

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



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

TESIS

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

PRESENTADO POR:

Bach. ELMER CARUAJULCA CHÁVEZ

ASESOR:

Dr. Ing. Wilfredo R. Fernández Muñoz

CAJAMARCA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A **DIOS**; por darme la sabiduría y lo más importante que es la vida para cumplir uno de mis grandes sueños, y poder continuar en esta hermosa carrera.

AGRADECIMIENTO

A MI MADRE: María Chávez Mejía, por su sacrificio de madre y por enseñarme a seguir un camino del bien y a pesar de las circunstancias supo salir hacia adelante y darnos enseñanzas buenas para emprender una vida profesional.

A MI HERMANO: A Ronar, Caruajulca Chávez, me enseñó que el sacrificio de toda persona es recompensado, gracias por enseñarme que a pesar de las circunstancias se puede salir a adelante y brindarme el apoyo tanto económicamente y emocional, durante todo mi proceso de formación profesional. No puedo dejar de mencionar a mis hermanos Alicia y Marcos por llenar mis días y mi espacio de cada día y convertirlos en momentos más hermosos de familia.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Formulación Del Problema:	2
1.2 Hipótesis:.....	2
1.3 Justificación de la investigación:	2
1.4 Alcances de la Investigación.....	2
1.5 Delimitaciones y limitaciones de la Investigación:	3
1.5.1 Delimitaciones.	3
1.5.2 Limitaciones.....	3
1.6 Objetivos.....	3
1.6.1 Objetivo General	3
1.6.2 Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes Teóricos De La Investigación:	4
2.2 Bases Teóricas:.....	5
2.2.1 Suelos.....	5
2.2.2 Pavimentos.....	34
2.2.3 Estabilización de carreteras no pavimentadas	40
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	49
3.1 Toma de muestras	49
3.2 Localización.....	49
3.3 Materiales y Procedimiento:.....	50
3.3.1 Materiales:.....	50
3.3.2 Procedimiento:.....	50

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
4.1 Análisis de los ensayos de laboratorio:.....	56
4.1.1 Límites de Consistencia (ASTM D-4318):	56
4.1.2 Análisis Granulométrico (AASHTO T 88).	57
4.1.3 Proctor Modificado (AASHTO T 180)	58
4.1.4 California Bearing Ratio (CBR) (AASHTO T 193 – ASTM D 1883).....	62
4.1.5 Descripción de los Perfiles Estratigráficos.....	65
4.2 Discusión de Resultados	69
4.2.1 Comparación de Resultados.....	69
4.2.2 Promedio de Aumento de CBR (%).....	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES REFERENCIAS	
BIBLIOGRÁFICAS.....	71
5.1 Conclusiones	71
5.2 Recomendaciones.....	72
5.3 Referencias Bibliográficas:.....	73
5.4 ANEXOS	76
ANEXO 1: ENSAYOS DE LABORATORIO – MUESTRA PATRÓN.....	77
ANEXO 2: ENSAYOS DE LABORATORIO – MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE	
2%.....	78
ANEXO 3: ENSAYOS DE LABORATORIO – MUESTRA CON DOSIFICACIÓN DE	
3%.....	79
ANEXO 4: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.....	80
ANEXO 5: PLANO DE UBICACIÓN.....	81
ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO.....	82
ANEXO 7: CERTIFICADOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Características típicas del cloruro de sodio (NaCl)</i>	43
Tabla 2. Cuadro de ubicación de calicatas	50
Tabla 3. Cuadro de resultados de límites de consistencia.	56
Tabla 4. Cuadro de clasificación de suelos.	57
Tabla 5. Cuadro de resultados de Proctor Modificado de la muestra patrón.	59
Tabla 6. Cuadro de resultados de Próctor Modificado de la muestra con dosificación de 2%. ..	60
Tabla 7. Cuadro de resultados de Próctor Modificado de la muestra con dosificación de 3%. ..	61
Tabla 8. Cuadro de resultados de CBR de la muestra patrón.	62
Tabla 9. Cuadro de resultados de CBR de la muestra con dosificación de 2%.	63
Tabla 10. Cuadro de resultados de CBR de la muestra con dosificación de 3%.	64
Tabla 11. Cuadro de comparación de resultados de valor de CBR (%).	69
Tabla 12. Valores promedio del aumento del CBR (%).	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Distribución de cargas - pavimento flexible.....	34
Figura 2: Distribución de cargas - pavimento rígido.....	35
Figura 3: Trabajos de ensanche en carretera.	40
Figura 4: Estructura del cloruro de sodio	42
Figura 5: Aplicación de cloruro de sodio al suelo	46
Figura 6: Aplicación directa de sal al suelo.....	46
Figura 7: Salmuera.....	47
Figura 8: Aplicación de salmuera en laboratorio.....	47
Figura 9: Aplicación de salmuera en campo.....	47
Figura 10: Ubicación del lugar de estudio.....	38

RESUMEN

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, mejorando 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 12 pozos de exploración a cielo abierto o calicatas en todo el tramo de la carretera, de donde se extraerá material con el que se realizará los ensayos de laboratorio como granulometría, Limite Líquido, Limite Plástico, Proctor, CBR, y cumplir con los objetivos como determinar la influencia de cloruro de sodio en la subrasante. 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% a 3% 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 11% con respecto de la muestra sin ninguna adición.

Palabras claves: Suelo, Subrasante, Cloruro de Sodio, Muestra, Calicata.

ABSTRACT

In this research thesis seeks to determine the influence of the addition of sodium chloride as a stabilizer of the subgrade of the Crossing the Porongo - Airport - Cajamarca stretch, improving the capacity of ground support. For this, it will be used dosages of 1%, 2% and 3% of sodium chloride per cubic meter of material, carrying out the excavation of 12 open-pit exploration wells or pits in the entire stretch of the road, from which material will be extracted. with which the laboratory tests will be carried out, such as granulometry, Liquid Limit, Plastic Limit, Proctor, CBR, and to meet the objectives such as determining the influence of sodium chloride on the subgrade. At the end of the study, it was concluded that the optimal dosage to stabilize the subgrade of the Crossing the Porongo - Airport - Cajamarca Highway is from 2% to 3% of sodium chloride per cubic meter of material, given that this value increased the value of the soil support capacity up to 11% with respect to the sample without any addition

keywords: Soil, subgrade, sodium chloride, sample, pit.

CAPÍTULO 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, 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 de las tantas carreteras en mal estado, que presenta en su subrasante material fino con alta plasticidad, que en presencia de humedad sufre cambios volumétricos que producen la falla estructural de la estructura de la carretera, lo que provoca realizar cada año mantenimiento con material de préstamo.

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.

1.1 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?

1.2 Hipótesis:

El cloruro de sodio como estabilizante hay una buena correlación entre la estabilización y la capacidad de soporte en aumentar hasta en un 30%, de la subrasante de la carretera tramo cruce el porongo aeropuerto-Cajamarca.

1.3 Justificación de la investigación:

La presente tesis de investigación se justifica a razón que se logrará disminuir el problema patológico que presenta la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, con respecto a la estabilización de la subrasante, logrando obtener una mejor vía, sin ocasionar incomodidades y buscando el bienestar de toda la comunidad usuaria.

Técnicamente se justifica dado que el cloruro de sodio reduce la evaporación del agua debido al incremento en la tensión superficial y mejorar la cohesión y esto logra aumentar la capacidad de soporte del suelo, produciendo menores deformaciones y disminuyendo la permeabilidad del suelo.

Se adicionará el aditivo cloruro de sodio al terreno en proporciones de 1%, 2% y 3%, por metro cúbico de material, permitiendo solucionar el problema mejorado la calidad de vida de los pobladores de ese lugar y disminuir los costos de mantenimiento de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

1.4 Alcances de la Investigación.

En esta tesis de investigación, su finalidad es la utilización del cloruro de sodio para la estabilización de la subrasante de la carretera cruce el Porongo- Aeropuerto, así lograr una mejor resistencia a las fuerzas externas ocasionadas por los vehículos, y reducir costos en el mantenimiento, lo cual se realizarán 12 calicatas distribuidos en la longitud de la carretera con una profundidad de 1.5m tomando muestras y ensayarlos en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad nacional de Cajamarca.

Con los resultados obtenido de los ensayos de laboratorio se realizará la interpretación y la discusión respectivas, del mismo modo la interpretación

estadística, logrando de esta manera establecer las respectivas conclusiones y recomendaciones.

1.5 Delimitaciones y limitaciones de la Investigación:

1.5.1 Delimitaciones.

La investigación se ha realizado Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca- Distrito Baños del Inca, en el tramo de la carretera Cruce el porongo- Aeropuerto. Al inicio de esta investigación se pidió permiso de la municipalidad distrital de Baños del Inca para realizar las 12 Calicatas a Tajo abierto.

1.5.2 Limitaciones.

En esta tesis de investigación se limitará a la utilización del cloruro de sodio como aditivo para el mejoramiento de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca en proporciones 1%, 2% y 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material. Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados se realizará la excavación de 12 pozos de exploración a cielo abierto o calicatas, a una profundidad de 1.50 m., ubicados convenientemente de acuerdo al área en estudio, con los que se elaborará los ensayos de laboratorio correspondientes de acuerdo a las normas establecidas.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

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

1.6.2 Objetivos Específicos

- 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 del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.
- Determinar las características físicas y mecánicas de los suelos de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos De La Investigación:

Antecedentes internacionales:

Según Roldán (2010), en su 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.

Según Seco, Ramírez, Miqueleiz, García y Prieto (2010), en su 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.

Antecedentes nacionales:

Según Gutiérrez (2010), en su 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.

Antecedentes locales:

Según Robinson Jara Anyaypoma (2014) en su Tesis de Investigación “EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO”, concluye para este tipo de suelo perteneciente a la subrasante la dosis de cal al 4% es la óptima para estabilizarla. El CBR máximo se logra con un porcentaje de cal de 4% con valores de 11.48%. El CBR mínimo es de 2.55% sin adicionar cal a la muestra, el cual

está por debajo de 6 exigido para subrasantes según normal (MTC EN 115), este aumenta del CBR de un 421.57%.

2.2 Bases Teóricas:

2.2.1 Suelos

Definición

Para propósitos de ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se utiliza como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y con cimientos estructurales. Por lo tanto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como el origen, la distribución de tamaño de grano, la capacidad de drenar el agua, compresión, resistencia al corte y la capacidad de soporte de carga. La mecánica de suelos es la aplicación de la ciencia física que se ocupa del estudio de las propiedades físicas del suelo y el comportamiento de las masas de suelos sometidos a diferentes tipos de fuerzas. La ingeniería de suelos es la aplicación de los principios de la mecánica de suelos a problemas prácticos. La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra. (Braja M. Das, Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica, Cuarta Edición, Año 2013, Pág. 01)

Sistema de clasificación AASHTO.

(Braja M. Das, Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica, Cuarta Edición, Año 2013, Pág. 78, 79, 80, 81, 83, 84, 86, 87)

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha sido objeto de varias revisiones, con la actual versión propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145).

El sistema de clasificación AASHTO utilizado actualmente se muestra en la tabla 4.1.

De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales

granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz núm. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Éstos son

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 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 comunes de materiales significativos constituyentes							
	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Grupo de clasificación				
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes				
	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante			Regular a malo	

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

principalmente limo y materiales del tipo de arcilla. El sistema de clasificación se basa en los

siguientes criterios:

1. Tamaño de grano

Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz núm. 10 (2 mm). Arena: fracción que pasa el tamiz núm. 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm). Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz núm. 200

2. Plasticidad:

El término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.

3. Si se encuentran cantos y guijarros

(tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo en el que se hizo la clasificación. Sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material. Para clasificar un suelo de acuerdo con la tabla 4.1, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta. La figura 4.1 muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7. Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de subrasante carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

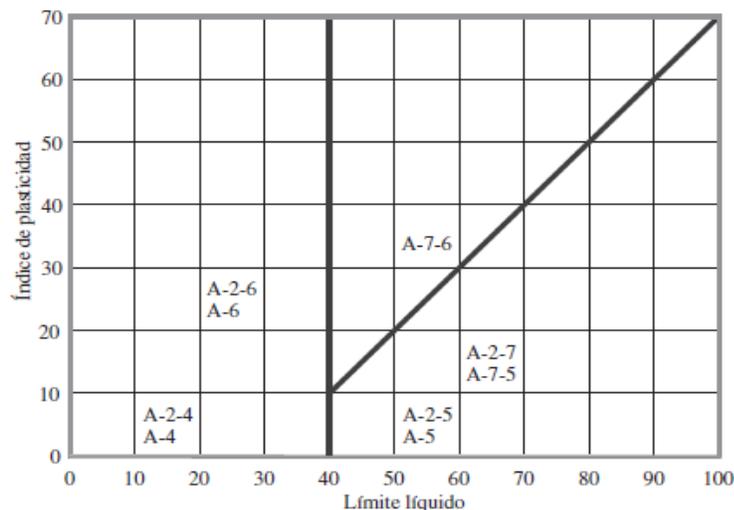


Figura 4.1 Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7

El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación.

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

Donde:

F=porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL=límite líquido

PI=índice de plasticidad

El primer término de la ecuación (4.1), es decir $(F-35) [0.2+0.005(LL-40)]$, es el índice de grupo parcial determinado por el límite líquido. El segundo término, $0.01 (F-15) (PI-10)$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad. A continuación, se presentan algunas reglas para la determinación del índice de grupo:

1. Si la ecuación (4.1) da un valor negativo para IG, se toma como 0.
2. El índice de grupo calculado a partir de la ecuación (4.1) se redondea al número entero más próximo (por ejemplo, $IG=3.4$ se redondea a 3; $IG=3.5$ se redondea a 4).
3. No hay límite superior para el índice de grupo.
4. El índice de grupo de los 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, utilice el índice de grupo parcial para PI, o

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

En general, la calidad del rendimiento de un suelo como material de subrasante es inversamente proporcional al índice de grupo.

Sistema unificado de clasificación de suelo.

La forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1948 para su uso en los trabajos de construcción del aeródromo realizado por el Cuerpo de

Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En colaboración con el U.S. Bureau of Reclamation, este sistema fue revisado en 1952. En la actualidad, es ampliamente utilizado por los ingenieros (Norma ASTM D-2487). El Sistema Unificado de Clasificación se presenta en la tabla 4.2 y clasifica los suelos en dos grandes categorías:

1. Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso.

2. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos. Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- W: bien clasificado
- P: mal clasificado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

sistema unificado de clasificación de suelos (basado en el material que pasa por el tamiz num. 75)			
Suelo de grano Grueso Mas de 50% retenido en tamiz num. 200	Gravas Mas de 50% de Fraccion gruesa retenida en tamiz num. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos.	$Cu \geq 1$ y $Cc \leq 3$ ^c
	Arenas 50% o mas de la fraccion gruesa pasa tamiz num, 4	Gravas con finos Mas de 12% finos	PI > 7 y graficos por debajo de linea "A"
		Arenas limpias Menos de 5% finos	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ ^c
		Arenas con Finos Mas de 12% finos	$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$ ^c
Suelos de Grano Fino 50% o mas pasa a traves del tamiz num. 200	Limos y arcillas limite liquido menor que 50	Inorganico	PI > 7 y graficos en o por encima de linea "A" PI < 4 y graficos por debajo de linea "A"
		Organico	<u>Limite Liquido: secado</u> <u>Limite liquido: no secado</u> < 0.75; zona OL
	Limos y arcillas Limite liquido 50 o mas.	Inorganico	Graficos PI en o por encima de linea "A" Graficos PI por debajo de "A" linea
		Organico	<u>Limite Liquido: secado</u> <u>Limite Liquido: no secado</u> < 0.75 ; zona OH
Suelos Altamente organicos	Materia organica principalmente, color oscuro y organico		Pt
gravas con 5 a 12% de finos requieren simbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC			
Arena con 5 a 12% de finos requieren simbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC			
si $4 \leq PI \leq 7$ y graficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble simbolo GC-GM o SC-SM			
si $4 \leq PI \leq 7$ y graficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble simbolo CL-ML			

(Braja M. Das, Fundamentos De La Ingenieria Geotécnica, Cuarta Edición, Año 2013, Pág.83)

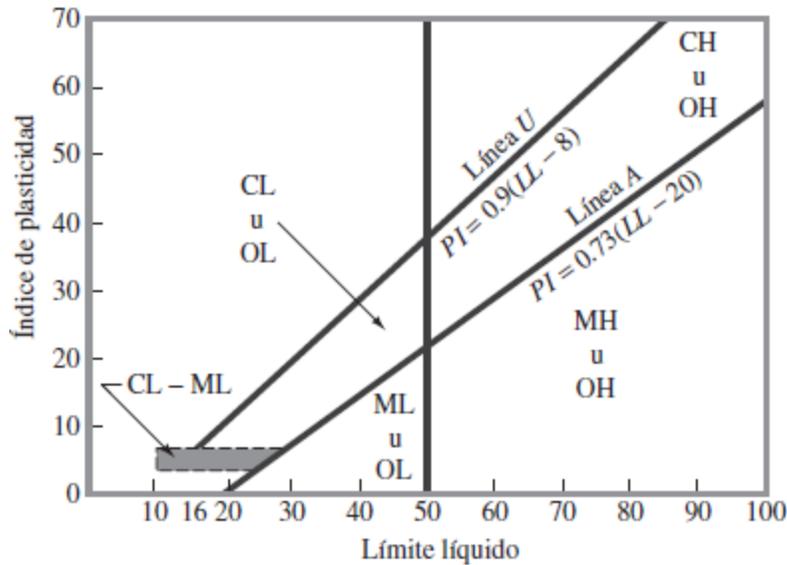


Figura 4.2 Gráfica de plasticidad

Para la clasificación adecuada de acuerdo con este sistema, una parte o toda la siguiente información debe conocerse:

1. Porcentaje de grava, esto es, la fracción que pasa el tamiz de 76.2 mm y retenida en el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura)
2. El porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
3. El porcentaje de limo y arcilla, esto es, la fracción más fina que el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
4. El coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de gradación (C_c)
5. El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz núm. 40. Los símbolos de los grupos de los suelos de grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM y GP-GC. Del mismo modo, los símbolos de los grupos de suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt. Los nombres de los grupos de los distintos suelos clasificados bajo el Sistema de Clasificación Unificado se pueden determinar usando las figuras 4.3, 4.4 y 4.5. Al usar estas figuras, hay que recordar que en un suelo dado:

- Fracción fina _ % que pasa el tamiz núm. 200
- Fracción gruesa _ % retenido en el tamiz núm. 200

- Fracción grava \geq % retenido en el tamiz núm. 4
- Fracción arena \geq (% retenido en el tamiz núm. 200) – (% retenido en el tamiz núm. 4)

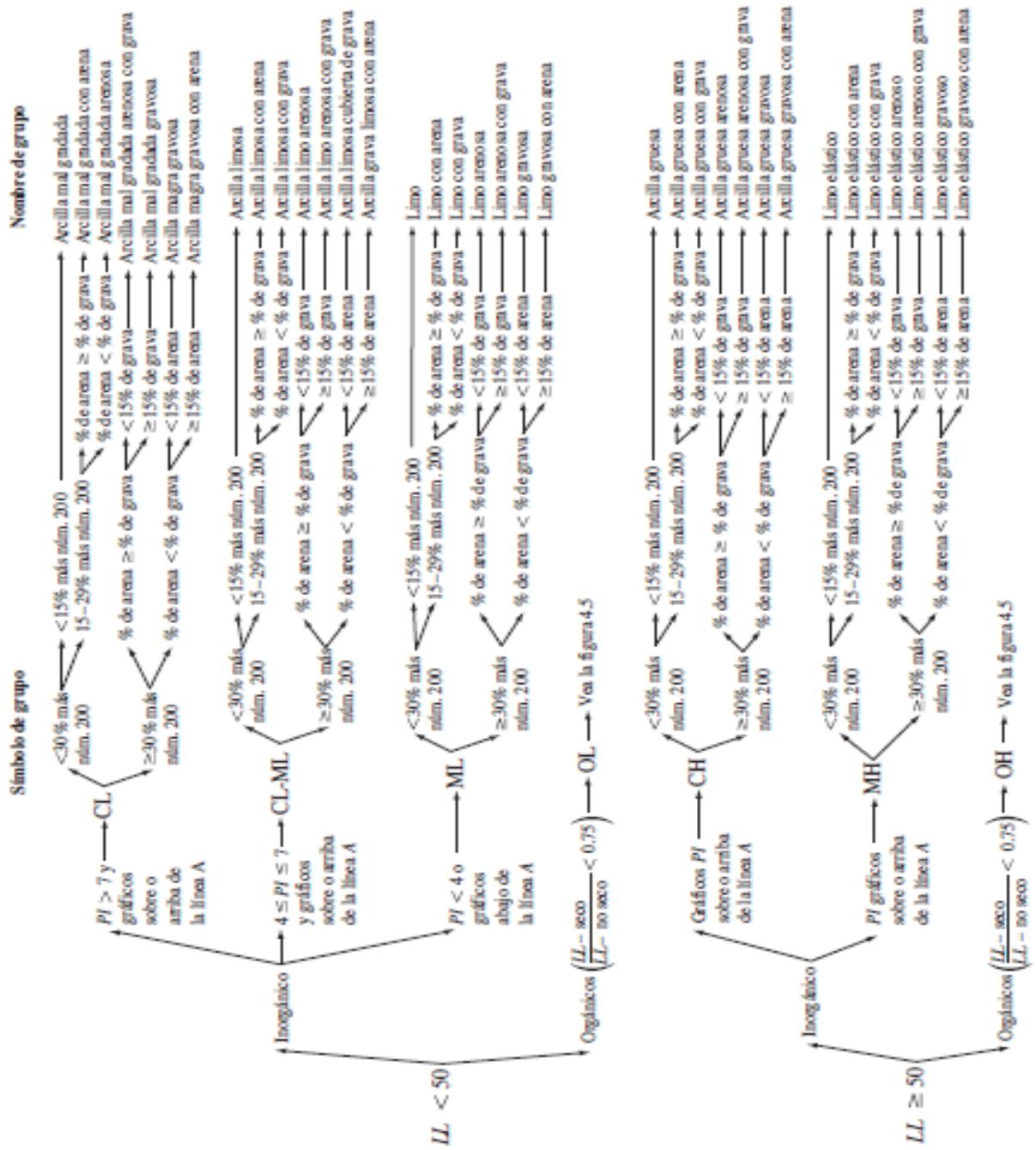
Símbolo de grupo		Nombre de grupo
GW	$<15\%$ de arena	Grava bien graduada
	$\geq 15\%$ de arena	Grava bien graduada con arena
GP	$<15\%$ de arena	Grava mal graduada
	$\geq 15\%$ de arena	Grava mal graduada con arena
GW-GM	$<15\%$ de arena	Grava bien graduada con limo
	$\geq 15\%$ de arena	Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC	$<15\%$ de arena	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	$\geq 15\%$ de arena	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	$<15\%$ de arena	Grava mal graduada con limo
	$\geq 15\%$ de arena	Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	$<15\%$ de arena	Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	$\geq 15\%$ de arena	Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	$<15\%$ de arena	Grava limosa
	$\geq 15\%$ de arena	Grava limosa con arena
GC	$<15\%$ de arena	Grava arcillosa
	$\geq 15\%$ de arena	Grava arcillosa con arena
GC-GM	$<15\%$ de arena	Grava limo arcillosa
	$\geq 15\%$ de arena	Grava limo arcillosa con arena
SW	$<15\%$ de grava	Arena bien graduada
	$\geq 15\%$ de grava	Arena bien graduada con grava
SP	$<15\%$ de grava	Arena mal graduada
	$\geq 15\%$ de grava	Arena mal graduada con grava
SW-SM	$<15\%$ de grava	Arena bien graduada con limo
	$\geq 15\%$ de grava	Arena bien graduada con limo y grava
SW-SC	$<15\%$ de grava	Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	$\geq 15\%$ de grava	Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP-SM	$<15\%$ de grava	Arena mal graduada con limo

(Braja M. Das, Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica, Cuarta Edición, Año 2013, Pág.85)

Símbolo de grupo		Nombre de grupo
GW	< 15% de arena	Grava bien graduada
	≅ 15% de arena	Grava bien graduada con arena
GP	< 15% de arena	Grava mal graduada
	≅ 15% de arena	Grava mal graduada con arena
GW-GM	< 15% de arena	Grava bien graduada con limo
	≅ 15% de arena	Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC	< 15% de arena	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≅ 15% de arena	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	< 15% de arena	Grava mal graduada con limo
	≅ 15% de arena	Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	< 15% de arena	Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≅ 15% de arena	Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	< 15% de arena	Grava limosa
	≅ 15% de arena	Grava limosa con arena
GC	< 15% de arena	Grava arcillosa
	≅ 15% de arena	Grava arcillosa con arena
GC-GM	< 15% de arena	Grava limo arcillosa
	≅ 15% de arena	Grava limo arcillosa con arena
SW	< 15% de grava	Arena bien graduada
	≅ 15% de grava	Arena bien graduada con grava
SP	< 15% de grava	Arena mal graduada
	≅ 15% de grava	Arena mal graduada con grava
SW-SM	< 15% de grava	Arena bien graduada con limo
	≅ 15% de grava	Arena bien graduada con limo y grava
SW-SC	< 15% de grava	Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≅ 15% de grava	Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP-SM	< 15% de grava	Arena mal graduada con limo
	≅ 15% de grava	Arena mal graduada con limo y grava
SP-SC	< 15% de grava	Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≅ 15% de grava	Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	< 15% de grava	Arena limosa
	≅ 15% de grava	Arena limosa con grava
SC	< 15% de grava	Arena arcillosa
	≅ 15% de grava	Arena arcillosa con grava
SC-SM	< 15% de grava	Arena limo arcillosa
	≅ 15% de grava	Arena limo arcillosa con grava

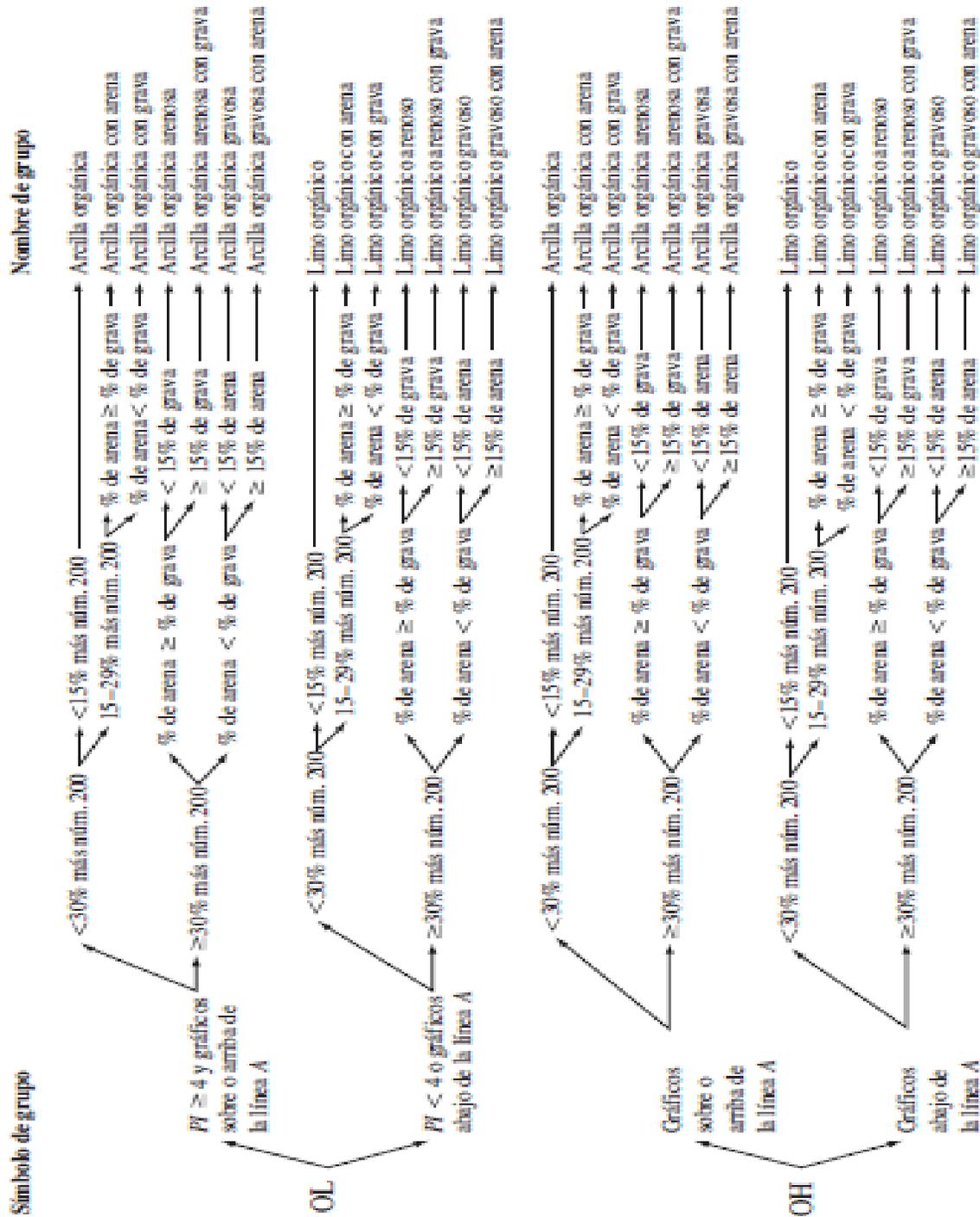
(Braja M. Das, Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica, Cuarta Edición, Año 2013, Pág.86)

Figura 4.3 Diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo (Reproducido con permiso del Libro Anual de Normas ASTM, 2010, copyright ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, 19428)



(Braja M. Das, Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica, Cuarta Edición, Año 2013, Pág.86)

Figura 4.4 Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limo inorgánico y suelos arcillosos (Reproducido con permiso del Libro Anual de Normas ASTM, 2010, copyright ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, 19428).



(Braja M. Das, Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica, Cuarta Edición, Año 2013, Pág.87)

Figura 4.5 Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limoso orgánico y suelos arcillosos (Reproducido con permiso del Libro Anual de Normas ASTM, 2010, copyright ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, 19428)

ESTABILIZACION DE SUELOS.

“MANUAL DE CARRETERAS” SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS, abril 2014, Pag. 92 al 97.

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de la propiedad física de un suelo a través de procesos mecánicos e incorporaciones productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelos cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio, cuando se estabiliza un subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.).

1.-criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos.

1).- se consideran como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el ingeniero responsable analizara diversas alternativas de estabilización o de solución, como: estabilización mecánica, reemplazo de suelos de cimentación, estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, estabilización con geosintéticos (geosintéticos, geomallas u otros), terraplenes, capas de arena, elevar la rasante o cambiar el trazo vial si las alternativas resultan ser demasiado costosas y complejas.

2).-cuando la capa de la sub rasante sea arcilla o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales pueden penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. De espesor como mínimo o un geotextil, según lo justifique el ingeniero responsable.

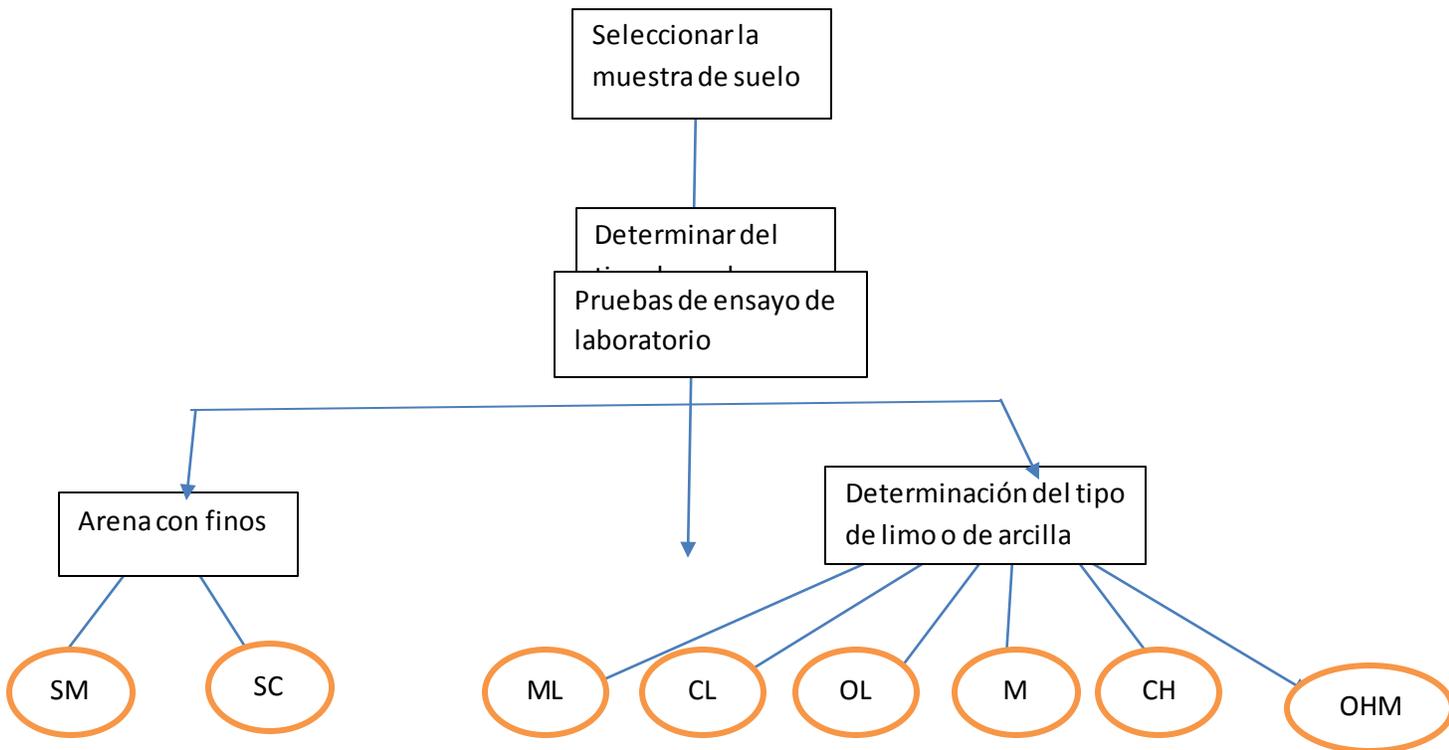
3).-la superficie de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una sub rasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se tarte de una sub rasante buena y regular; a 1.00 m

cuando se trate de una sub rasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevara la rasante hasta el nivel necesario.

4).-en las zonas sobre los 4,000 msnm, se elevará la acción de las heladas en los suelos, en general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Si la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20m), la acción de congelamiento no llegara a la capa superior de la sub rasante. En caso de presentarse en la capa superior de la sub rasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o solevantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm. La curva granulométrica se la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (N°200) se determinara por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E 109).

5).-para establece un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelos existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limo, arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

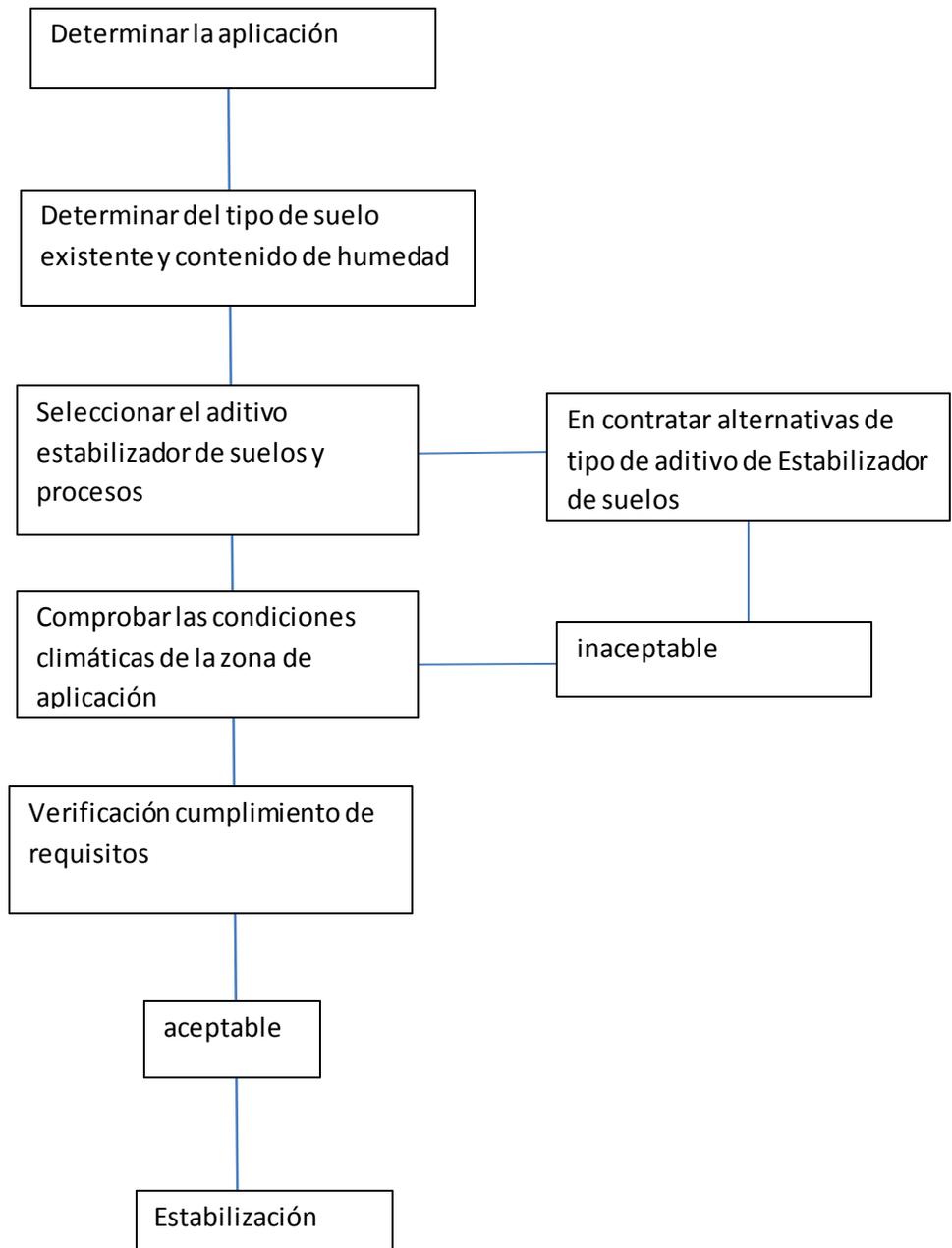
Proceso para la identificación del tipo de suelo



6).- Los factores que se consideran al seleccionar el método mas conveniente de la estabilización son:

- a. Tipo de suelo a estabilizar.
- b. Uso propuesto del suelo estabilizado.
- c. Tipo de Aditivo estabilizador de suelos.
- d. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicara.
- e. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador.
- f. Disponibilidad del equipo adecuado.
- g. Costos comparativos.

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar en método apropiado de estabilización:



7).- A continuación se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.

Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador.

Area	Clase de Suelo	Tipo de Estabilizacion Recomendado		Restriccion en LL e IP del suelo	Restriccion en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
		1				
1A	SW o SP	1	Asfalto			
		2	Cemento Portland			
		3	Cal-Cemento- Cenizas Volantes	IP no exede de 25		
1B	SW-SM o SP-SM o SW-SC o SP-PC	1	Asfalto	IP no exede de 10		
		2	Cemento Portland	IP no exede de 30		
		3	Cal	IP no exede de 12		
		4	Cal-Cemento- Cenizas Volantes	IP no exede de 25		
1C	SM o SC o SM-SC	1	Asfalto	IP no exede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		2	Cemento Portland	b		
		3	Cal	IP no menor de 12		
		4	Cal-Cemento- Cenizas Volantes	IP no exede de 25		
2A	GW o GP	1	Asfalto			Solamente material Bien graduado
		2	Cemento Portland			El material debere contener cuando menos 45% en peso de material que
		3	Cal-Cemento- Cenizas Volantes	IP no exede de 25		
2B	GW-GM o GP-GM o GW-GC o GP-GC	1	Asfalto	IP no exede de 10		solamente materail bien graduado
		2	Cemento Portland	IP no exede de 30		El materail debere contener cuando menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4
		3	cal	IP no exede de 12		
		4	Cal-Cemento- Cenizas Volantes	IP no exede de 25		
2C	GM o GC o GM-GC	1	Asfalto	IP no exede de 10		solamente materail bien graduado
		2	Cemento Portland	b		El materail debere contener cuando menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4
		3	cal	IP no exede de 12		
		4	Cal-Cemento- Cenizas Volantes	IP no exede de 25		
3	CH o CL o MI o ML o OH o OL o ML-CL	1	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos organicos y fuermente acidos contenidos en esta area no son
		2	cal	IP ne menor de 12		
= Indice Plantico b IP 20+ (porsentaje que pasa la malla N°200)				Sin restriccion u observaciooj no es necesario aditivo estabilizador		Fuente: US Army Corps of Engineers

Guía complementaria referencial para la selección del tipo de estabilizador.

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Tecnicas	Suelo	Dosificación	Curado Apertura al Tránsito	observaciones
		A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, y A-7 LL > 40% IP ≥ 18% CMO < 1.00% Sulfatos (SO ₄) < 0.02% Abrasion < 50% Durabilidad SO ₄ CA - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AF ≤ 18%	2 - 12 %	7 días	Diseño de mezclas de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsion	ASTM D2397 O AASHTO M208	A-1, A-2 y A-3 pasante malla N°200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40 % CMO (2) < 1.00% Sulfatos (SO ₄) < 0.6% Abrasion < 50 % - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - A5 ≤ 18%	4 - 8 %	Mínimo 24 Horas	Cantidad de aplicación definida de acuerdo a resultados del Marshall Modificado
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO ₄) < 0.2% Abrasion < 50 %	2-8 %	Mínimo 72 Horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas. Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D6276
Cloruro de Calcio	ASTM D8 ASTM D345 ASTM E449 MTO E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15 % CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO ₄) < 0.2% Abrasion < 50 %	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8 % ≤ IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Abrasion < 50 %	50-80 KG/M ³	7 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% PH: mínimo 5 Abrasion < 50 %	50-80 KG/M ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6 % ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO (2) No debe contener Abrasion < 50 % % < N° 200: 10-35%	1/30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del Fabricante	
Aceites Sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO < 1.0 % Abrasion < 50 %		De acuerdo a Especificaciones del Fabricante	

Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8", tamaños: 2", debe carecer de restos vegetales, los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar en el expediente técnico.

CMO: Contenido de material orgánico. Los diseños o dosificaciones deben indicar: fórmula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayo Marshall modificado o llinios, según corresponda al tipo de estabilizar aplicado. Para alturas mayores a 3000 msnm. Después de finalizar el proceso de compactación.

2.- Estabilizador Mecánica de Suelos.

Con la estabilización mecánica de suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

3.- Estabilización por Combinación de Suelos.

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo.

El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), si la hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de sub rasante fijado en el proyecto.

El suelo de aporte para el mejoramiento se aplicará en los sitios indicados en los documentos del proyecto, en cantidades tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente cumpla las exigencias de la sección 207 del manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para construcción, vigente.

4.- Estabilización por sustitución de los suelos.

Cuando se provea la construcción de la sub rasante mejorada solamente con material adicionado, puede presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que este deba ser excavada previamente y reemplazada por el material de adición.

En primer caso, el suelo existente se deberá escarificarse, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizara la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de sub rasante de densidades exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación. En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

4.1.- procedimiento para determinar el espeso de reemplazo en función al valor soporte o resistencia del suelo. Este procedimiento de cálculo para determinar en sectores localizados, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de sub rasantes pobres, con suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores soporte entre $CBR \geq 3\%$ y $CBR \geq 6\%$, calculándose según lo siguiente:

Se calculará el numero estructural SN del pavimento para 20 años, el material a emplear tendrá un $CBR \geq 10\%$ e IP menor a 10, o en todo caso será similar. Cuando en los sectores adyacentes al sector de sustitución de suelos presentes un $CBR > 10\%$, para el cálculo del SN se utilizará el mayor valor de CBR de diseño, que presenta el material de reemplazo, este número estructural SN calculado se denomina SNm (mejorado), luego se calculará el SN del pavimento para el CBR del material de sub rasante existente (menor a 6%), que se denominará SNe (existente).

Se utilizará la diferencia algebraica de números estructurales.

$$\Delta SN = SNe - SNm$$

Habiéndose escogido el material de reemplazo ($CBR \geq 10\%$) a colocar (según SNm calculado), se obtendrán los valores correspondientes de coeficientes estructurales (a_i) y coeficientes de drenaje (m_i), luego obtener dichos valores se procederá a obtener el espesor E, aplicando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sum SN}{a_i x m_i}$$

Siendo:

E : Espesor de reemplazo en cm.

A_i: Coeficiente estructural del material a colocar /
cm.

M_i: Coeficiente de drenaje del material a colocar.

Espesores recomendados de material a reemplazar.

Espesores recomendados para estabilización por sustitución de
suelos

3% ≤ CBR ≤ 6%

Trafico		Espesor de Reemplazo con Material CBR>(cm)
0	25000	25.0
25001	75000	30.0
75001	150000	30.0
150001	300000	35.0
300001	500000	40.0
500001	750000	40.0
750001	1000000	45.0
1000001	1500000	55.0
1500001	3000000	55.0
3000001	5000000	60.0
5000001	7500000	60.0
7500001	10000000	65.0
10000001	12500000	65.0
12000001	15000000	65.0
15000001	20000000	70.0

20000001	25000000	75.0
25000001	30000000	75.0

5.-Suelos estabilizados con Cal.

El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenida por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas calces se llaman también áreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

La experiencia demuestra que los productos de la hidratación del cemento pueden ser producidos combinando dos o más componentes primarios de este producto como: CaO, SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ en las propiedades adecuadas y en presencia de agua.

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra (Ca O) o de cal hidratada (Ca (OH)₂) y agua en cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada.

La Cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser Cal viva o hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la sección 301.B del manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente; la Especificaciones AASHTO M-216 o ASTM C-977. Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, formación de nuevos productos químicos. La sílice y aluminio de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles. Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Por ejemplo, suelos de plasticidad IP < 15, aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con IP > 15 disminuye el IP. También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad. En corte e incluso de terraplenes, donde se evidencien suelos arcillosos, resulta conveniente mejorar el suelo con un pequeño porcentaje

de cal para proteger la explotación y formar una plataforma para la construcción de la capa de rodadura. Al mezclar el suelo con cal este se vuelve más friable y granular. Al aumentar su límite plástico y humedad óptima de compactación permite su puesta en obra con mayor facilidad. Es frecuente que mezcla se realice en dos fases, con un periodo intermedio de reacción de 1-2 días. La aplicación más usada de las estabilizaciones con cal es en sub rasante y como capa de rodadura, en zonas de suelos arcillosos y/o con cantera de materiales granulares lejanos.

La National Lime Asociación resumen las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en la siguiente:

Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico. Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas. Obtención de un material más trabajable y fiable como productos de la reducción del contenido de agua en los suelos (roturafacilvde grumos). La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación. Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento. Incremento de la resistencia a la compresión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzado en algunos casos hasta un 40% de hinchamiento. Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR). Incremento de la resistencia a la tracción del suelo. Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso de agua subterránea. La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos: Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla como uso de capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en peso. Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso). Debe tenerse en cuenta, el problema de posible fisuramiento de estas de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cal, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cal.

6.- Suelos Estabilizado con cemento.

El material llamado suelo-cemento de obtener por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuado. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del

concreto, sin embargo, los granos del suelo no están envueltos en pasta de cemento endurecido, si no que están puntualmente unidos entre sí. Por ello el suelo-cemento tiene una resistencia interior y un módulo de elasticidad más baja que el concreto.

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo-cemento de:

Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.

Ejecución.

Edad de mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipo A-1, A-2 y A-3, con fines de plasticidad bajo o medio ($LL < 40$, $IP < 18$). La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuye ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento para suelo cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Rango de cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento.

Clasificación de Suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido porcentaje del peso de los suelos
A -1- a	3 - 5
A - 1 - b	5 - 8
A - 2	5 - 9
A - 3	7 - 11
A - 4	7 - 12
A - 5	8 - 13
A - 6	9 - 15
A - 7	10 - 16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA)

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ se a la presencia y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de subrasante, se exige un grado de compactación mínima 95 % según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%. Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de las estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una flata o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento.

7.- Suelos Estabilizados Con Escoria.

Hoy en día las escorias de acería o de otros hornos de fundación se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fábrica de hormigón, como material de base o sub base en los pavimentos, en la estabilización de la sub rasante, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales. Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no se precisan los agregados se reduce en consumo de energía y combustible, y se reducen las emisiones de CO₂ al ambiente.

En caso de escases de finos, se podrá efectuar una mezcla de escoria, arena fina y cal. La cal utilizada será la indicada en la sección 301.B suelo estabilizado con Cal, del manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción, vigente; no obstante, en este caso no se admitirá el uso de cal viva, porque podría causar expansión en el suelo. En los suelos estabilizados en escoria y cal el porcentaje estimado en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3 % y de escoria entre 35% - 45% en volumen. La utilización de grados con tamaño limitado al de las arenas facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar prematuramente la cuchilla de motoniveladora ni formar estrías sobre la calzada.

Además, tamaños de agregados mayores a 1 cm al ser despedidos por la acción del tránsito pueden aprovechar daños a los vehículos, así como a las personas.

8.- Estabilización con Cloruro de Sodio.

El principal uso de la sal es como control de polvo en base a superficies de rodadura para tránsitos ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar

la rápida evaporación del agua de compactación. La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente de 98 % de NaCL y un 2% de arcillas y limo, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de ebullición 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 componente de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante.

Los suelos que se usan para la construcción de suelo-sal deben limpias y no deben tener más de tres por ciento (3%) de su peso de materia orgánica. El índice de plasticidad del suelo debe ser mayor a 8%, pero para la fracción de suelo que pasa la malla N°200 el requerimiento mínimo es de 12%. No obstante, para mayores índices de plasticidad del suelo, se permite aceptar para la fracción de suelos que pasa la malla #200, menores valores de IP hasta un límite no menos de 9%. El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo de no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-sal. El espesor total de la capa de suelo estabilizado con sal será de 150 mm o 200mm, según se especifique en el proyecto. La sal (cloruro de Sodio) se produce mediante 3, métodos, el más antiguo consiste en el empleo del calor solar para producir la evaporación del agua salada, con la que obtienen los residuos de sal. Otro método consiste en la extracción directa de las minas de sal y el tercer método consiste en la evaporación del agua de mar mediante el empleo de hornos. El cloruro de sodio se presenta en forma de cristales, fáciles solubles en agua, las cuales son higroscópicas y se les consigues en el mercado construyendo cristales grandes o polvo fino y con diferentes grados de pureza.

Las características típicas de la sal (cloruro de sodio) son:

Características Típicas de Sal (cloruro de sodio)

Características	Limites
Cloruro de sodio, %	98.00 - 99.70
Humedad, %	2.00 – 3.60
Materia Insoluble, %	0.007 – 0.175
Ion calcio, %	0.035 – 0.910
Ion Magnesio, %	0.002 – 0.074

Ion sulfato, %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm (N°4)	20 – 55 %
Tamiz 1.18 mm (N°16)	50 – 70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (N°16)	13% max

Normalmente la cantidad de sal está comprendida entre 50 y 80 Kg/m³ de suelo a estabilizar. No obstante, la cantidad adecuada de sal depende de los resultados que se obtengan del tramo de prueba.

El agua que se usa para la construcción de la base de suelo – Sal debe estar limpia, no debe contener material orgánico y debe estar libre de aceites, ácidos y alcalinos 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. La mezcla sobre la vía es el conjunto de operaciones que, mediante el mezclado sobre la plataforma de la vía del suelo con la sal y con el agua, utilizando el equipo adecuado, permite obtener la mezcla de suelo sal que satisfaga los requisitos establecidos. Para mezclar es más adecuado el uso de rastas con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o las lluvias, la superficie debe rociarse con 450 grs de sal por cada metro cuadrado.

9.-Estabilizacion con Cloruro de Calcio.

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es de paliativo del polvo.

Las características higroscópicas de este producto ayudan a mantener la humedad en la superficie del camino. Se puede utilizar de dos formas:

En granos regulares o Tipo I.

En hojuelas o pelotillas o Tipo II

La dosificación es de 1% - 2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro

de sodio; generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al comienzo de la temporada seca.

El suelo a estabilizar deberá presentar las siguientes características:

Agregado grueso (1" – N°4) de 10 - 60 %.

Agregado fino menor que la malla N°200 de 10- 30%

Índice plástico IP = 4-15%

Sulfatos 001% máximo.

10.- Estabilización con Cloruro de Magnesio.

El cloruro de magnesio (MgCL) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloruro, 52% de agua y un 4% de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad. Para el uso vial presenta las siguientes propiedades útiles:

Higroscópica: posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas. Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodadura. Resistente a la evaporación: posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida. Baja temperatura de congelamiento: $-32.80\text{ }^{\circ}\text{C}$ Altamente soluble en agua; permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla. En los caminos pavimentados, el cloruro de magnesio puede utilizarse para prevenir la formación de hielo sobre la calzada ("anti-icing"), o bien para derretir hielo ya formado sobre el pavimento ("de-icing), debido a que permite bajar el punto de congelamiento del agua e impedir la formación de hielo, a temperaturas ambientales por debajo de los -5°C en los caminos no pavimentados, se utiliza dos formas de aplicación diferentes:

- Como tratamiento supresor de polvo: el camino no pavimentado (afirmado) debe ser previamente preparado, humedecido, compactado, y estar libre de deterioro en superficie. De preferencia, el material deberá contener una proporción de material fino en el orden de 10 al 20% para asegurar cohesión (en tal sentido, mejor si son finos plásticos), y al menos un 20% de material granular con tamaño superior a 10 mm para asegurar un mínimo de estabilidad estructural. Sobre esta capa se aplica una serie de riegos de salmuera de cloruro de magnesio, cuya

disolución debe ser homogénea y estar en proporción 1,5 a 1 con el agua (en peso), con lo cual la salmuera tendrá una densidad de 1.25 tn/m³. Se recomienda aplicar unos 4 l/m² de riego sobre el camino, pudiendo variar la dosis en función de la geometría del camino, tránsito futuro, o también de la proporción de finos plásticos. De esta manera, se consigue una costra superficial durable que reduce casi por completo la dispersión de polvo causada por el tránsito vehicular, mejorando sensiblemente las condiciones ambientales en la zona aledaña.

- Como estabilizar superficialmente: en este caso, se debe mezclar la parte superior de la capa de afirmado con el producto diluido en agua, en un espesor variable entre 7 y 15 cm de acuerdo al diseño efectuado. La dosis de cloruro de magnesio se aplica, en una proporción de entre 3 y 5% en peso de suelo seco, depende del grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de MgCL). El material debe ser trabajado con maquinaria y mezclado en forma homogénea, y se debe humectar hasta alcanzar su humedad óptima considerando el aporte de la salmuera de cloruro de magnesio, y descontando la humedad natural del afirmado. Posteriormente, el material ya humectado debe ser apropiadamente distribuido y compactado con rodillo liso vibratorio.

11.- Estabilización con Productos Asfálticos.

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad:

1. Un aumento de estabilidad por las características aglomerante del ligante que envuelve las partículas del suelo.
2. Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas. La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, LL<30 e IP<10. Los materiales asfálticos usualmente empleados son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. La granulometría puede ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos, pero una mayor superficie específica exigirá un ligante de curado y rotura más lentos, para permitir una mezcla más adecuada. En zonas con temperaturas elevadas, también deberán usarse productos de curado y rotura más lentos, estos podrán ser más viscosos. En caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea una emulsión, tan como un agente químico utilizado como emulsiones y definido como tenso activo o surfante

aniónico o catiónico, que determinara como tenso activo o surfactante anionico o catiónico, que determinara la clasificación de las emulsiones como anionicos, cationicoas o no ionicas. Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de 3 y 9 micras. Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material, aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economía. Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava si el material pétreo no es afín con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se puede presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado se asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreo que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática. Después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60 °C, se sacan y se penetran hasta la falta o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35 mm registrándose la carga máxima en kg, se efectuara una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsion y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsiones de un porcentaje de 1. El procedimiento cosntructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No se debe hacer la estabilización cuando hay mucho viento, menos de 5 °C o lluvia. Las estabilizaciones se ejecutarán cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a 15°C, no obstante, si la temperatura límite inferior para poder ejecutar, podrá fijarse en 10°C la temperatura límite inferior para poder ejecutar la mezcla; estos límites podrán se rebajados en 5°C, cuando la aplicación del ligante se afectue directamente en la máquina de una sola pasada o en la mezcladora de la planta fija. La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de asfalto utilizado caria entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el asfalto no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcladora. El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias y la

temperatura ambiente; razón por la cual es fundamental considerar el cuadro de estas capas estabilizadas o tratadas con asfalto.

2.2.2 Pavimentos

Definición

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.

Tipos de pavimentos

Por sus capas superiores y superficie de rodadura pueden ser clasificados como sigue:

A. Con superficie de rodadura no pavimentada.

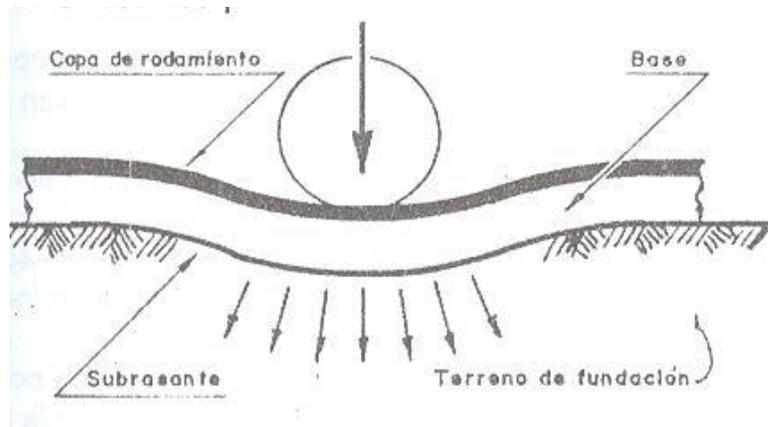
B. Con superficie de rodadura pavimentada.

- **Pavimentos flexibles:**

Pertencen 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 abajo⁹. 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 1: Distribución de cargas - pavimento flexible



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

• **Pavimentos semirrígidos:**

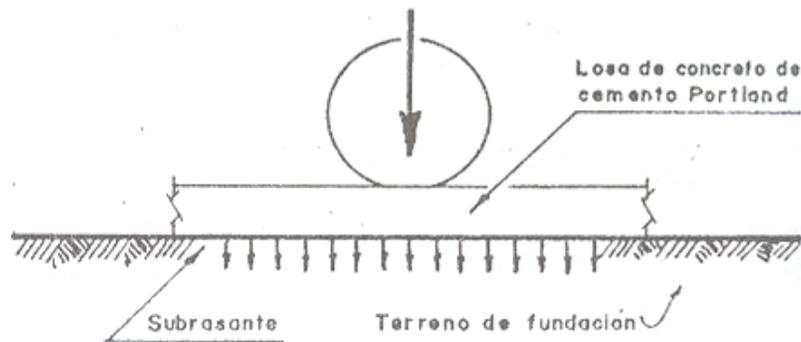
Conformados con solo capas asfálticas o por adoquines de concreto sobre una capa granular, cuando la necesidad lo justifique el uso de estos pavimentos el proyectista deberá recurrir a los manuales de diseño correspondiente.

• **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 2: Distribución de cargas - pavimento rígido



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

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.

Obras ejecutadas en carreteras no pavimentadas

- **Mantenimiento de carreteras no pavimentadas**

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”¹³. 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

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

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 reconformación 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 desencalaminado, perfilado, nivelación, reposición de material granular, así como reparación o reconstrucción puntual de los puentes y obras de arte.

Conservación de carreteras

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; y
- ✓ 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

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 3: Trabajos de ensanche en carretera.



Fuente: Fotografía propio.

2.2.3 Estabilización de carreteras no pavimentadas

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 suelos¹⁵, 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.

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



(MgSO₄), sulfato de calcio (CaSO₄), cloruro de potasio (KCl) y bromuro de magnesio (MgBr₂).

Figura 4: 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. La 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/m³, 2.2 gr/cm³

Masa: 58.4 uma

Punto de Fusión: 1074K (801 °C)

Punto de ebullición: 1738 K (1465 °C)

Punto de descomposición: 0K (-273.16 °C)

Temperatura crítica: 0K (-273.16°C)

Presión de vapor: 1 atm @ 463 °C

Densidad relativa: 1.165

Solubilidad en agua: muy soluble

Reactividad en agua: ninguna

- **Componentes**

99% cloruro de sodio

- **Riesgo**

Salud: ligero

Inflamabilidad: ninguna

Reactividad: ninguna

Tabla 1: Características 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.

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 5: Aplicación de cloruro de sodio al suelo



Fuente: propio laboratorio de Mecánica de Suelos UNC

Figura 6: Aplicación directa de sal al suelo



Fuente: <http://picasaweb.google.com/lh/photo/>

- **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 7: Salmuera



Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC

Figura 8: Aplicación de salmuera en laboratorio



Fuente: propia Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC

Figura 9: 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).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 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 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 Descripción and Identificación of Soils -Visual-Manual Procedure-). La cantidad de exploraciones fue de doce (12), que en la tabla 5, se muestra su respectiva progresiva, así como las coordenadas UTM correspondientes.

3.2 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 5.

Figura 10: Ubicación del lugar de Estudio.

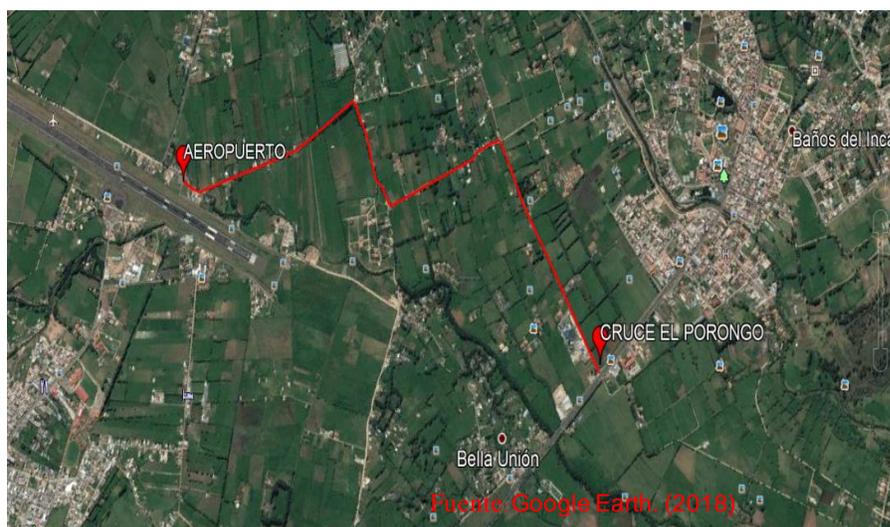


Tabla 2. Cuadro de ubicación de calicatas

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	PROGRESIVA	COORDENADAS UTM	
			ESTE	NORTE
C-1	1.50	Km. 00+000	778986	9207665
C-2	1.50	Km. 00+320	778527	9208142
C-3	1.50	Km. 00+640	778347	9209103
C-4	1.50	Km. 00+960	778343	9209157
C-5	1.50	Km. 01+280	778065	9209287
C-6	1.50	Km. 01+600	778006	9209287
C-7	1.50	Km. 01+920	777936	9267400
C-8	1.50	Km. 02+240	777824	9209384
C-9	1.50	Km. 02+560	777771	9209407
C-10	1.50	Km. 02+880	777726	9209434
C-11	1.50	Km. 03+200	777905	9209334
C-12	1.50	Km. 03+510	777679	9209516

3.3 Materiales y Procedimiento:

3.3.1 Materiales:

Los ensayos de laboratorio se han realizado en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, con equipos debidamente calibrados, con los que se obtendrán los resultados para su respectivo análisis y cumplir con los objetivos planteados. Cada uno de los equipos y materiales cumplen con los reglamentos y normas vigentes según cada ensayo a realizar. Los materiales utilizados son los siguientes:

3.3.2 Procedimiento:

PARA ENSAYOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. (ASTM D421, AASHTO T 88, NTP.400.012.2001)

- **Material:**

Se toma una muestra seca aproximadamente más de 500 gr de cada calicata a estudiar.

- **Procedimiento:**

- Se ha secado la Muestra ya sea a la intemperie. Se pesó la muestra seca 500 gr.
- Se loco los tamices en el siguiente orden, 3", 2", 1", 1/2", 1/4", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200, con tapa, para luego colocar la muestra.
- Se colocó la muestra sobre el tamiz de diámetros más grande para hacer pasar por todos los tamices siguiente en forma manual.
- Se pesó el material retenido en cada tamiz para el proceso en gabinete.

PARA ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS. (ASTM D-4318)

A. LIMITE LIQUIDO.

Para este ensayo se tomó como referencia la norma ASTM D4318, AASHTO T89, MTC E110-1999, NTP 339-130

Material:

- Se toma la muestra suelo seco que pasa la malla N°40

Procedimiento

- Se tomó en una capsula de porcelana mezclar el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme, se colocó una porción de la pasta en la copa de Casagrande, nivelar mediante la espátula hasta obtener un espesor de 1 cm.
- Se realizó en el centro una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra quede dividida en dos partes.

- Se siguió con el procedimiento del ensayo de elevar y caer la copa mediante la manivela a razón de 2 caídas por segundo hasta que las dos mitades de suelo se pongan en contacto en la parte inferior de la ranura y a lo largo de 1.27 cm aproximadamente, se registró el número de golpes de dicho ensayo.
- Con la espátula se retiró una porción de suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura y se colocó en una tara para determinar su contenido de humedad.
- Se agregó más suelos y otro ensayo se agregó agua, se repitió este ensayo dos veces.
- Se realizó la gráfica en escala semilogarítmica, en el eje de las abscisas se registrará el número de golpes a escala logarítmica, en el de las ordenadas los contenidos de humedad en escala natural.
- Determinar la ordenada correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor será límite líquido del suelo.

B. LIMITE PLASTICO

Para este ensayo se tomó como referencia las normas, ASTM D4318, AASHTO T90, MTC E111-1999.

Material.

- Para este ensayo se tomó una porción de la mezcla preparada para el límite líquido.

Procedimiento.

- Se adiciono a la porción de mezcla preparada para el límite líquido agregamos suelo para bajar su contenido de humedad.
- Se enrolla la muestra con la mano sobre una placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3mm de diámetro aproximadamente hasta que presenten agrietamientos, y determinamos su contenido de humedad.
- Repetimos el ensayo una vez más.
- El límite plástico es el promedio de los 2 valores de contenido de humedad.

PARA ENSAYOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD.

Para este ensayo se tomó como referencia a las normal. ASTM D2216 – MTC E108 – 1999, NTP 339 – 127, AASHTO T 88

Material.

- Muestra inalterada extraída de cada calicata.

Procedimiento.

- Se tomó la muestra extraída de cada calicata, se colocó en una tara pesada e identificada, se lo puso a la estufa durante 24 horas.
- Después de 24 horas se pesó nuevamente y los datos obtenidos, se procesan en gabinete para obtener el porcentaje de agua.

PARA ENSAYOS DE PRÓCTOR MODIFICADO

En este ensayo de tomo como referencia a la Norma. ASTM D1557, AASHTO T180, MTC 115-1999.

Material.

- Se toma muestra seca e inalterada de cada calicata.

Procedimiento.

- Se tomó la muestra seca y se preparó 5 muestras con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada una de ellas varié aproximadamente en 1 ½ % entre ellas, se ensambló el molde cilíndrico con la placa de base y el collar de extensión y el papel filtro.
- Se compacto la muestra en 5 capa, en cada capa con 25 golpes, se determinó el contenido de humedad de cada muestra.
- Determinamos la densidad seca de cada muestra compactada. (Ds), Dibujar la curva de compactación en la escala natural. El dato de contenido de humedad se registra en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.

- Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

PARA ENSAYOS DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Se tomó como referencia la norma, ASTM D1883, ASTM D4429 – 93, AASHTO T190, MTC E132-1999

Material.

- Se tomó la muestra seca de cada calicata.

Procedimiento:

Se realizaron en 3 fases: ensayo de compactación CBR, Ensayo de hinchamiento y ensayo carga-penetración.

A. ENSAYO DE COMPACTACION CBR.

- Se Preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinando en el ensayo de compactación proctor modificado para cada calicata.
- Se ensablo los moldes cilíndricos con sus placas de base, collares de extensión, discos espaciadores y papeles filtro, se compacto la muestra en los 3 moldes CBR en cada uno de ellos en 5 capas, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 56 golpes por capa.
- Determinamos la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde. Determinamos la densidad seca de las muestras de cada molde.

B. ENSAYO DE HINCHAMIENTO.

- Invertimos las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensamble nuevamente los moldes en sus placas de base, colocamos sobre cada muestra el papel filtro, placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión, colocamos los tres moldes debidamente equipados en un tanque de

agua durante 4 días (96 horas), registra las lecturas de expansión cada 24 horas.

C. ENSAYO DE CARGA – PENETRACION.

- Después de los 4 días sacamos los moldes del tanque, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- colocamos la sobre carga en cada molde, llevamos a la prensa hidráulica al laboratorio de Materiales, proceder el ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min, registramos las lecturas de carga y de penetración de cada muestra.
- determinamos nuevamente la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Dibujamos las 3 curvas de esfuerzo – deformación correspondiente a las muestras de cada molde, en escala natural, los valores de la penetración se registrarán en el eje de abscisas y los valores de los esfuerzos en el eje de las ordenadas.
- Determinar los esfuerzos correspondientes a 0.1” y 0.2 “ de penetración, de cada una de las curvas esfuerzo – deformación.
- Determinamos los índices CBR para 0.1” y 0.2” de penetración, los cuales se obtienen dividiendo cada valor de esfuerzo correspondiente a 0.1” y 0.2” de la muestra ensayada entre el esfuerzo patrón correspondiente a 0.1” y 0.2”.

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los ensayos de laboratorio:

4.1.1 Límites de Consistencia (ASTM D-4318):

La clasificación para el tipo de suelo se realizó 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 3. Cuadro de resultados de límites de consistencia.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
Límite líquido (%)	42	44	51	29
Límite plástico (%)	34	31	26	16
Índice de plasticidad (%)	8	23	25	13
Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240
Límite líquido (%)	31	48	38	35
Límite plástico (%)	20	30	26	22
Índice de plasticidad (%)	11	18	12	13
Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
Límite líquido (%)	47	40	39	36

Límite plástico (%)	31	28	28	22
Índice de plasticidad (%)	16	12	11	14

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

Tabla 4. Cuadro de clasificación de suelos.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
% Que pasa N° 10	92.35	98.81	97.41	96.61
% Que pasa N° 40	88.07	97.06	93.70	94.49
% Que pasa N° 200	59.30	84.00	65.25	83.04
Clasificación AASHTO	A – 5 (4)	A – 7 – 5 (13)	A – 7 – 6 (15)	A – 6 (9)

Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240
% Que pasa N° 10	94.57	93.89	95.70	95.51
% Que pasa N° 40	86.10	84.11	85.49	85.30

% Que pasa N° 200	68.36	63.09	77.74	63.21
Clasificación AASHTO	A – 6 (6)	A – 7 – 5 (11)	A – 6 (9)	A – 6 (6)

Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
% Que pasa N° 10	96.37	93.84	94.65	96.71
% Que pasa N° 40	86.59	76.48	84.37	84.85
% Que pasa N° 200	76.77	61.16	62.29	70.25
Clasificación AASHTO	A – 7 – 5 (14)	A – 6 (11)	A – 6 (6)	A – 6 (9)

4.1.3 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 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 Próctor 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 5. Cuadro de resultados de Proctor Modificado de la muestra patrón.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
Método	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.439	1.451	1.445	1.434
Contenido óptimo de humedad (%)	23.20	21.80	23.30	23.80
Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240
Método	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.472	1.458	1.494	1.483
Contenido óptimo de humedad (%)	20.20	21.70	19.80	20.10
Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
Método	A	A	A	A

Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.465	1.485	1.491	1.475
Contenido óptimo de humedad (%)	21.30	19.80	19.50	20.30

Muestra con dosificación de 2%.

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

Tabla 6. Cuadro de resultados de Próctor Modificado de la muestra con dosificación de 2%.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
Método	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.454	1.479	1.463	1.459
Contenido óptimo de humedad (%)	21.40	20.30	21.40	22.20
Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240
Método	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.488	1.482	1.514	1.507
Contenido óptimo de humedad (%)	18.00	19.70	18.00	18.30
Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
Método	A	A	A	A

Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.489	1.503	1.515	1.496
Contenido óptimo de humedad (%)	19.40	17.60	17.50	18.50

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 7. Cuadro de resultados de Próctor Modificado de la muestra con dosificación de 3%.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
Método	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.453	1.662	1.466	1.460
Contenido óptimo de humedad (%)	21.10	21.60	21.10	21.80
Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240
Método	A	A	A	A
Densidad seca máxima (gr/cm³)	1.490	1.479	1.518	1.512
Contenido óptimo de humedad (%)	18.10	18.80	17.80	18.10
Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
Método	A	A	A	A

Densidad seca máxima (gr/cm ³)	1.492	1.504	1.517	1.495
Contenido óptimo de humedad (%)	18.60	17.10	16.90	17.90

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

Teniendo en cuenta los tipos de muestra con lo 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). 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 8. Cuadro de resultados de CBR de la muestra patrón.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	1.86	1.83	1.78	1.73
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	2.92	2.35	2.25	2.75

Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240

C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	1.70	1.82	1.72	1.75
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	2.65	2.34	2.74	2.75

Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	1.81	1.72	1.95	1.92
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	2.25	2.70	2.90	2.89

Muestra con dosificación de 2%.

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

Tabla 9. Cuadro de resultados de CBR de la muestra con dosificación de 2%.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	2.06	1.96	1.86	2.04
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	3.16	2.55	2.40	3.05

Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1

Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	2.04	1.95	2.07	2.07
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	3.05	2.54	3.08	3.15
Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	1.94	2.06	2.10	2.08
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	2.52	3.03	3.11	3.05

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 10. Cuadro de resultados de CBR de la muestra con dosificación de 3%.

Calicata	C-1	C-2	C-3	C-4
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 00+000	Km. 00+320	Km. 00+640	Km. 00+960
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	2.25	2.12	1.90	2.08
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	3.15	2.71	2.56	3.12
Calicata	C-5	C-6	C-7	C-8

Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 01+280	Km. 01+600	Km. 01+920	Km. 02+240
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	2.07	2.15	2.07	2.13
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	3.10	2.78	3.12	3.21

Calicata	C-9	C-10	C-11	C-12
Ensayo	E-1	E-1	E-1	E-1
Progresiva	Km. 02+560	Km. 02+880	Km. 03+200	Km. 03+510
C.B.R. para el 95% de la densidad seca máxima (%)	2.10	2.07	2.09	2.08
C.B.R. para el 100% de la densidad seca máxima (%)	2.70	3.18	3.28	2.20

4.1.5 Descripción de los Perfiles Estratigráficos

La **Calicata C-1**, 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. Luego encontramos un segundo estrato de 0.40 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica 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. Luego encontramos un segundo estrato de 0.60 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de alta plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 11.20% de

arena fina a gruesa 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-3**, presenta un primer estrato hasta 0.35 m. de profundidad constituido por Material de relleno, conformado por fragmentos rocosos, arcilla y raicillas. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.35 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de alta plasticidad, de color marrón, mezclada con 5.60% 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-4**, presenta un primer estrato hasta 0.40 m. de profundidad constituido por material de relleno, conformado por fragmentos rocosos, arcilla y raicillas. Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.40 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de alta plasticidad, de color marrón oscuro, mezclada con 4.60% de arena gruesa a fina y 0.60% 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 0.30 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra mezclado con bolones de tamaño máximo de 6", con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.30 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de mediana plasticidad, de color marrón, mezclada con 12.00% de arena fina a gruesa 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 0.40 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra mezclado con bolones de tamaño máximo de 6", con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.40 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de mediana a alta plasticidad, de color marrón, mezclada con 6.20% de arena fina a gruesa y 1.60% 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 0.50 m. de profundidad constituido por suelo orgánico color negro. Se encuentra mezclado con raicillas, con alto contenido de humedad y bajo grado de compacidad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.50 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de mediana plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 16.80% 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-8**, presenta un primer estrato hasta 0.50 m. de profundidad constituido por suelo orgánico color negro. Se encuentra mezclado con raicillas, con alto contenido de humedad y bajo grado de compacidad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.50 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de mediana plasticidad, de color marrón, mezclada con 11.40% de arena gruesa a fina y 2.80% 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-9**, 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. Luego encontramos un segundo estrato de 0.50 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla

orgánica de mediana a alta plasticidad, de color amarillento, mezclada con 9.60% de arena fina a gruesa y 1.20% 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-10**, 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. Luego encontramos un segundo estrato de 0.60 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de mediana plasticidad, de color amarillento, mezclada con 15.40% 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-11**, presenta un primer estrato hasta 0.70 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.70 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de mediana plasticidad, de color marrón, mezclada con 12.00% de arena gruesa a fina y 2.80% 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-12**, presenta un primer estrato hasta 0.70 m. de profundidad constituido por material de afirmado existente. Se encuentra con alto grado de compacidad y bajo contenido de humedad. Luego encontramos un segundo estrato de 0.70 m. hasta 1.50 m. de profundidad conformado por arcilla orgánica de mediana plasticidad, de color marrón, mezclada con 13.00% de arena fina a gruesa 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.

4.2 Discusión de Resultados

4.2.1 Comparación de Resultados

Con los resultados obtenidos proporcionados de la capacidad de soporte del terreno (CBR), se hará la comparación respectiva de los valores de CBR (%) correspondiente al 100% de la densidad seca máxima, obtenida del ensayo de Próctor Modificado, tomando como base el ensayo de la muestra patrón, que es la que se realizó sin ninguna adición de cloruro de sodio, esta se comparará con las muestras con dosificación de 2% y 3% de cloruro de sodio 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 16, se presenta la comparación de los resultados para el CBR (%) al 100% de la densidad seca máxima de cada una de las calicatas en estudio.

Tabla 11. Cuadro de comparación de resultados de valor de CBR (%).

Calicata	Tipo de muestra	Muestra Patrón	Muestra con dosificación de 2%	Muestra con dosificación de 3%
C-1 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.92	3.14	3.15
	variación	--	AUMENTA 0.22	AUMENTA 0.23
C-2 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.35	2.55	2.71
	variación	--	AUMENTA 0.20	AUMENTA 0.36
C-3 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.25	2.40	2.56
	variación	--	AUMENTA 0.15	AUMENTA 0.31

C-4 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.75	3.05	3.12
	variación	--	AUMENTA 0.30	AUMENTA 0.37
C-5 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.65	3.05	3.10
	variación	--	AUMENTA 0.40	AUMENTA 0.45
C-6 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.34	2.54	2.78
	% de variación	--	AUMENTA 0.20	AUMENTA 0.44
C-7 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.74	3.08	3.12
	% de variación	--	AUMENTA 0.34	AUMENTA 0.38
C-8 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.75	3.15	3.21
	variación	--	AUMENTA 0.40	AUMENTA 0.46
C-9 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.25	2.52	2.70
	variación	--	AUMENTA 0.27	AUMENTA 0.47
C-10 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.70	3.03	3.18
	% de variación	--	AUMENTA 0.33	AUMENTA 0.48
C-11 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.90	3.11	3.28
	% de variación	--	AUMENTA 0.21	AUMENTA 0.38
C-12 M-1	CBR al 100% de la densidad seca máxima (%)	2.91	3.05	2.20
	% de variación	--	AUMENTA 0.13	AUMENTA 0.29

En la tabla se puede verificar que, a mayor dosificación de cloruro de sodio, aumenta la capacidad de soporte de terreno, al mismo tiempo que al comparar las dosificaciones de 0% y 1% de cloruro de sodio por metro cúbico de material la variación porcentual o el aumento es menor con respecto a la comparación a las dosificaciones de 2% y 3%, concluyendo que existe un máximo de dosificación, y que incrementando ese valor puede llegar a perjudicar al suelo o terreno de fundación.

4.2.2 Promedio de Aumento de CBR (%)

Una vez conocido el aumento de la capacidad de soporte del terreno (CBR) en cada una de las calicatas estudiadas, para conocer en cuánto aumenta cada dosificación de aditivo cloruro de sodio por metro cúbico de material, se calcula el promedio de la variación porcentual, valores que se presentan en la tabla 13.

Tabla 12. Valores promedio del aumento del CBR (%).

Tipo de muestra	Muestra con dosificación de 2%	Muestra con dosificación de 3%
% de variación promedio con respecto de la mezcla patrón	AUMENTA 0.263	AUMENTA 0.385

Por lo que para dosificaciones de 2% y 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material, siendo utilizada como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

5.1 Conclusiones

- Se determinó la influencia que presenta al adicionar cloruro de sodio como estabilizante en de la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo –

Aeropuerto – Cajamarca, donde se ve que se aumenta la resistencia en un 0.385 en una dosificación a 3% de Cloruro de Sodio donde la incidencia no es mucho.

- Según los ensayos realizados en laboratorio, se determinó que en el tramo de la carretera cruce el porongo - Aeropuerto, adicionando Cloruro de sodio en 1% aumenta su CBR en un 0.01, al aumentar en un 2% de Cloruro de Sodio aumenta su CBR en un 0.263 y en 3% de Cloruro de Sodio aumenta su CBR en un 0.385%.
- Se realizó la comparación de la influencia que presenta el adicionar el aditivo cloruro de sodio como estabilizante en la subrasante de la carretera tramo Cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca, determinándose que para este tramo y este tipo de suelo su óptimo estudiado sería en 3% de Cloruro de sodio, ya que aumenta en un 0.385 de su CBR.
- Se determinó las características del suelo de este tramo para este estudio.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda para el uso de cloruro de sodio, realizar el análisis para cada tipo de suelo a mejorar, ya que con cada tipo de suelo reacciona diferente y con diferentes porcentajes de cloruro de sodio, así encontrar el porcentaje óptimo para el tipo de suelo a mejorar.
- Gracias al aporte del Ingeniero, José Lezama lázaro Leiva se realizó el ensayó de la muestra C-2 con 30% de aditivo cloruro de sodio donde los resultados muestran una mejora de CBR de 1.83 a 5.39 , donde se nota una mejora por lo que se recomienda realizar y seguir con la investigación para otro tipo de climas y otros porcentajes del aditivo cloruro de socio en un 10%, 20%, 30% en

peso de material, así ver los resultados positivos o negativos del estudio, así reduciremos el costo de mantenimientos de las vías.

- Se recomienda profundizar el estudio de los aditivos para estabilizar el subrasante así disminuir el costo de mantenimiento de carreteras en el país.

5.3 Referencias Bibliográficas:

1. JUAREZ BADILLO, E., & RICO RODRIGUEZ, A. (1980). FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS. MEXICO: EDITORIAL NOVARO.

2. BRAJA M, D. (2010). GEOTHECHNICAL ENGINEERING HANDBOOK. CALIFORNIA: J. ROSS PUBLISHING SERIES.
3. GONZALES DE VALLEJO, L. (2002). GEOTECNIA Y LA MECÁNICA DE ROCAS. MADRID: PRENTICE HALL.
4. GRAUX, D. (1975). PROYECTO DE MUROS Y CIMENTACIONES. ESPAÑA: EDITORES TECNICOS ASOCIADOS
5. PERRIN, L.L.: "EXPANSIÓN OF LIME-TREATED CLAYS CONTAINING SULFATES", "7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPANSIVE SOILS.
6. LAMBE, W., & WHITMAN, R. (2001). MECÁNICA DE SUELOS. MEXICO: LIMUSA NORIEGA EDITORES.
7. CARLO FERNANDEZ LOAYZA, EDITORIAL LIMUSA S.A. DE C.V., MÉXICO 1991, "MEJORAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS"
8. SOLMINIHAC (2013). ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS: APLICACIONES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS.
9. SÁNCHEZ, CASTRO, UREÑA, AZAÑÓN (2014). ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y MARGAS, UTILIZANDO RESIDUOS INDUSTRIALES: PH E INDICADORES GRANULOMÉTRICOS.
10. SECO, RAMÍREZ, MIQUELEIZ, GARCÍA Y PRIETO (2010). USO DE ADITIVOS NO CONVENCIONALES EN LA ESTABILIZACIÓN DE MARGAS
11. DIAZ Y MEJÍA (2004). ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL USO DE UN ADITIVO QUIMICO A BASE DE COMPUESTOS INORGÁNICOS.
12. HUNTER, D. (1.988): "LIME-INDUCED HEAVE IN SULFATE-BEARING CLAY SOILS". "JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING", ASCE VOL. 114, Nº 2

13. JUAN DIEGO BAUZA CASTELLÓ, "EL TRATAMIENTO DE SUELOS MEDIANTE CAL"
14. JÍMENEZ, J.A. Y DE JUSTO, J.L. (1.975): "GEOTECNIA Y CIMENTOS". EDITORIAL RUEDA, MADRID.
15. INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. ALFONSO MONTEJO FONSECA. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. COLOMBIA 2002

5.4 ANEXOS

**ANEXO 1: ENSAYOS DE
LABORATORIO – MUESTRA
PATRÓN.**

**ANEXO 2: ENSAYOS DE
LABORATORIO – MUESTRA CON
DOSIFICACIÓN DE 2%.**

**ANEXO 3: ENSAYOS DE
LABORATORIO – MUESTRA CON
DOSIFICACIÓN DE 3%.**

ANEXO 4: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

ANEXO 5: PLANO DE UBICACIÓN.

ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO.

ANEXO 7: CERTIFICADOS.