde siempre el principal medio de desplazamiento de viajeros, y la vía principal para la distribución de mercancías. Al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades, y al fortalecer la integración de los países, las carreteras han sido indispensables en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo. Actualmente, ante un mundo cada vez más integrado, que intercambia más bienes y servicios, la importancia de las carreteras se ha incrementado notablemente, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y, también, el desarrollo social .

Los elementos que integran la sección transversal de una carretera son:

- **Ancho de zona o derecho de vía**
- **Calzada o superficie de rodadura:** Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.
- **Berma:** Es la franja longitudinal, pavimentada o no, comprendida entre el borde exterior de la calzada y la cuneta o talud.

Las bermas protegen el pavimento y sus capas inferiores (que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad), permiten detenciones ocasionales de vehículos y ofrecen espacios adicionales para maniobras de emergencia. Deben estar libres de obstáculos y quedar compactadas homogéneamente en toda su sección .

- **“Carril:** Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales y con ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos”.
- **Cunetas:** Son canales abiertos construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y sub-superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento. La sección transversal puede ser triangular, trapezoidal o rectangular .
- **“Taludes y elementos complementarios:** Los taludes para las secciones en corte variarán de acuerdo a la estabilidad de los terrenos en que están practicados; la altura admisible del talud y su inclinación se determinarán en lo posible, por medio de ensayos y cálculos, aún aproximados”.

## **B. Clasificación de las carreteras**

### **- Clasificación de las Carreteras según su Función**

#### **(MANUAL DE CARRETERAS DISEÑO GEOMÉTRICO DG-2014-MTC)**

“RED VIAL PRIMARIA: Se denomina en el Perú como SISTEMA NACIONAL, conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras”.

“RED VIAL SECUNDARIA: Se denomina en el Perú como SISTEMA DEPARTAMENTAL, constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales”.

“RED VIAL TERCIARIA O LOCAL: Se denomina en el Perú como SISTEMA VECINAL compuesta por”:

- ✓ “Caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones”.
- ✓ “Caminos rurales alimentadores, uniendo aldeas y pequeños asentamientos poblaciones”.

### **- Clasificación de Acuerdo a la Demanda**

## **(MANUAL DE CARRETERAS DISEÑO GEOMÉTRICO DG-2014-MTC)**

“Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda (según el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG -2014) en”:

*AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE:* Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada .

*AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE:* Son carreteras con un IMDA entre 6.00 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada .

*CARRETERAS DE PRIMERA CLASE:* Son carreteras con un IMDA entre 4.000 y 2.001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada”.

*CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE:* Son carreteras con IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a

nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada .

“CARRETERAS DE TERCERA CLASE: Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente. Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase”.

TROCHAS CARROZABLES: Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar .

#### - **Clasificación según Condiciones Orográficas**

##### **(MANUAL DE CARRETERAS DISEÑO GEOMÉTRICO DG-2014-MTC)**

Las carreteras del Perú, en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazado (según el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG -2014), se clasifican en:

“TERRENO PLANO (TIPO 1): Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazado”.



TERRENO ONDULADO (TIPO 2): Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado .

“TERRENO ACCIDENTADO (TIPO 3): Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazado”.

TERRENO ESCARPADO (TIPO 4): Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazado .

- **Clasificación según el tipo de superficie de Rodadura.**

**(MANUAL DE CARRETERAS DISEÑO GEOMÉTRICO DG-2014-MTC)**

Teniendo en cuenta la estructura de la carpeta de rodadura, las carreteras pueden clasificarse en:

CARRETERAS PAVIMENTADAS: Las carreteras pavimentadas son aquellas vías que tienen una estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados (pavimento), que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las solicitaciones que impone el tránsito. Las carreteras pavimentadas son construidas plenamente desde el punto de vista de la ingeniería, donde la superficie de rodamiento está formada por capas de concreto asfálticos, concreto hidráulico o adoquines .

Los costos de transporte de importar material adecuado han promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos localmente disponibles. En muchas ocasiones, las resistencias requeridas pueden obtenerse de un material local de baja calidad, a través de la adición de pequeñas cantidades de agentes estabilizadores (estabilizadores cementantes, asfálticos, entre otros) a un costo relativamente bajo. Estas técnicas son aplicables tanto al reciclado como a nuevas construcciones .

“A través del suplemento de un agente estabilizador, el material recuperado de un pavimento existente puede ser mejorado, eliminando así la necesidad de importar nuevos materiales que cumplan con las resistencias requeridas por la estructura del pavimento”.

*CARRETERAS NO PAVIMENTADAS:* Son aquellas vías que tienen una capa delgada de asfalto o estabilizadas mediante aditivos, pero que no pasaron por un proceso de pavimentación. El manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, ha considerado que básicamente se utilizarán los siguientes materiales y tipos de superficie de rodadura :

- Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- “Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm”.
- Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm .
- Afirmados con gravas naturales o zarandeadas.
- Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.
- Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales: Grava con superficie estabilizada con materiales como:

cal, aditivos químicos y otros. Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, cal, aditivos químicos y otros .

### **C. Obras ejecutadas en carreteras no pavimentadas**

#### **- Mantenimiento de carreteras no pavimentadas**

##### **(MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL – 2014 – MTC).**

En forma general, se define el término mantenimiento vial como el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera, garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro. En el Perú, las carreteras no pavimentadas, conforman el mayor porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), las cuales se caracterizan por tener una superficie de rodadura de material granular. Además, si se toma en consideración el Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial No Pavimentada se distingue dos tipos de trabajos en carreteras no pavimentadas .

#### **- Mantenimiento rutinario**

##### **(MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL – 2014 – MTC)**

Es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan en los diferentes tramos de la vía; estas actividades tienen como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. El mantenimiento rutinario es de carácter preventivo, por tal razón se incluyen como parte de este; a las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras actividades .

“En síntesis, el mantenimiento rutinario como conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus

niveles de servicio, para lo cual se realizan actividades que pueden ser manuales o mecánicas —principalmente labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud, etc. —; también incluye las actividades socio ambientales, de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía”.

- **Mantenimiento periódico.**

**(MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL – 2014 – MTC)**

Es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores. Ejemplos de este mantenimiento son la reconfiguración de la plataforma existente y las reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino .

En otras palabras, el mantenimiento será periódico, cuando el conjunto de actividades programadas cada cierto período, se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio; dichas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de descalaminado, perfilado, nivelación, reposición de material granular, así como reparación o reconstrucción puntual de los puentes y obras de arte .

- **Conservación de carreteras**

**(MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL – 2014 – MTC)**

Dentro de las tareas de conservación pueden distinguirse diferentes niveles; en primer lugar, se sitúa la conservación propiamente dicha, en la cual las actuaciones no conducen a modificaciones sustanciales de los elementos de las carreteras. Dentro de esta conservación se realizan actuaciones periódicas que impiden la aparición de deterioros (conservación preventiva) o bien se actúa lo antes posible cuando esos deterioros han aparecido (conservación curativa) .

“A su vez, la conservación curativa puede dirigirse a la reparación de deterioros localizados (operaciones localizadas) o al tratamiento de tramos de una longitud apreciable (operaciones generales). Dado que la conservación vial involucra muchas actividades. Una de las más importantes es capacitar técnicamente a quienes tienen la tarea de hacerlo y organizar su esfuerzo lo cual por su naturaleza es una tarea permanente”.

Otra de las actividades es la ejecución misma de las obras de conservación, las cuales que deberán realizarse correcta y oportunamente. Como se señaló en las líneas precedentes, la conservación vial está a cargo del Estado, en sus diversos niveles de gobierno; luego, para lograr proteger las carreteras, las autoridades y/o entidades competentes o responsables de la conservación de las obras viales -según el tipo de red vial-, son :

- ✓ “Para la Red Vial Nacional: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones”.
- ✓ “Para la Red Vial Departamental o Regional: El Gobierno Regional a través de su unidad ejecutora de la Gestión Vial”.
- ✓ “Para la Red Vial Vecinal o Rural: Los gobiernos locales a través de sus unidades ejecutoras de gestión vial”.

- **Rehabilitación de las carreteras no pavimentadas.**

**(MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL – 2014 – MTC)**

En un segundo nivel de la conservación se sitúan las rehabilitaciones. En general, se recurre a ellas cuando el paso del tráfico y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales o cuando se quiere hacer frente a nuevas solicitudes no contempladas con anterioridad. Las rehabilitaciones de una carretera no pavimentada incluyen actuaciones de carácter extraordinario —a menudo de aplicación general—, en un tramo de longitud apreciable y cuyo objetivo es un aumento significativo del índice de estado o de comportamiento de la carretera. Las rehabilitaciones pueden referirse a :

“REHABILITACIONES SUPERFICIALES; cuando se trata de rehabilitaciones o renovaciones superficiales. Por ejemplo: Disminuir o eliminar el nivel de polvo que empieza a presenciarse luego de un tiempo después de haberse aplicado el estabilizador”.

REHABILITACIONES SIGNIFICATIVAS. Por ejemplo: Cuando se opta por cambiar el aditivo estabilizador por otro.

REHABILITACIONES ESTRUCTURALES; las que se llevan a cabo habitualmente con el fin de producir un aumento significativo de la capacidad estructural de la carretera. Por ejemplo: Cuando se ensancha la carretera o se opta por la pavimentación .

“EL ENSANCHE DE LA CARRETERA, es un típico caso de rehabilitación estructural; dicho trabajo tiene como fin el aumento de la capacidad de la carretera”.



Figura 10: Trabajos de ensanche en carretera

Fuente: Fotografiado propio.

- **Estabilización de carreteras no pavimentadas.**

**(Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, 2009)**

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.: Es el procedimiento realizado para hacer más estable a un suelo, para lo cual por lo general se siguen dos procesos; el primero y el que siempre acompaña a todas las estabilizaciones, consiste en aumentar la densidad de un suelo compactándola mecánicamente; y, el segundo proceso que consiste en mezclar a un material de granulometría gruesa, otro que carece de esa característica .

La estabilización de suelos es un concepto más amplio y general que el de compactación de suelos, pues esta, además incluye cualquier procedimiento útil para mejorar las propiedades ingenieriles del suelo, como estructura. Rico y Del Castillo, sitúan a la compactación dentro del conjunto de métodos de mejoramiento de suelos que hoy pueden aplicarse. La estabilización de los suelos en la ingeniería práctica —particularmente en las vías terrestres—, ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar el comportamiento del esfuerzo de deformación de los suelos.

El mejoramiento de los suelos ha atendido a diversos requerimientos, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros; buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil. En los terrenos arcillosos, particularmente en climas áridos o semiáridos, es altamente probable encontrar problemas relacionados con las inestabilidades volumétricas ante la ganancia o pérdida de agua .

#### **2.2.4. Estabilización de carreteras no pavimentadas.**

**Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (2009, p. 87).** Existen en la práctica diversos métodos para estabilizar los suelos; cada método, utiliza diferentes agentes estabilizadores, entre los que se pueden encontrar: La cal, el cloruro de sodio, el cemento, los asfaltos, las imprimaciones reforzadas, la Bischofita entre otros; incluso se ha utilizado la combinación de diferentes productos estabilizadores, así como la mezcla de suelos con el fin de dar soluciones óptimas a problemas particulares .

“Según el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas, la capacidad portante o CBR (California Bearing Ratio) de los materiales de las capas de subrasante y del afirmado, deberá estar de acuerdo a los valores de diseño; no se admitirán valores inferiores. En consecuencia, si los materiales a utilizarse en la carretera no cumplen las características generales previamente descritas, se efectuará la estabilización

correspondiente del suelo. De esta forma, se podrán utilizar suelos de características marginales como subrasante o en capas inferiores de la capa de rodadura y suelos granulares de buenas características, pero de estabilidad insuficiente (CBR menor al mínimo requerido) en la capa de afirmado”.

La estabilización puede ser granulométrica o mecánica, conformada por mezclas de dos o más suelos de diferentes características, de tal forma que se obtenga un suelo de mejor granulometría, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad, etc. También la estabilización se realiza mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo .

- **Estabilización química.**

**Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109 (2004, p. 89)**, indica que la estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio .

“Los estabilizadores químicos consideran una amplia variedad de tipos, entre los cuales se encuentran sales, productos enzimáticos, polímeros y subproductos del petróleo. Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado”.

La estabilización química hace referencia principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. El diseño de estabilizaciones con agentes químicos



estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo y de acuerdo a ello determinar el tipo y cantidad de agente estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización. Las características principales de las sustancias químicas usadas como agentes estabilizadores son :

- ✓ Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- ✓ Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- ✓ Productos Asfálticos: es muy usado para material triturado sin cohesión.
- ✓ Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- ✓ Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo.
- ✓ Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- ✓ Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- ✓ Hule de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener presentes las variaciones que se espera lograr en lo que se respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad. El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado. En el cuadro 4 se presenta la respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos. Los aditivos, materiales o agentes a usarse en el proceso de estabilización de las carreteras no pavimentadas son clasificados tal como se detalla en los siguientes apartados.

Tabla 10: Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos.

<b>Componente Dominante</b>	<b>Estabilizante Recomendado</b>	<b>Objetivos</b>
-----------------------------	----------------------------------	------------------

Arenas	- Arcilla de baja plasticidad - Cemento Portland - Asfaltos	- Para estabilización mecánica - Incrementar el peso Volumétrico de la cohesión. - Incrementar la cohesión.
Limos	Dependerá del tipo de minerales que contenga.	-----
Alófanos	Cal	Acción puzolánica e incremento en el peso volumétrico.
Caolín	- Arena - Cemento - Cal	- Para estabilización mecánica. - Para resistencias tempranas - Trabajabilidad y resistencia tardía.
Ilita (Mineral de Arcilla)	- Cemento - Cal	- Igual que el Caolín - Igual que el Caolín
Montmorilonita	- Cal	Trabajabilidad y resistencia reducción de expansiones y contracciones.

### 2.2.5. Estabilización de suelos con cloruro de sodio NaCl.

“El cloruro de sodio (NaCl) se presenta en forma de cristales fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y fáciles de conseguir”.

“Con la adición de cloruro de sodio al agua se puede abatir la temperatura de congelamiento de esta última. Las soluciones que contienen NaCl disuelto 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 cm<sup>2</sup>, 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.**

“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 11: 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. El 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**

### 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/m<sup>3</sup>, 2.2 gr/cm<sup>3</sup>

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 11: Características típicas del cloruro de sodio (NaCl)

Características	Límites
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/](http://www.itson.mx/laboratorios/)

#### - **Aplicación del cloruro de sodio como estabilizador.**

La sal es un estabilizante natural que modifica la estructura del material pétreo mejorando sus propiedades físicas, lo que contribuye a aumentar la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión, y por lo tanto a la disminución de la permeabilidad. Su uso es para todo tipo de suelo, pero su eficacia decrece ante la presencia de material orgánico. Es sabido que el cloruro de sodio es bastante soluble en agua lo cual le permite una fácil y rápida distribución de él dentro de la masa de suelo; así, la sal disuelta es llevada a través de los huecos del suelo, los que va ocupando. Durante el periodo de fraguado, la mezcla suelo-sal va perdiendo humedad. Esta pérdida de agua permite la cristalización del cloruro de sodio dentro de los vacíos del suelo que llena en calidad de sólido. Esto debe producir un aumento en la densidad del suelo .

En lo que respecta a la estabilización de suelos con Cloruro de Sodio se ha discutido mucho en lo concerniente al cambio en el peso volumétrico de una arcilla con la adición de esta sal, pues mientras algunos investigadores aseguran un pequeño incremento, otros no han encontrado tal cosa; pero en lo que sí parece existir un común acuerdo, es en que la adición de sal hace que se disminuya la humedad. Se admite teóricamente que el cloruro de sodio ocasiona que la arcilla se estructure en forma dispersa, produciéndose 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, por lo que no se debe generalizar .

“Al agregar la sal se considera que se reduce la evaporación del agua debido al incremento en la tensión superficial. Sin embargo, cuando la aportación de agua a la superficie expuesta es menor que la evaporación, la superficie se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones”.

“El agua que se use para la construcción de Bases de Suelo – Sal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de aceites, ácidos y álcalis perjudiciales. Se podrá incorporar al agua, sal (Cloruro de Sodio), produciendo salmuera o también podrá aplicarse el agua de mar, mediante riego de salmueras, verificando que la cantidad de agua regada contenga la dosis adecuada de sal”.

“Paul Garnica y otros citando a otros 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 señala las siguientes”:

- ✓ “El peso volumétrico seco y la resistencia a la compresión se incrementan al adicionar cloruro de sodio hasta en un 3%. El límite líquido y el límite plástico se reducen al adicionar cloruro de sodio (Ogawa et al, 1963)”.
- ✓ “La cohesión y el ángulo de fricción interna parecen disminuir al adicionar cloruro de sodio y en especímenes en los que no se permita la pérdida de humedad. Parece que si se permite el secado antes de ensayar los especímenes tanto la cohesión como el ángulo de fricción aumentan de manera importante (Ogura & Uto, 1963)”.
- ✓ “Las partículas de roca caliza parecen ser solubles a soluciones de cloruro de sodio (Wood, 1969)”.
- ✓ “La capacidad de retención de humedad aumenta en los suelos tratados con cloruro de sodio (Marks et al 1970)”.

- **Formas de aplicar el cloruro de sodio en los suelos.**

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: 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.



Figura 12: Aplicación de cloruro de sodio al suelo

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

“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

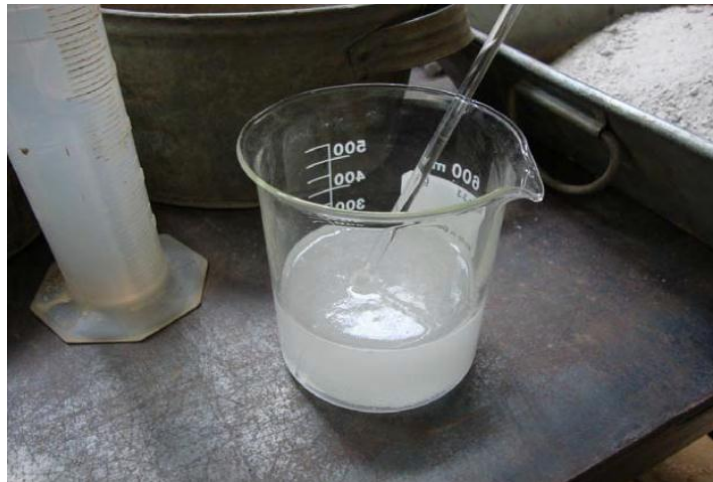


Figura 13: Salmuera

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC



Figura 14: Aplicación de salmuera en laboratorio

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC



Figura 15: Aplicación de salmuera en campo  
Fuente: <http://picasaweb.google.com/lh/photo2>

- **Ventajas y desventajas que proporciona la sal.**

El Cloruro de Sodio (sal común) usado como agente estabilizador, presenta grandes ventajas sobre otros elementos estabilizadores —generalmente no salinos— por la gran cantidad en que se encuentra a través de todo el mundo, su bajo costo y la facilidad de su aplicación .

**Ventajas:**

- ✓ Es un estabilizador natural.
- ✓ Mejora la resistencia y cohesión de los suelos
- ✓ Se requiere de la maquinaria típica en caminos.
- ✓ El tránsito no se interrumpe durante la ejecución de la obra ni durante el periodo de curado.
- ✓ Ausencia de polvo, calamina, material suelto, y ahuellamiento del camino por lo tanto mejora la calidad de vida.
- ✓ Bajo punto de congelamiento.
- ✓ Tránsito más seguro, mejor visibilidad, superficie de rodada más suave.
- ✓ Caminos tratados con sal demandan mantención mínima, y su reparación es sencilla y económica en comparación con otros caminos estabilizados con productos no salinos.
- ✓ Otra ventaja es la reducción en forma considerable del ruido en el exterior del vehículo, debido al texturado superficial más cerrado con la que queda la carpeta con sal.

### Desventajas:

- ✓ Dependiendo del clima, requiere de un periodo de curado de aproximadamente 15 días a temperatura ambiente.
- ✓ Caminos tratados con Sal demandan vigilancia luego de terminado el proceso de estabilizado.
- ✓ A pesar de que el camino puede ser utilizado inmediatamente luego de terminar con la compactación de la carpeta, se deberá tomar como precaución que los vehículos eviten frenen bruscamente ni que aceleren de forma que estos patinen, durante el periodo que dure el fragüe de la carpeta (10 a 15 días) .

## III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Variables

**Variable Dependiente:** Subrasante de la carretera cruce El Porongo, Aeropuerto

**Variable Independiente:** Cloruro de sodio como aditivo.

### 3.2. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	U.M.
(VD) Subrasante de la carretera cruce El Porongo, Aeropuerto - Cajamarca	Suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.	Estudio de suelos consistente en análisis y pruebas de la muestra que ayudó a determinar el porcentaje de arena fina, fragmentos rocosos, el líquido de plasticidad, el índice de humedad dentro de la clasificación AASHTO, la densidad seca según la clasificación SUCS y el contenido de	Análisis	Análisis Granulométrico	%, Grupos de clasificación
				Limite Líquido	%
				Limite Plástico	%
				Contenido de Humedad	%
				Proctor Modificado	%
			Prueba de penetración	California Bearing Ratio	95 % y al 100%

		humedad			
--	--	---------	--	--	--

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	U.M.
(VI) Cloruro de sodio como aditivo	Elemento que ayuda a aumentar el tiempo en el cual los suelos pierden humedad. Por ser higroscópico absorbe la humedad del ambiente y crea una capa blanquecina en la parte superior que funciona como una barrera para evitar que la humedad contenida se evapore rápidamente.	Estabilizante adecuado se incrementa la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima, se obtienen resultados favorables para los porcentajes de CBR, ayuda a la cohesión. Se consideran muestras y %.	Aditivo	% de Incorporación	1%, 2% y 3%
			Comparación	Muestra Patrón	%
				Muestra con 1% aditivo	
				Muestra con 2% aditivo	
				Muestra con 3% aditivo	

### 3.3. Metodología

La metodología a utilizar es experimental, porque se ha manipulado una variable experimental no comprobada, en condiciones controladas, es decir se agregó al suelo en diferentes porcentajes el aditivo NaCl (1%,2% y3% respectivamente), para lograr la estabilización del suelo. Para esto se consideró las siguientes actividades, basados en las normas AASHTO, ASTM y reglamentos vigentes:

- Determinación de los puntos donde se realizarán la excavación de las calicatas.
- Excavación de las calicatas y toma de muestras, cabe indicar que la profundidad de las calicatas estudiadas es de 1.50 m.
- Determinación de los límites de consistencia.
- Análisis granulométrico por lavado.
- Determinación del contenido de humedad.

- Ensayos de Proctor Modificado.
- Ensayos de CBR.
- Procesamientos de datos.
- Conclusiones y recomendaciones.

### **3.4. Tipos de estudio**

El tipo de estudio, teniendo en cuenta el propósito de la investigación es básicamente inductiva, ajustándose a las necesidades requeridas, porque se van a realizar observaciones a nivel de campo y laboratorio, igualmente análisis y clasificación de las muestras del terreno (suelo); toda esta información es debidamente registrada para la validación de la hipótesis.

### **3.5. Diseño**

En la presente Tesis, se determinó la influencia que presenta el aditivo cloruro de sodio en proporciones de 1%, 2% y 3% por metro cúbico de material en la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, para lo cual se desarrollará el siguiente trabajo:

- Evaluación y selección de los pozos de exploración (calicatas).
- Excavación, registro y muestreo de los pozos de exploración.

Para el logro de estos objetivos se recopiló la información mediante los resultados obtenidos en la exploración geotécnica, realizándose los ensayos correspondientes en el laboratorio de mecánica de suelos del Ing. Wilfredo Fernández Muñoz, siguiendo las normas A.S.T.M. y A.A.S.H.T.O. y son los siguientes:

- 08 Análisis granulométrico por tamizado: AASHTO T 88
- 08 Límite líquido: AASHTO T 89 – ASTM D 4318
- 08 Límite plástico: AASHTO T 89 – ASTM D 4318
- 08 Ensayo de Contenido de Humedad: AASHTO T 265 – ASTM D 2216
- 32 Proctor Modificado: AASHTO T 180 – ASTM D 1557
- 32 California Bearing Ratio ( CBR ):AASHTO T 193 – ASTM D 1883

### **3.6. Población, muestra y unidad de análisis**

**Población:** Carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

**Muestra:** Exploraciones geotécnicas o calicatas en carretera tramo Cruce el Porongo-Aeropuerto-Cajamarca.

**Unidad de análisis:** Muestras de las exploraciones geotécnicas o calicatas en carretera tramo Cruce el Porongo-Aeropuerto-Cajamarca, que fueron llevadas al laboratorio.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- Observación y Ficha de Observación.
- Revisión del material Bibliográfico
- Muestreo las exploraciones geotécnicas y calicatas.
- Ensayos de laboratorio: granulometrías, límites de consistencia, ensayos de contenido de humedad, Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR).

### **3.8. Métodos de análisis de datos**

El método de análisis de datos fue a través de estadística descriptivo.

La recolección de datos se lo realizo mediante tabulaciones, las mismas que serán representadas en cuadros de doble entrada, gráficos y ensayos de laboratorio.

### **3.9. Equipos / Materiales**

- **Equipos:**
  - . Retro excavadora.
  - . Copa de casa grande.
  - . Tamices.
  - . Taras.
  - . Espátulas.
  - . Morteros.
  - . Balanzas electrónicas.
  - . Estufas.
  - . Moldes Proctor.
  - OTROS.
  
- **Materiales:**

- . Cloruro de Sodio (NaCl).
- . Bolsas de polietileno.
- . Sacos de polietileno.
- . Palana.
- . Picota.
- . Espátula.
- . Cuadernillo de campo.
- . OTROS.

## **IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS**

### **4.1. Toma de muestras**

Para poder realizar la toma de muestras, se realizó la excavación de los pozos de exploración a cielo abierto o calicatas, ubicadas previo análisis del plano de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, tomándose las muestras de manera disturbada en cada uno de los pozos de exploración, este registro de calicatas se realizó de acuerdo a lo estipulado en la norma técnica ASTM D-2488 (Standard Practice for Description and Identification of Soils -Visual-Manual Procedure-). La cantidad de exploraciones fue de ocho (08), que en la tabla 12, se muestra su respectiva progresiva, así como las coordenadas UTM correspondientes.



Figura 16. Ilustración Google Eart. Vista aérea de la Carretera Tramo Cruce El Porongo Aeropuerto Cajamarca.

Tabla 12. Cuadro de ubicación de calicatas

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	PROGRESIVA	COORDENADAS UTM	
			ESTE	NORTE



C-1	1.5	Km. 00+000	778902	9207254
C-2	1.5	Km. 00+500	779007	9207742
C-3	1.5	Km. 01+000	779136	9208225
C-4	1.5	Km. 01+500	778847	9208477
C-5	1.5	Km. 02+000	778532	9208739
C-6	1.5	Km. 02+500	778563	9209121
C-7	1.5	Km. 03+000	778085	9209247
C-8	1.5	Km. 03+500	777682	9209506

Nota: Fuente elaboración del investigador.

## 4.2. Localización

La carretera en estudio corresponde al tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, ubicada en el distrito de Baños del de Inca, Provincia de Cajamarca y región Cajamarca, la ubicación de las calicatas se realizó tomando en cuenta el plano topográfico de la carretera en estudio. Estas calicatas fueron ubicadas tomándose sus respectivas coordenadas UTM y su progresiva respectiva. Las ubicaciones de cada una de las calicatas se muestran en la tabla 13.

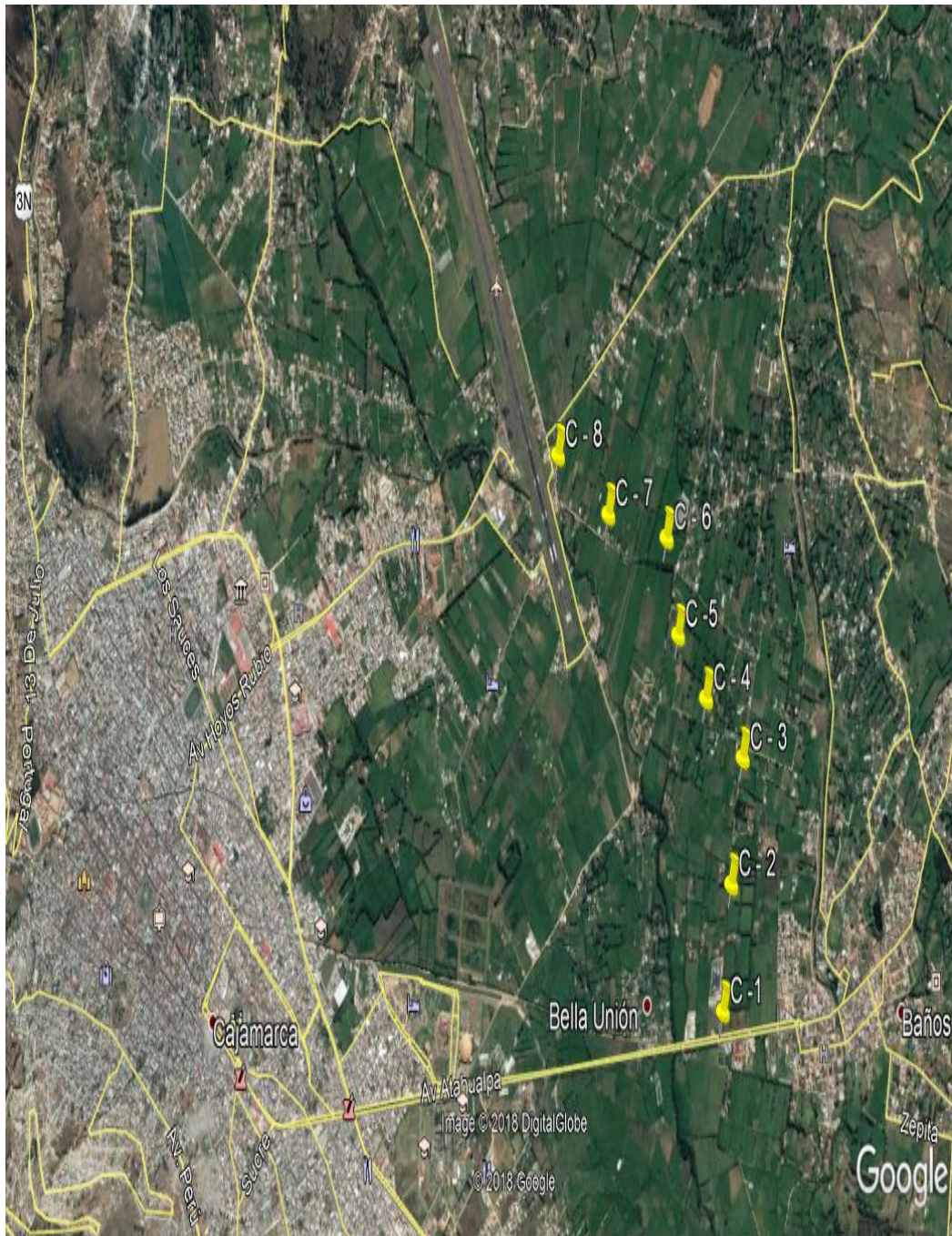


Figura 17: Ubicación de Calicatas

### 4.3. Resultados de los ensayos de laboratorio

#### Límites de consistencia (ASTM D-4318)

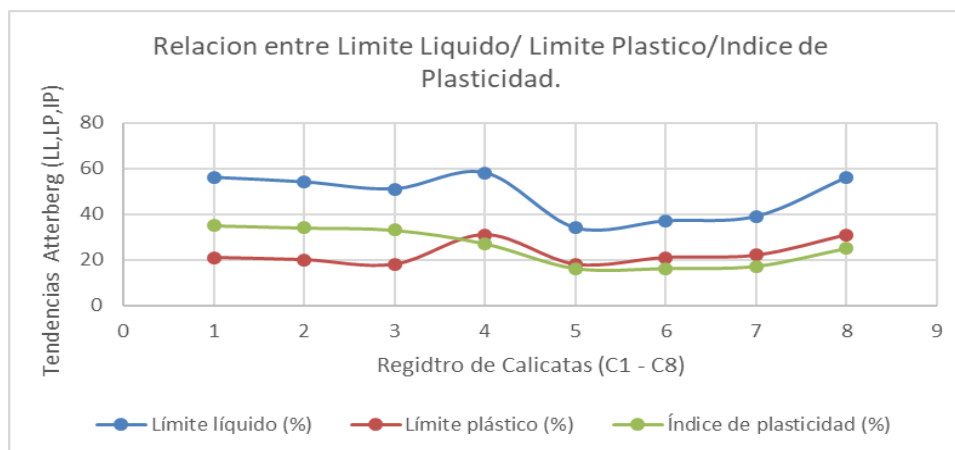
La clasificación para el tipo de suelo se realizará mediante el sistema de clasificación AASHTO, por lo que es necesario determinar los límites de consistencia del suelo. Estos ensayos fueron desarrollados de acuerdo a lo

que establece la Norma Técnica ASTM D-4318 (Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils), y los resultados son los que se muestran a continuación:

**Tabla 23: Cuadro de resultados de límites de consistencia.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
Límite líquido (%)	56	54	51	58	34	37	39	56
Límite plástico (%)	21	20	18	31	18	21	22	31
Índice de plasticidad (%)	35	34	33	27	16	16	17	25

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 18. Gráfico Límites de Consistencia**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

### **Análisis granulométrico (AASHTO T 88)**

Una vez obtenido los límites de consistencia, se procedió al análisis granulométrico según la Norma Técnica AASHTO T – 88 (Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils), para posteriormente determinar el tipo de suelo y calcular su respectivo índice de grupo. La clasificación del suelo se realizó por el método AASHTO, siguiendo la norma AASHTO M – 145 (Classification of Soil and Soil-Aggregate Mixtures For Highway Construction Purposes). Este análisis granulométrico además nos permitirá

determinar el método a seguir para el ensayo de Proctor Modificado. A continuación, se presenta los cuadros de clasificación por calicatas:

**Tabla 3. Cuadro de clasificación de suelos.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
% Que pasa N° 10	99.6	99.0	99.2	99.0	97.6	97.0	98.0	98.6
% Que pasa N° 40	97.2	94.8	95.4	95.2	91.4	91.0	93.2	94.0
% Que pasa N° 200	92.8	91.6	92.8	91.6	86.0	85.4	86.0	89.0
Clasificación AASHTO	A-7-6 (36)	A-7-6 (34)	A-7-6 (33)	A-7-5 (29)	A-6 (13)	A-6 (14)	A-6 (15)	A-7-5 (26)

Nota: Fuente elaboración del investigador.

### Proctor modificado (AASHTO T 180)

Para realizar el ensayo de Proctor Modificado, en la presente Tesis de Investigación se separó en cuatro tipos de muestras:

- **MUESTRA PATRÓN:** esta muestra corresponde a aquella que no presenta ningún porcentaje de adición de cloruro de sodio por metro cúbico de material.
- **MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE 1%:** esta muestra corresponde a aquella que se ha adicionado 1% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.
- **MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE 2%:** esta muestra corresponde a aquella que se ha adicionado 2% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.
- **MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE 3%:** esta muestra corresponde a aquella que se ha adicionado 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

Una vez seleccionado el material y conociendo el método del ensayo a seguir, se realizó el ensayo de Proctor Modificado acorde con la Norma Técnica AASHTO T – 180 (Moisture-Density Relations of Soils Using a

4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop), determinando de esta manera la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad, resultados que serán utilizados para la preparación de las muestras para realizar el ensayo de CBR.

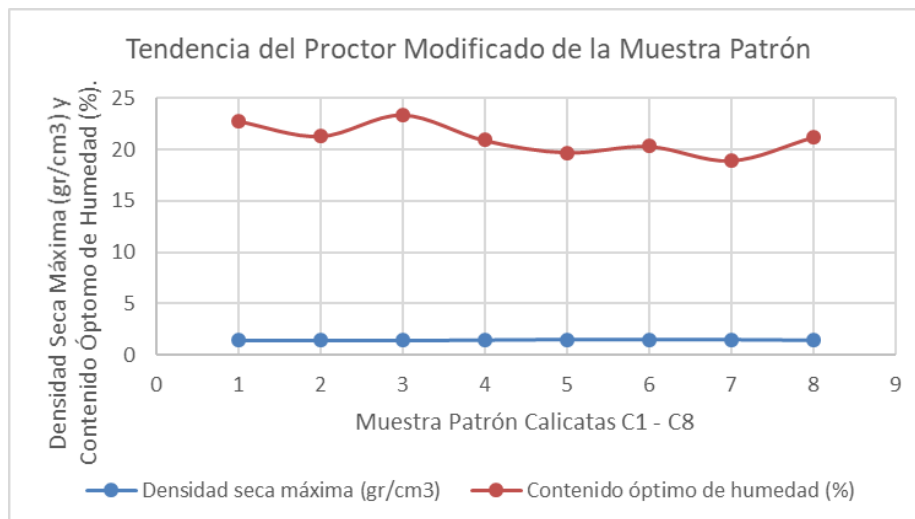
### Muestra patrón.

Esta muestra corresponde al material sin utilizar ninguna proporción de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 4. Resultados de Proctor Modificado de la muestra Patrón**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
Método	A	A	A	A	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.435	1.452	1.434	1.466	1.502	1.493	1.497	1.458
Contenido óptimo de humedad (%)	22.8	21.3	23.4	20.9	19.7	20.3	18.9	21.2

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 19. Gráfico Proctor Modificado de la Muestra Patrón**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

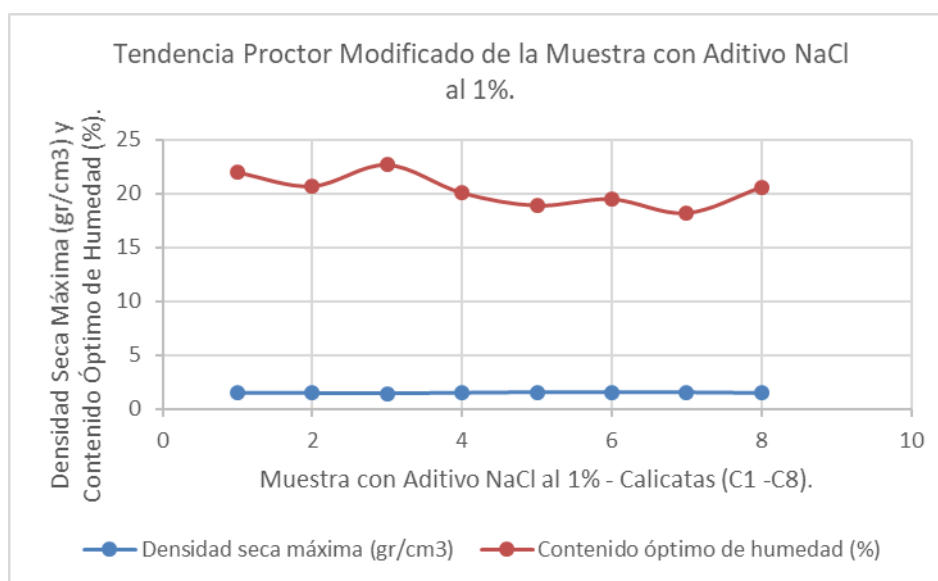
### Muestra con dosificación de Aditivo NaCl al 1%.

Esta muestra corresponde al material utilizado con una dosificación de 1% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 5. Resultados de Proctor Modificado de la muestra con dosificación al 1% de NaCl.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
Método	A	A	A	A	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.466	1.463	1.443	1.476	1.513	1.503	1.506	1.467
Contenido óptimo de humedad (%)	22	20.7	22.7	20.1	18.9	19.5	18.2	20.6

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 20. Proctor Modificado de la Muestra con Aditivo NaCl al 1%.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

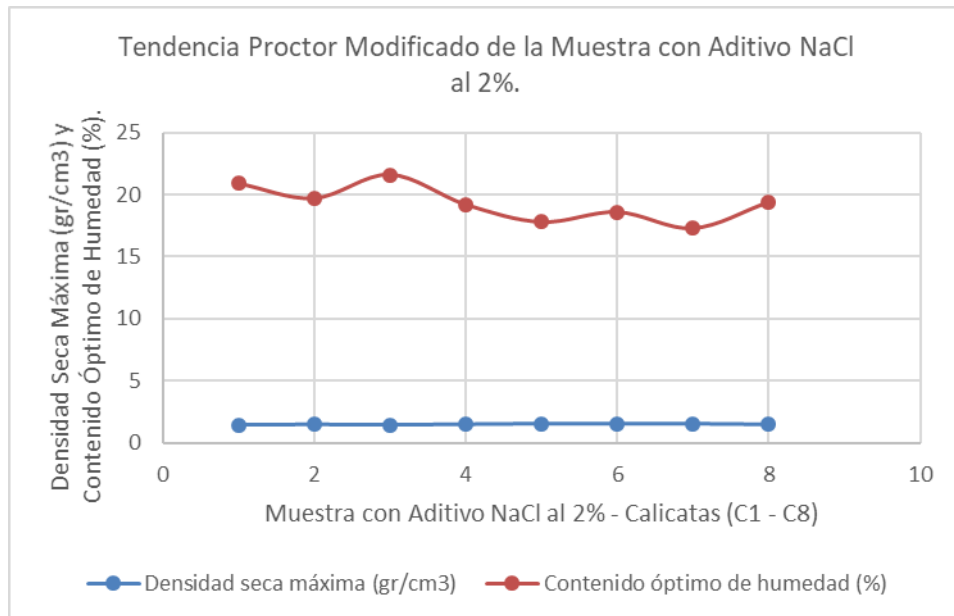
**Muestra con dosificación de Aditivo NaCl al 2%.**

Esta muestra corresponde al material utilizado con una dosificación de 2% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 17. Resultados de Proctor Modificado de la muestra con dosificación al 2% de NaCl.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
Método	A	A	A	A	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.457	1.475	1.453	1.485	1.522	1.511	1.518	1.479
Contenido óptimo de humedad (%)	20.9	19.7	21.6	19.2	17.8	18.6	17.3	19.4

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 21. Proctor Modificado de la Muestra con Aditivo NaCl al 2%.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

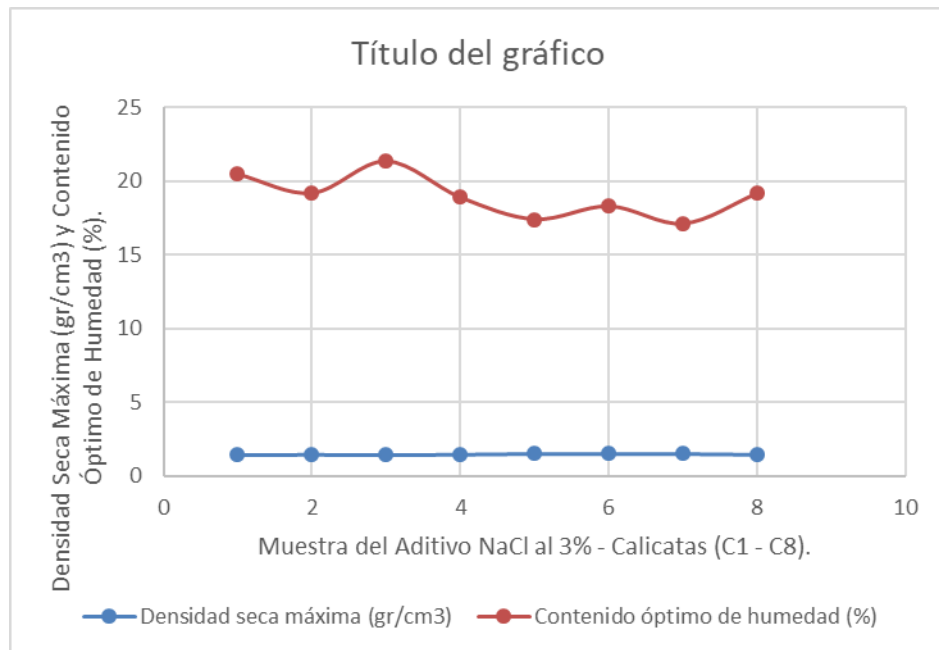
**Muestra con dosificación de Aditivo NaCl al 3%.**

Esta muestra corresponde al material utilizado con una dosificación de 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 6. Cuadro de resultados de Proctor Modificado de la muestra con dosificación al 3% de NaCl.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
Método	A	A	A	A	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	1.459	1.480	1.458	1.486	1.524	1.513	1.521	1.482
Contenido óptimo de humedad (%)	20.5	19.20	21.4	18.9	17.4	18.3	17.1	19.2

Nota: Fuente elaboración del investigador.



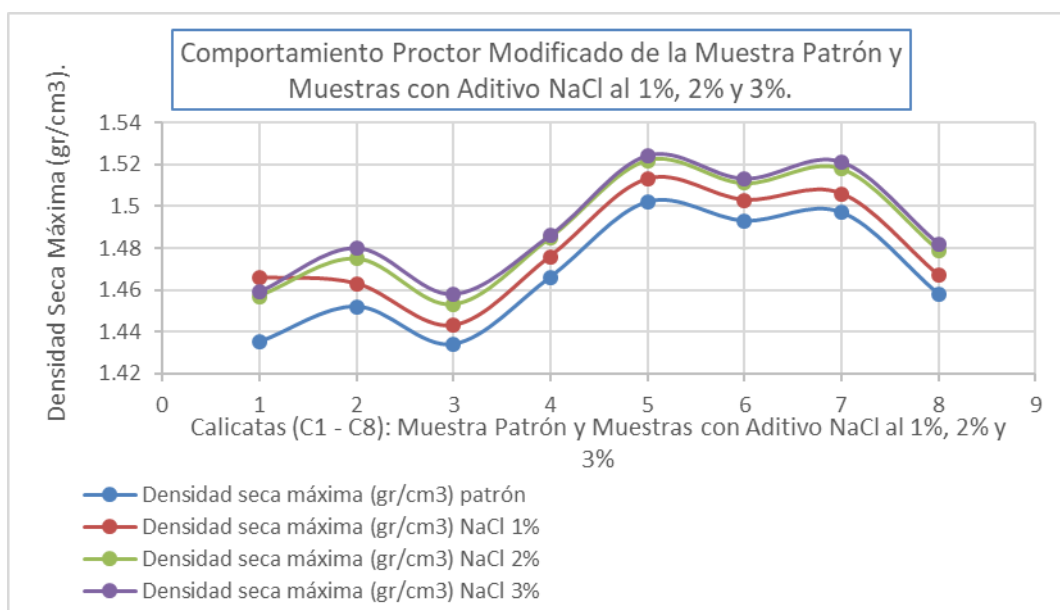
**Figura 21. Proctor Modificado de la Muestra con Aditivo NaCl al 3%.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Tabla 19. Resumen, resultados del Proctor Modificado de la muestra patrón Vs Muestras con dosificaciones de NaCl al 1%, 2% y 3% en relación a la Densidad Máxima Seca.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
Método	A	A	A	A	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) patrón	1.435	1.452	1.434	1.466	1.502	1.493	1.497	1.458
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) NaCl 1%	1.466	1.463	1.443	1.476	1.513	1.503	1.506	1.467
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) NaCl 2%	1.457	1.475	1.453	1.485	1.522	1.511	1.518	1.479
Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) NaCl 3%	1.459	1.480	1.458	1.486	1.524	1.513	1.521	1.482



**Figura 22. Proctor Modificado de la Muestra Patrón Vs Muestras con dosificaciones de NaCl al 1%, 2% y 3%, en relación a la Densidad Seca Máxima (gr/cm<sup>3</sup>)**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

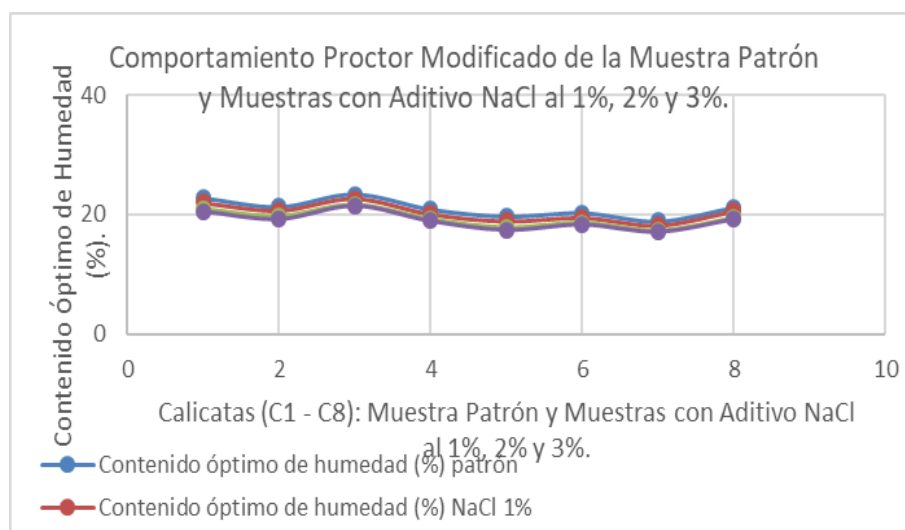
En la Figura 22. El gráfico nos demuestra que comparando la muestra patrón con las demás muestras adicionando NaCl al 1%, 2% y 3% hay un incremento del Proctor

modificado, en un rango que oscilan entre 1.434 a 1.502 (Patrón), 1.443 a 1.513 (NaCl 1%), 1.453 a 1.522 (NaCl 2%), y 1.458 a 1.524 (NaCl 3%) todos en gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 20. Cuadro de resultados de Proctor Modificado de la muestra Patrón Vs Muestras con dosificaciones de NaCl al 1%, 2% y 3% en relación al Contenido Óptimo de Humedad (%).**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
Método	A	A	A	A	A	A	A	A
Contenido óptimo de humedad (%) patrón	22.8	21.3	23.4	20.9	19.7	20.3	18.9	21.2
Contenido óptimo de humedad (%) NaCl 1%	22.0	20.7	22.7	20.1	18.9	19.5	18.2	20.6
Contenido óptimo de humedad (%) NaCl 2%	20.9	19.7	21.6	19.2	17.8	18.6	17.3	19.4
Contenido óptimo de humedad (%) NaCl 3%	20.5	19.2	21.4	18.9	17.4	18.3	17.1	19.2

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 23. Proctor Modificado de la Muestra Patrón Vs Muestras con dosificaciones de NaCl al 1%, 2% y 3%, en relación al Contenido Óptimo de Humedad (%).**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

La Figura 23. Es evidente que al comparar la muestra patrón con las demás muestras adicionando NaCl al 1%, 2% y 3%, mientras mayor es el porcentaje de Cloruro de Sodio, el porcentaje de Contenido Óptimo de Humedad decrece.

## **California Bearing Ratio (CBR) (AASHTO T 193 – ASTM D 1883)**

Teniendo en cuenta los tipos de muestra con los que se realizaron los ensayos de Proctor Modificado y con los resultados obtenidos, se realizó el ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR), siguiendo el procedimiento según la

Norma Técnica ASTM D 1883 (Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils) y la Norma técnica AASHTO T - 193 (Standard Method of Test for The California Bearing Ratio). La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, California Bearing Ratio) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California, como una forma de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcciones de carreteras.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, que permite obtener un porcentaje de la relación de soporte. El porcentaje de CBR está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesario para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado. Obteniéndose los resultados que se presentan a continuación:

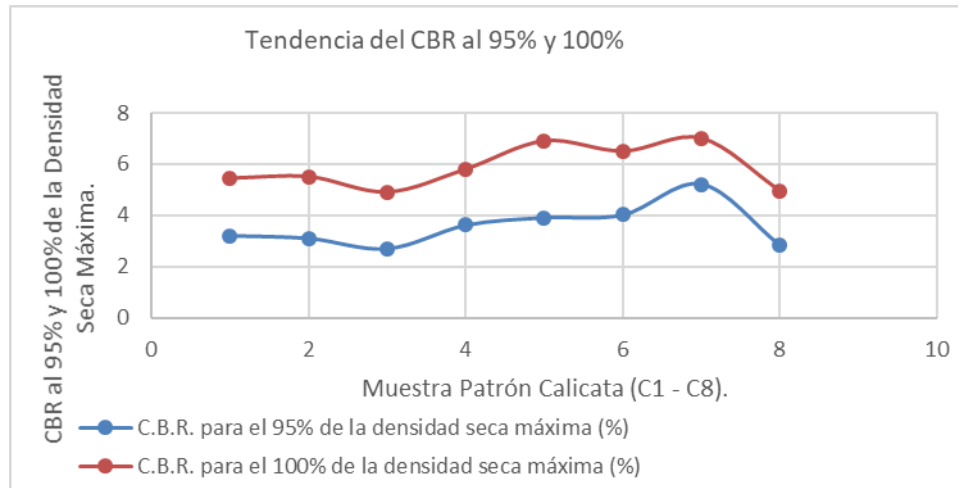
### **Muestra patrón.**

Esta muestra corresponde al material sin utilizar ninguna proporción de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 21. Resultados de la muestra patrón del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	3.21	3.11	2.71	3.62	3.91	4.02	5.21	2.83
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	5.46	5.52	4.92	5.82	6.92	6.52	7.02	4.96

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 24. Muestra Patrón del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

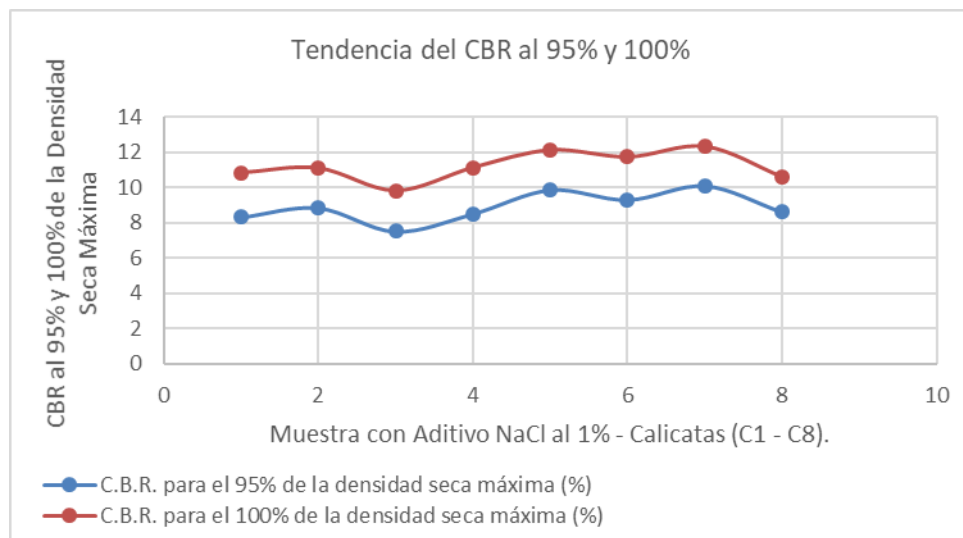
**Muestra con dosificación de Aditivo NaCl al 1%.**

Esta muestra corresponde al material utilizado con una dosificación de 1% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 22. Cuadro de resultados de la muestra con dosificación de NaCl al 1%, del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	8.32	8.86	7.52	8.52	9.88	9.32	10.11	8.61
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	10.84	11.12	9.81	11.14	12.14	11.76	12.36	10.59

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 25. Gráfico de la muestra con dosificación de NaCl al 1%, del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

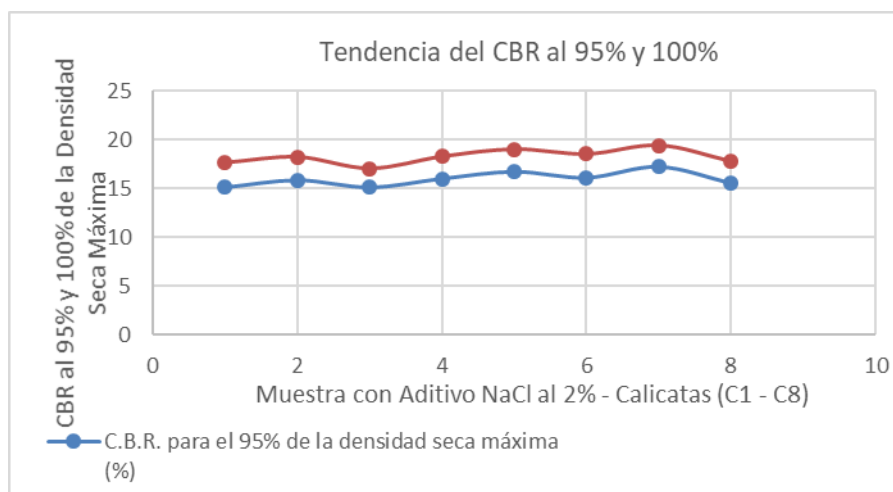
### Muestra con dosificación de Aditivo NaCl al 2%.

Esta muestra corresponde al material utilizado con una dosificación de 2% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 23. Cuadro de resultados de la muestra con dosificación de NaCl al 2%, del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	15.12	15.85	15.12	16.01	16.72	16.11	17.23	15.53
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	17.62	18.22	17.02	18.26	19.02	18.52	19.42	17.75

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 26. Gráfico de la muestra con dosificación de NaCl al 2%, del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

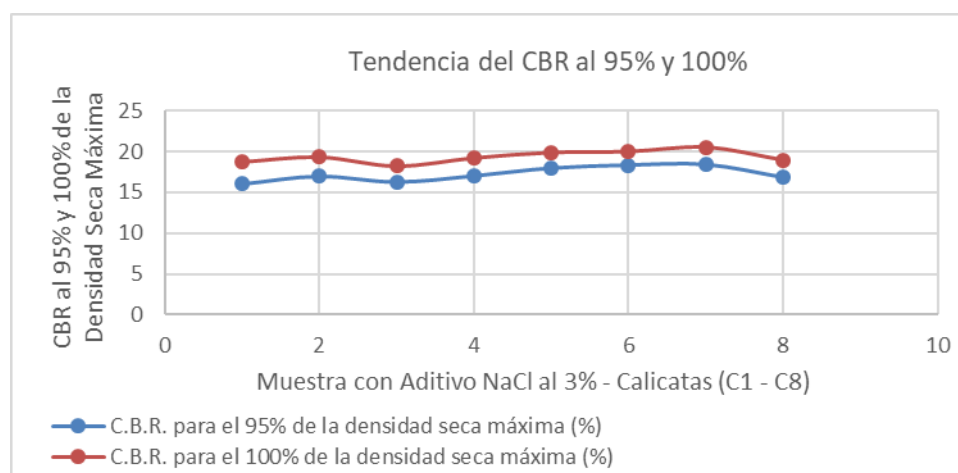
### Muestra con dosificación de 3%.

Esta muestra corresponde al material utilizado con una dosificación de 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material.

**Tabla 24. Cuadro de resultados de la muestra con dosificación de NaCl al 3%, del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima.**

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+500	Km. 01+000	Km. 01+500	Km. 02+000	Km. 02+500	Km. 03+000	Km. 03+500
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	16.02	16.96	16.28	17.02	17.96	18.32	18.39	16.84
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	18.71	19.32	18.21	19.21	19.89	20.01	20.54	18.96

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 27. Gráfico de la muestra con dosificación de NaCl al 3%, del CBR al 95% y 100% de la Densidad Seca Máxima.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

**Tabla 25. Resumen de los resultados de la muestra patrón.**

CALICATA	CBR (95%)	CBR (100%)	LIMITE LIQUIDO (LL)	LIMITE PLASTICO (LP)	INDICE DE PLASTICIDAD (IP)	CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm3)	CLASIFICACION AASHTO	CLASIFICACION SUCS
C1	3.21	5.46	56	21	35	22.80	1.435	A-7-6(36)	CH
C2	3.11	5.52	54	20	34	21.30	1.452	A-7-6(34)	CH
C3	2.71	4.92	51	18	33	23.40	1.434	A-7-6(33)	CH
C4	3.62	5.82	58	31	27	20.90	1.466	A-7-5(29)	CH
C5	3.91	6.92	34	18	16	19.70	1.502	A-6(13)	CL
C6	4.02	6.52	37	21	16	20.30	1.493	A-6(14)	CL
C7	5.21	7.02	39	22	17	18.90	1.497	A-6(15)	CL
C8	2.83	4.96	56	31	25	21.20	1.458	A-7-5(26)	CH

Nota: Fuente elaboración del investigador.

NOTA: CL= arcillas de compresibilidad baja a media (LL<50).

CH= arcillas de compresibilidad alta (LL>50).

Para el diseño de muestra patrón de las exploraciones geotécnicas a cielo abierto o comúnmente conocidas como calicatas, en laboratorio se comprobó que la variación al 95% de un CBR va entre 2.72% a 5.21%, de igual manera un CBR al 100% que va entre 4.92% a 7.02% , el Limite Liquido (LL) que varia entre 34.00% a 58.00%, un Limite Plástico (LP) que va 18.00% a 31.00%, con Contenidos de Humedad Optima que van de 18.90% a 23.40%, se considera según la clasificación AASHTO los rangos que van desde A-6(13) a A-7-6 (36), por lo que son arcillas de compresibilidad baja a media (CL) con Limite Liquido (LL<50), y arcillas de alta compresibilidad (CH) con Limite Liquido (LL>50); estos últimos según la clasificación SUCS.

#### **4.4. Descripción de los perfiles estratigráficos**

**LA CALICATA C-1:** Presenta un primer estrato hasta 0.30 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.30 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla inorgánica de alta plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 6.80% de arena fina a gruesa y 0.40% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

**LA CALICATA C-2:** Presenta un primer estrato hasta 0.60 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.60 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla inorgánica de alta plasticidad, de color marrón, mezclada con 7.40% de arena gruesa a fina y 1.00% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de



4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

**LA CALICATA C-3:** Presenta un primer estrato hasta 0.50 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.50 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla inorgánica de alta plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 6.40% de arena gruesa a fina y 0.80% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

**LA CALICATA C-4:** Presenta un primer estrato hasta 0.40 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.40 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla inorgánica de alta plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 7.40% de arena gruesa a fina y 1.00% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

**LA CALICATA C-5:** Presenta un primer estrato hasta 0.40 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.40 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla inorgánica de mediana a alta plasticidad, de color amarillento, mezclada con 11.60% de arena gruesa a fina y 2.40% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

**LA CALICATA C-6:** Presenta un primer estrato hasta 0.50 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.50 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla

inorgánica de mediana a alta plasticidad, de color amarillento, mezclada con 11.60% de arena gruesa a fina y 3.00% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

**LA CALICATA C-7:** Presenta un primer estrato hasta 0.30 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.30 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla inorgánica de mediana a alta plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 12.00% de arena fina a gruesa y 2.00% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

**LA CALICATA C-8:** Presenta un primer estrato hasta 0.30 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.30 m. a 1.50 m. de profundidad existe un segundo estrato constituido por arcilla inorgánica de alta plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 9.60% de arena fina a gruesa y 1.40% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 4.75 mm. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad.

## **V. DISCUSION DE RESULTADOS**

Considerando la calicata menos favorable, se elaboró el cuadro comparativo de los resultados para la capacidad de soporte del terreno (CBR), siendo esta la Calicata C3.

Se hará la comparación respectiva de los valores de CBR (%) correspondiente al 100% de la densidad seca máxima, obtenida del ensayo de Proctor Modificado, tomando como base el ensayo de la muestra patrón, que es la que se realizó sin ninguna adición de cloruro de sodio; esta será

comparada, con las muestras bajo adiciones de Cloruro de Sodio NaCl al 1%, 2% y 3% por metro cúbico de material.

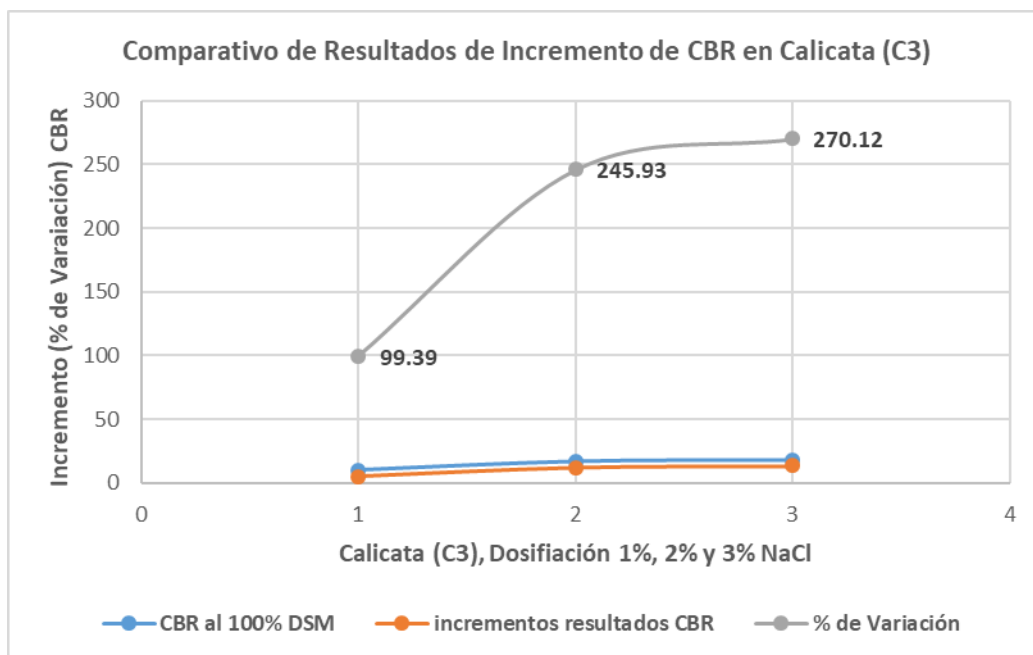
Para realizar la comparación respectiva, se realizará el cálculo de la variación porcentual tomando como base los resultados de la mezcla patrón, luego se determinará el porcentaje de aumento de la capacidad de soporte que produce el agregar el aditivo cloruro de sodio a la muestra en estudio.

En la tabla 26. Se presenta la comparación de los resultados de la variación respecto al CBR al 100% de la densidad seca máxima, considerando la Calicata C3 como menos favorable por presentar un CBR menor en relación a los CBR obtenidos para las demás calicatas en estudio; desde este punto de vista se realiza nuestro análisis.

**Tabla 26. Cuadro comparación de resultados del valor CBR (%) de la Calicata C3 menos favorable, menor porcentaje de CBR. Vs Adiciones de NaCl al 1%, 2% y 3%.**

Tipo de muestra	Muestra Patrón	Muestra con dosificación de NaCl 1%	Muestra con dosificación de NaCl 2%	Muestra con dosificación de NaCl 3%
CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	4.92	9.81	17.02	18.21
Incremento de los resultados (CBR)	-	4.89	12.10	13.29
(%) de variación	-	99.39	245.93	270.12

Nota: Fuente elaboración del investigador.



**Figura 28. Gráfico Incremento del CBR, considerando la Calicata (C3), menos favorable Vs adiciones de NaCl al 1%, 2% y 3%.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

De la figura 28. Se puede llegar a la conclusión que, a mayor dosificación de cloruro de sodio, aumenta la capacidad de soporte del terreno, pero la variación entre las dosificaciones de 2% y 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material es mínima, siendo esta variación del CBR de la Densidad Seca Máxima al 100% de 1.19%, por lo que se considera la dosificación al 2% de Cloruro de Sodio (NaCl) por metro cubico de suelo con mejores resultados comparado con la muestra patrón. En el cuadro de comparación de resultados, podemos evidenciar que el CBR al 100% de la Densidad Seca Máxima para la muestra patrón es de 4.92%, esta incrementa el CBR al 9.81% al adicionar Cloruro de Sodio al 1% por metro cubico de suelo, teniendo una variación al relacionarlas de 4.89% lo que significa una variación del CBR de 99.39%; al adicionar Cloruro de Sodio al 2% por metro cubico de suelo el CBR es de 17.02% que al relacionarlas con la muestra patrón se tendría un incremento del 12.10% del CBR, lo que significa una variación de porcentual de 245.93; y al adicionar Cloruro de Sodio al 3% por metro cubico de suelo el CBR es de 18.21% que al relacionarlas con la muestra patrón se tendría un incremento del 13.29% del CBR, lo que significa una variación porcentual 270.12, por lo que se

recomienda la dosificación de 2% de cloruro de sodio por metro cúbico de material como dosificación óptima para usar en mejoramiento y estabilidad de subrasantes, encontrándose este suelo en el rango de 8-20 según la tabla de clasificación y usos del suelo (regular – buena).

Así mismo, se concuerda parcialmente con la investigación de Roldán (2010), donde en el artículo *“estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases”*, concluye que la resistencia a la compresión tiende a disminuir con el incremento de NaCl; sin embargo, la resistencia muestra un leve aumento en la arena caliza con porcentajes de NaCl inferiores al 2%, por tal motivo, el porcentaje máximo aceptable de NaCl para los materiales arena limosa y arena caliza no debe exceder del 2% respecto al peso del material, sin embargo en la presente investigación indicamos que debe ser del 2% la dosificación de Cloruro de sodio para que su rendimiento sea óptimo.

Para terminar, se concuerda con lo planteado en la investigación de Guamán (2016), denominada, Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio), realizada en la Universidad Técnica de Ambato, que tuvo como objetivo conocer el comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado con Cal y Cloruro de Sodio con porcentajes de 2,5% - 7,5% y 12,5%. La muestra de suelo se la extrajo de una calicata a 1 m de profundidad en la ciudad del

Puyo y se utilizó todo el volumen de la calicata para realizar los ensayos de laboratorio con muestras alteradas e inalteradas. Para el ensayo de Resistencia a la compresión simple se realizaron bloques que fueron ensayados a los 7, 14 y 21 días. Con los debidos ensayos se comparó cual es el comportamiento del suelo en condiciones normales con los suelos estabilizados con Cal y Cloruro de Sodio y se llegó a determinar su porcentaje óptimo con cada estabilizador, donde al igual que la presente investigación señalamos que el uso de cloruro de sodio es óptimo para usar en mejoramiento y estabilidad de subrasantes.

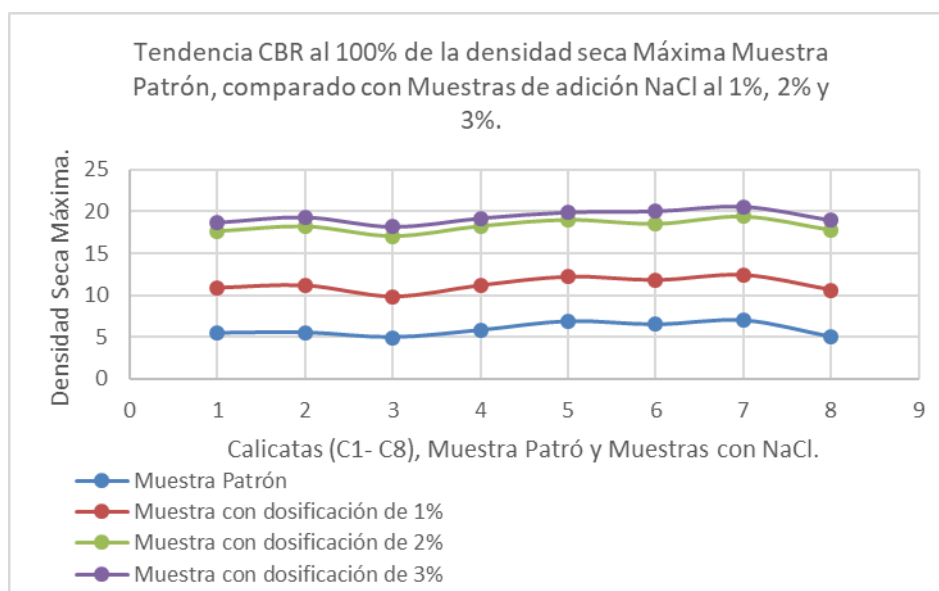
A continuación, se muestra cuadros y gráficos comparativos con los resultados obtenidos:

**Tabla 27. Cuadro comparativo de resultados CBR al 100% (DSM) de la Muestra Patrón Comparado con las Muestras Adicionando NaCl al 1%, 2% y 3%.**

Muestras	Calicata 01	Calicata 02	Calicata 03	Calicata 04	Calicata 05	Calicata 06	Calicata 07	Calicata 08
	Prog. 0+000	Prog. 0+500	Prog. 1+000	Prog. 1+500	Prog. 2+000	Prog. 2+500	Prog. 3+000	Prog. 3+500
	Al 100% de la DSM	Al 100% de la DSM	Al 100% de la DSM	Al 100% de la DSM	Al 100% de la DSM	Al 100% de la DSM	Al 100% de la DSM	Al 100% de la DSM
Muestra Patrón	5.46	5.52	4.92	5.82	6.92	6.52	7.02	4.96
Muestra con dosificación de 1%	10.84	11.12	9.81	11.14	12.16	11.76	12.36	10.59
Muestra con dosificación de 2%	17.62	18.22	17.02	18.26	19.02	18.52	19.42	17.75
Muestra con dosificación de 3%	18.71	19.32	18.21	19.21	19.89	20.01	20.54	18.96

Nota: Fuente elaboración del investigador.

Importante: DSM=Densidad seca máxima.



**Figura 29. Gráfico CBR al 100% (DSM) de la Muestra Patrón Vs Muestras Adicionando NaCl al 1%, 2% y 3%.**

Nota: Fuente elaboración del investigador.

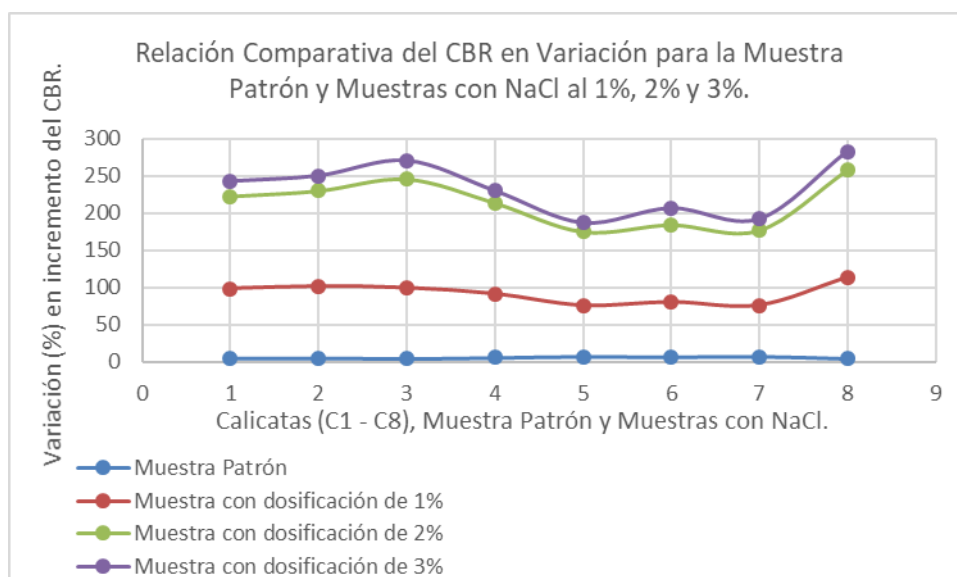
En la figura 29. Se puede observar las tendencias de la influencia que ejerce el adición de Cloruro de Sodio (NaCl) en estabilización de la subrasante, considerando los porcentajes (1%, 2% y 3%), comparados con la muestra patrón sin adicionar Cloruro de Sodio, comparado con el CBR al 100% para las 08 calicatas propuestas para este diseño en estudio, cuya información detallada en valores se ilustran en la tabla nº27, así se puede evidenciar que en la calicata (C1) al 100% DSM es de 5.46% a 18.71%; en la calicata (C2) al 100% DSM es de 5.52% a 19.32%; en la calicata (C3) al 100% DSM es de 4.92% a 18.21%; en la calicata (C4) al 100% DSM es de 5.82% a 19.21%; en la calicata (C5) al 100% DSM es de 6.92% a 19.89%; en la calicata (C6) al 100% DSM es de 6.52% a 20.01%; en la calicata (C7) al 100% DSM es de 7.02% a 20.54%; en la calicata (C8) al 100% DSM es de 4.96% a 18.96% respectivamente. Para nuestro caso solamente tomaremos el CBR 4.92% que corresponde a la calicata C3 por ser el menos favorable en relación a las demás. por lo tanto, estos suelos según la clasificación y usos de los suelos considerando el valor del CBR obtenido están dentro del rango 8-20 como regular-buena para uso en subrasante.

**Tabla 28. Cuadro Comparativo del CBR en (%) de Variación de la Muestra Patrón y Muestras con Adiciones de NaCl al 1%, 2% y 3%, para las 08 Calicatas.**

Muestras	Calicata 01	Calicata 02	Calicata 03	Calicata 04	Calicata 05	Calicata 06	Calicata 07	Calicata 08
	Prog. 0+000	Prog. 0+500	Prog. 1+000	Prog. 1+500	Prog. 2+000	Prog. 2+500	Prog. 3+000	Prog. 3+500
	Variación en (%)	Variación en (%)	Variación en (%)	Variación en (%)	Variación en (%)	Variación en (%)	Variación en (%)	Variación en (%)
Muestra Patrón	5.46	5.52	4.92	5.82	6.92	6.52	7.02	4.96
Muestra con dosificación de 1%	98.50	101.45	99.39	91.41	75.72	80.37	76.07	113.51
Muestra con dosificación de 2%	222.71	230.07	245.93	213.75	174.86	184.05	176.64	257.86
Muestra con dosificación de 3%	242.70	250.00	270.12	230.07	187.43	206.9	192.59	282.26

Nota: Fuente elaboración del investigador.

**Figura 30. Gráfico Comparativo del CBR en (%) de Variación de la Muestra Patrón y Muestras con Adiciones de NaCl al 1%, 2% y 3%, para las 08 Calicatas.**



Nota: Fuente elaboración del investigador.

En la Figura 30. Se puede observar las tendencias de la influencia que ejerce el adicionar Cloruro de Sodio (NaCl) en la estabilización de la subrasante, considerando la relación de la muestra patrón y las muestras con adición de 1%, 2% y 3, en relación al CBR en (%), para las 08 calicatas propuestas en este diseño en estudio, y su variación registrada respecto a la muestra de suelo sin adicionar Cloruro de Sodio (NaCl); esta información se detallada en valores en la Tabla nº28, de manera independiente para cada calicata. Así tenemos que la muestras patrón sin adicionar NaCl a cada muestra de las 08 calicatas el rango de incremento del CBR va desde 4.92% a 7.02%, para las muestras con adición de NaCl al 1% el incremento del CBR va desde 75.72% a 113.51%, para las muestras con adición de NaCl al 2% el incremento del CBR va desde 174.86% a 257.86%. Ahora tomando como referencia la Calicata C3 por ser el menos favorable, al presentar el menor porcentaje en CBR igual a 4.92% de DSM en relación a los demás resultados de las calicatas en la muestra patrón, se puede decir que existe un incremento de CBR de 4.89% al 1% por metro cubico de suelo, respecto al CBR patrón, siendo la variación en 99.39%; igualmente para el CBR de 12.10% al 2% por metro cubico de suelo comparado con el CBR patrón se tiene una variación en aumento de 245.93%; y respecto al CBR de 13.29 al 3% por metro cubico de suelo que relacionado con el CBR patrón se tiene una variación en aumento de 270.12%. Por haber una cercana tendencia de crecimiento para estos dos últimos porcentajes (2% y 3%), se considera como óptimo usar en la estabilización de subrasantes para nuestro caso en estudio el 2% de Cloruro de Sodio (NaCl) como óptimo.



Respecto a la pregunta e hipótesis planteadas *¿Cuál es la influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca*, y a la vez se plantea la siguiente hipótesis: *El aditivo cloruro de sodio, aumenta la capacidad de soporte del terreno en un 20%, de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.*

Se puede decir que la influencia de adicionar Cloruro de Sodio a las muestras en estudio sustraídas de las exploraciones geotécnicas o a cielo abierto, comúnmente conocidas como calicatas y considerando los diferentes porcentajes por metro cubico de suelo que hay una tendencia positiva a la estabilización de la subrasante según los resultados obtenidos de este trabajo, siendo el incremento superior al planteado en la hipótesis.

## **VI. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

### **6.1. CONCLUSIONES**

Tomando en cuenta el análisis de los resultados, el presente estudio permite señalar algunas conclusiones respecto al comportamiento del suelo estudiado cuando se le agrega Cloruro de Sodio con la finalidad de estabilizar la subrasante de un suelo:

**Las calicatas** demuestran que el suelo subrasante de la Carretera Tramo Cruce el Porongo Aeropuerto Cajamarca, presenta las siguientes características físicas mecánicas: son suelos inorgánicos, arcillosos de mediana a alta plasticidad con porcentaje variables de arena fina a gruesa y fragmentos rocosos, tiene complemento plástico, complemento líquido, complemento húmedo que coincide con la clasificación AASHTO suelos que van desde A-6(13) hasta A-7-6(36); de igual manera según la clasificación SUCS se simbolizan como CL (arcillas con baja plasticidad) y CH (arcillas con alta plasticidad) es decir más del 35% pasan por el tamiz 0.075mm. y pese a ello tiene una densidad seca óptima.

Agregando Cloruro de Sodio (NaCl), como estabilizante, se observó el aumento de la capacidad de soporte en la subrasante aun considerando la calicata C3 como menos favorable con un CBR de 4.92% al 100% de la Densidad Seca Máxima por metro cubico de suelo en la muestra patrón.

**La adición del** estabilizante químico cloruro de sodio en la subrasante de la carretera afirmada tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca aumenta la capacidad de soporte de terreno de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación; La muestra patrón tiene una variación de la Capacidad de Soporte de Terreno (CBR), de 4.92% hasta 7.02%, la muestra con dosificación de 1% de Cloruro de Sodio varía desde 9.81% hasta 12.36%, la muestra con dosificación de 2% de Cloruro de Sodio varía desde 17.02% hasta 19.42%, y la muestra con dosificación de 3% de Cloruro de Sodio varía desde 18.21% hasta 20.54%; al 100% de la Densidad Seca Máxima.

**La dosificación optima de cloruro de sodio (NaCl)**, como estabilizante en subrasante, debe ser de 2% de Cloruro de Sodio por metro cúbico de material, debido a que el resultado de CBR es de 17.02 %, descartando el 1 y 3% de la dosificación por no reunir las condiciones técnicas y económicas para un buen comportamiento.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

### **Se recomienda a los señores especialistas:**

Adicionar el Cloruro de Sodio diluido en agua (salmuera), que permite una distribución rápida dentro de la masa de suelo; n la adición de Cloruro de Sodio con la muestra de suelo se va perdiendo humedad que justamente es el periodo de fraguado; esto permite la cristalización del cloruro de

sodio dentro de los vacíos del suelo, produciendo aumento de la densidad del suelo.

Continuar con las investigaciones sobre el uso de estabilizantes químicos que permitan asegurar obras de mejor calidad y a bajos costos en beneficio de la ciudadanía, asegurando protocolos estructurados donde se tenga las dosificaciones exactas para cada tipo de terreno y faciliten su aplicación de manera eficiente.

El resultado de esta investigación debería ser comunicada a las Instituciones Públicas, como: Gobierno Regional, Municipalidades, Provias, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, otros, para propalar los beneficios de utilizar Cloruro de Sodio (NaCl) como estabilizante en la subrasante de las carreteras afirmadas, dando como resultado el mejoramiento de las características físico mecánicas de los suelos, la capacidad de soporte; obteniendo de esta manera estructuras más resistentes y durables.

Continuar con la investigación para otros tipos de suelos y otras dosificaciones.

### **6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

BRAJA, Mario. *Geotechnical engineering handbook*. California: 2010 j. Ross Publishing series.

BAUZA, Juan. *“El tratamiento de suelos mediante cal”* Madrid-España. 2003

BECERRIL, Antonio., y MIRANDA, Diego. *Procedimiento constructivo de pavimentos flexibles en la carretera: Barranca larga en el estado de Oaxaca*. Mexico.2016

DIAZ, José., y MEJIA, Jaime. *Estabilizacion de suelos mediante el uso de un aditivo químico a base de compuestos inorganicos*.2004

DE LA CRUZ, Guillermo, et al. *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación en palian*. Huancayo – Junín. 2016

FERNANDEZ, Luis. *“mejoramiento y estabilización de suelos”* Editorial Limusa s.a. 1991. c.v., Mexico.

GONZALES, Ignacio. *Geotecnia y la mecánica de rocas*. Madrid: prentice hall. 2002

GRAUX, Didier. *Proyecto de muros y cimentaciones*. España. 1995. Editores Técnicos asociados.

GARNICA, Pablo., et al. *estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres*. 2002. Publicación Técnica N o.201 Sanfandila.

GUAMÁN, Ignacio. *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*. realizada en la Universidad Técnica de Ambato-Ecuador. 2016.

GUTIERREZ, Carlos. *“Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio frente al cloruro de calcio”*. Universidad Ricardo Palma. 2010.

HUNTER, Dennis. *“lime-induced heave in sulfate-bearing clay soils”*. *“journal of geotechnical engineering”*, 1988 asce vol. 114, nº 2

JUAREZ, Ernesto., y RICO, Alonso. *Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Editorial Novaro. 1980

JIMENEZ, Jaime y DE JUSTO, José. *“geotecnia y cimientos”*. Editorial Rueda. 1975. Madrid.

LAMBE, Williams., & WHITMAN, Robert. *Mecánica de suelos*. México: Limusa noriega editores. 2011

MONTEJO, Fernando. *Ingeniería de pavimentos*. Universidad Católica de Colombia. Colombia. 2002

Perrin, I.I.: *“expansión of lime-treated clays containing sulfates”*, *“7th international conference on expansive soils”*.

SOLMINIHAC. *Estabilización química de suelos: aplicaciones de estructuras de pavimentos*. 2013

SANCHEZ et al. *Estabilización de suelos arcillosos y margas, utilizando residuos industriales: ph e indicadores granulométricos*. 2014

SECO et al. *Uso de aditivos no convencionales en la estabilización de margas*. 2010

ROLDAN, Javier. en el artículo “*estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases*”. 2010

UGAZ, Roberto. *Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de sub rasante*. Lima – Perú. 2006

# **ANEXOS**

ANEXO 1: ENSAYOS DE  
LABORATORIO – MUESTRA  
PATRÓN

ANEXO 2: ENSAYOS DE  
LABORATORIO – MUESTRA  
CON DOSIFICACIÓN DE 1%



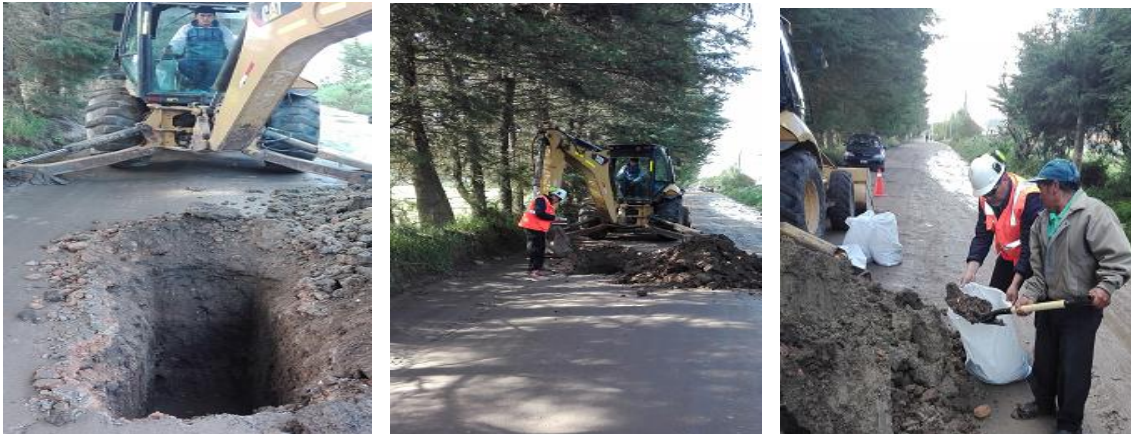
ANEXO 3: ENSAYOS DE  
LABORATORIO – MUESTRA  
CON DOSIFICACIÓN DE 2%

ANEXO 4: ENSAYOS DE  
LABORATORIO – MUESTRA  
CON DOSIFICACIÓN DE 3%

# ANEXO 5: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

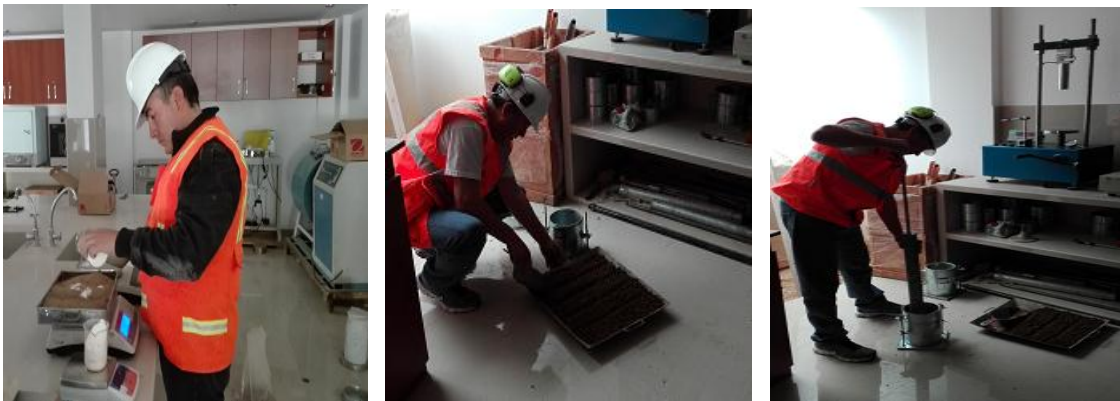
## ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO

**Fotos 1, 2, 3: Excavación de calicatas, lectura de horizontes o estratos del suelo, toma de muestras.**



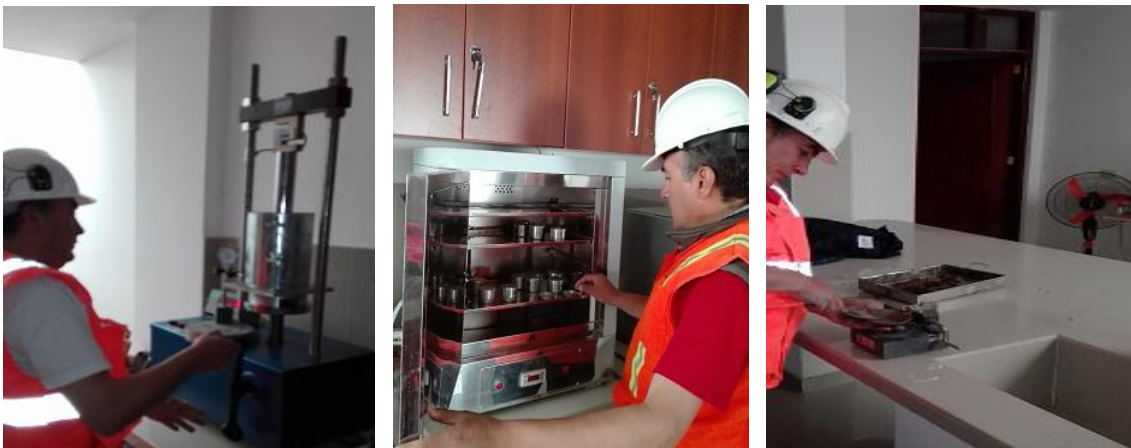
Nota: Fuente elaboración del investigador.

**Fotos 4, 5, 6: Dosificaciones de NaCl (muestra patrón, 1%, 2%, 3%), CBR.**



Nota: Fuente elaboración del investigador.

**Fotos 7, 8, 9: Prueba de penetración, muestras en horno (Limite de Contracción), Limite Liquido (Cuchara de casa grande).**



Nota: Fuente elaboración del investigador.

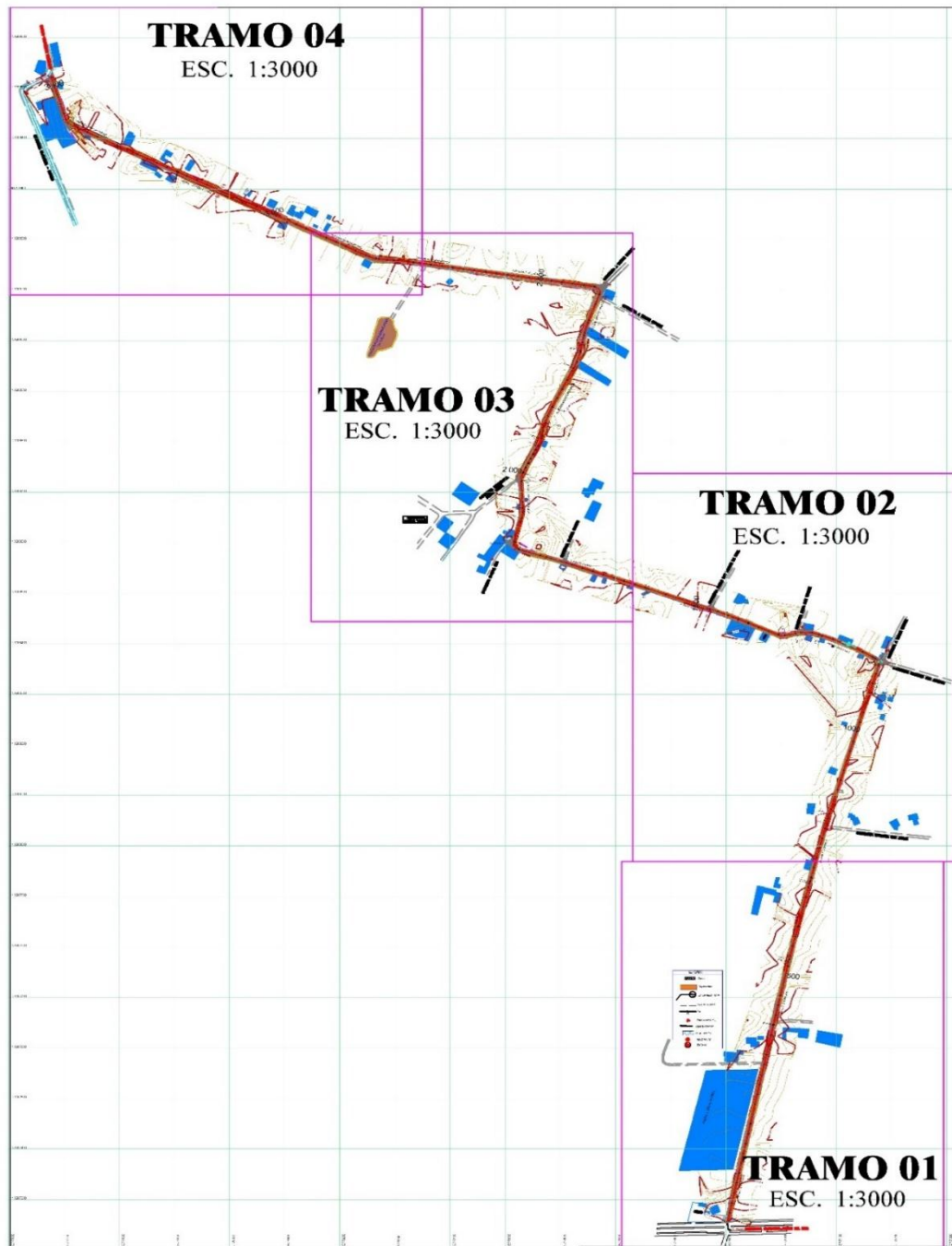
**Fotos 10, 11, 12: Capa de material seleccionado 10mm. Golpes a 1cm de altura (Limite Liquido), Limite Plástico (Cilindros de 3mm de diámetro).**



Nota: Fuente elaboración del investigador.

# **ANEXO 7: PLANOS**

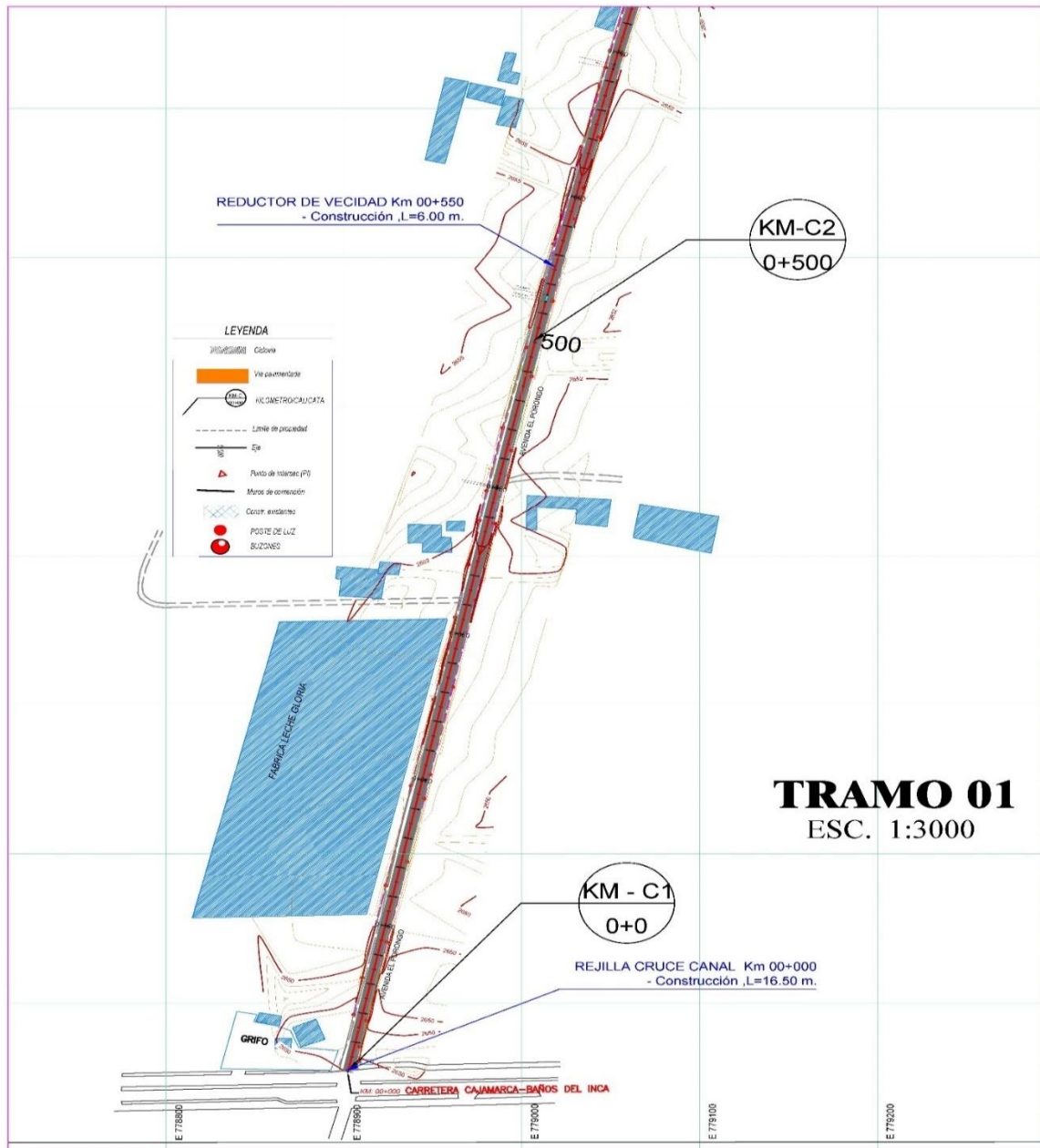
**Plano N°02. Plano General de la Carretera Cruce El Porongo Aeropuerto Cajamarca.**



Nota: Fuente elaboración del investigador.

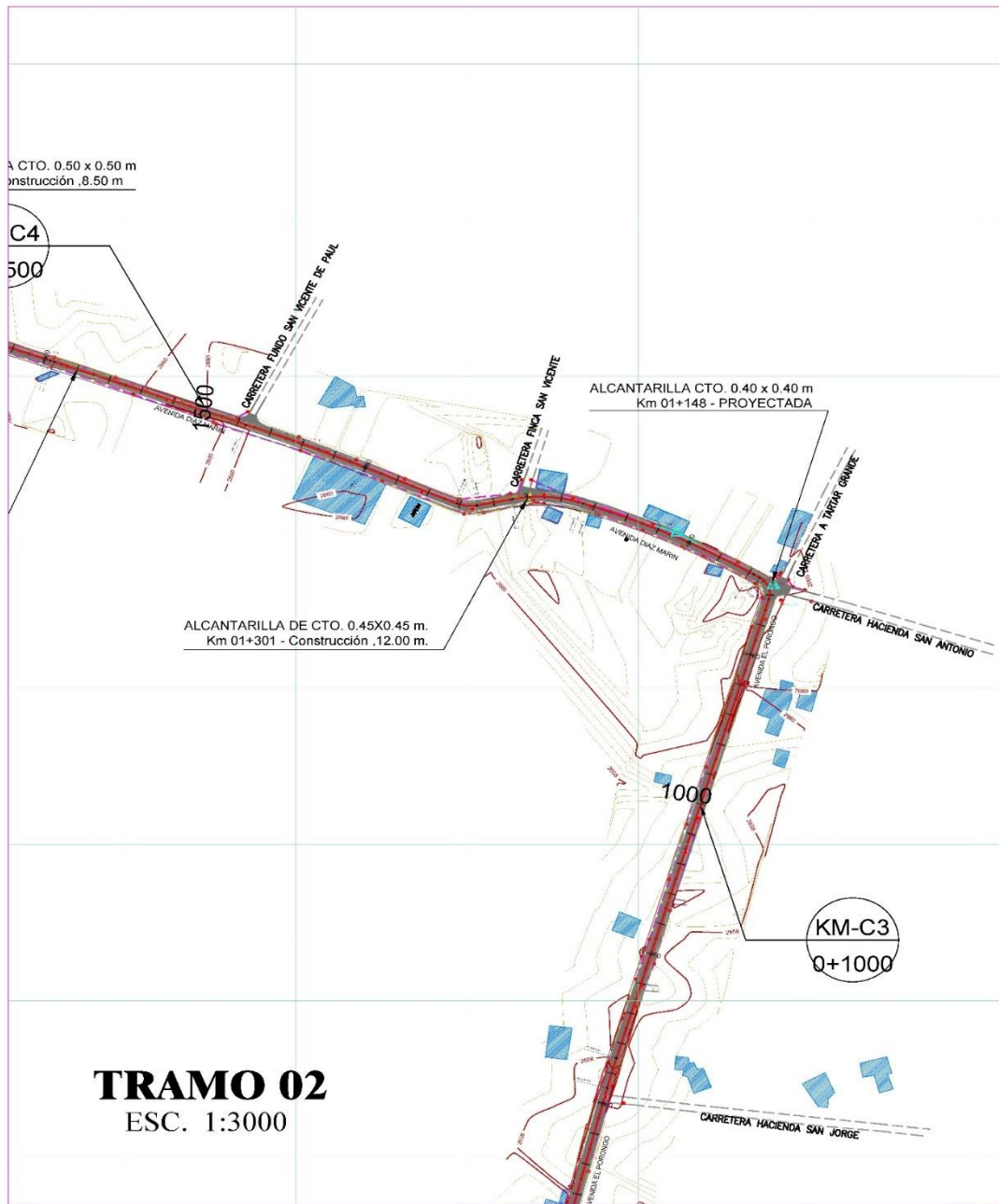


**Plano N°03. Tramo 01. Carretera Cruce El Porongo Aeropuerto Cajamarca.**



Nota: Fuente elaboración del investigador.

**Plano N°04. Tramo 02. Carretera Cruce El Porongo Aeropuerto Cajamarca.**



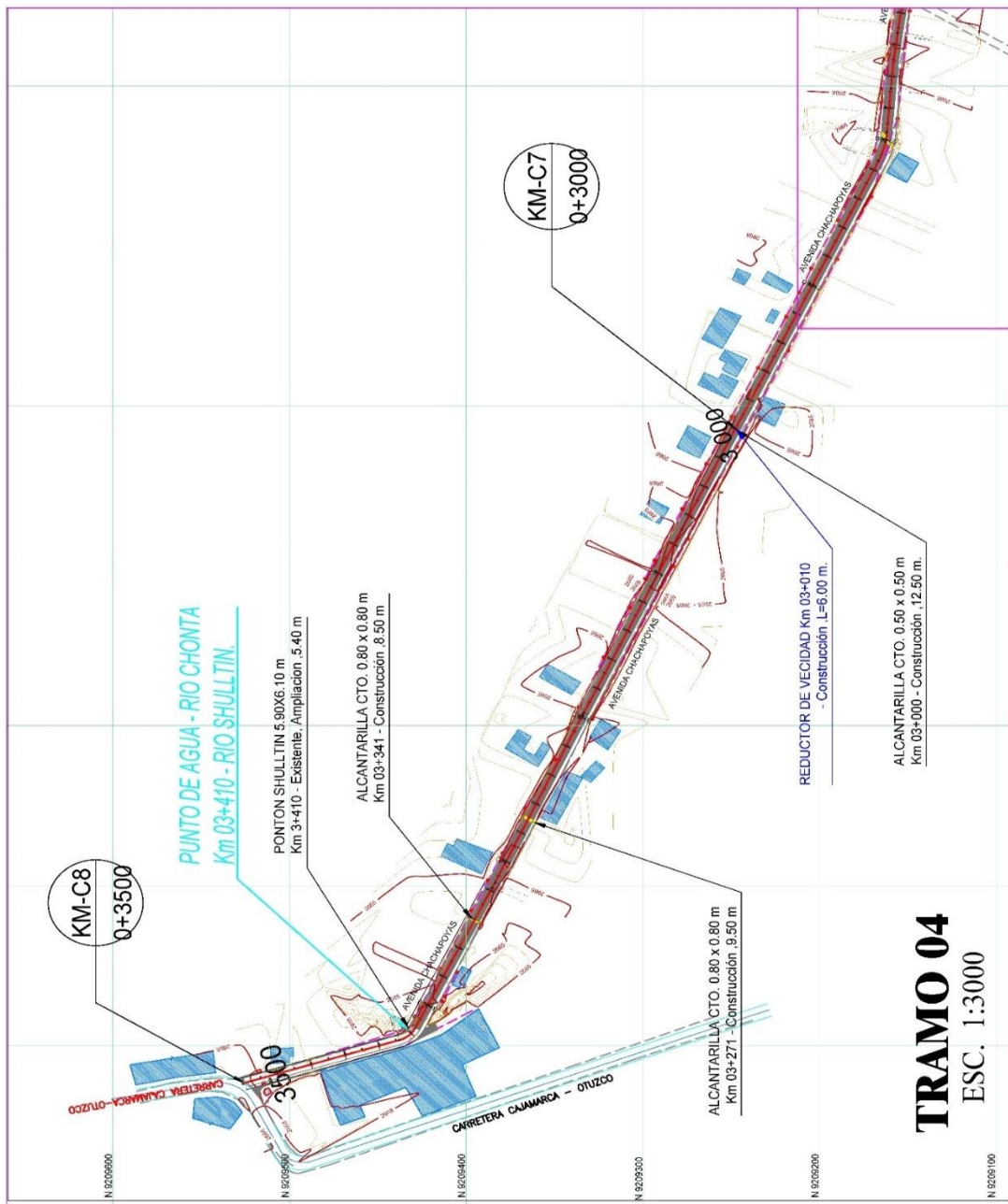
Nota: Fuente elaboración del investigador.

**Plano N°05. Tramo 03. Carretera Cruce El Porongo Aeropuerto Cajamarca.**



Nota: Fuente elaboración del investigador.

**Plano N°06. Tramo 04. Carretera Cruce El Porongo Aeropuerto Cajamarca.**



Nota: Fuente elaboración del investigador.