



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL CLORURO DE SODIO COMO
ESTABILIZANTE DE LA SUB BASE PARA LA VÍA DESVIÓ SAN
JUAN DE SALINAS - ARAPA - PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. OMAR LUCIO JAVIER SUCARI,

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

INFLUENCIA DEL CLORURO DE SODIO COMO ESTABILIZANTE DE LA SUB BASE PARA LA VÍA DESVIÓ SAN JUAN DE SAL

AUTOR

omar lucio javier sucari

RECUENTO DE PALABRAS

38574 Words

RECUENTO DE CARACTERES

199021 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

185 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 6, 2023 11:02 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 6, 2023 11:05 AM GMT-5

● 13% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ing. Mariela R. García Loayza
CIP. 26223


Ing. Emilio Castillo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
C.O.D. ÚNA N° 920514

Resumen



DEDICATORIA

A Dios, por proporcionarme subsistencia y fortaleza hasta este instante, por ser una fuente inagotable de conocimiento, por iluminar mi camino y ayudarme a alcanzar mi objetivo.

Mis padres, Lucio y Domitila, Por su inquebrantable apoyo moral y financiero. Han servido de ejemplo de superación de obstáculos trabajando duro cada día. Y el motor y motivo que fueron para dar fruto este ejemplar y de muchos.

Mis hermanos, Dina, Cristhian, Jhonsony, Pither, por sus apoyos y entendimiento en cada traspié, por la paciencia y consejos en mi vida. Y no olvidar a mis sobrinos, por los retos diarios para superarnos y guiarlos en el camino.

Mi asesor, Por su amistad y el apoyo académico, quien fue como un padre que me dio iniciativas, para este trabajo de tesis con la finalidad de graduarme.

A mis amigos, Por las palabras de inspiración y su guía moral y espiritual para ayudarme a desarrollar mi carácter.

Omar Lucio JAVIER SUCARI



AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser siempre un amigo y un padre. Por cuidarnos a todos y dirigirnos en estos tiempos tumultuosos.

MsC. Mariano Roberto García Loayza, Por su apoyo incondicional, su amistad, su tiempo y la información que me proporcionó y que me permitió completar este proyecto.

Facultad de Ingeniería, Por acceder completar mis sabidurías, plasmar académicamente y profesionalmente, estoy agradecido a la jerarquía administrativa y a todos los docentes de mi escuela profesional de ingeniería civil. A los miembros del jurado que ayudaron a que esta tesis avanzara en la dirección correcta.

L.M.S.M. de la F.I.C.A., Quiero dar las gracias en particular al laboratorio de mecánica de suelos y materiales por acceder a ejecutar repetición de prueba para mi proyecto de investigación.

Omar Lucio JAVIER SUCARI



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN. 18

ABSTRACT..... 19

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN..... 22

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 25

1.2.1. Problema General 25

1.2.2. Problemas Específicos..... 25

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 25

1.3.1. Hipótesis General: 25

1.3.2. Hipótesis Específicos:..... 25

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 26

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN. 29

1.5.1. Objetivo General 29

1.5.2. Objetivos Específicos 29

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO..... 30



2.1.1. Antecedentes.....	30
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	37
2.2.1. Suelo.....	37
2.2.2. Granulometría en Suelos.....	39
2.2.3. Límites de Consistencia del Suelo.....	43
2.2.4. Índice de Plasticidad (IP).....	45
2.2.5. Clasificación de Suelos.....	46
2.2.6. Compactación de los Suelos.....	50
2.2.7. Resistencia del suelo.....	54
2.2.8. Efectos Climatológicos en Suelos.....	59
2.2.9. Estabilización de Suelos.....	64
2.2.10. Estabilización con Cloruro de Sodio NaCl (sal).....	66
2.2.11. Niveles de Servicio.....	75
2.2.12. Pavimentos.....	77
2.2.13. Pavimentos Flexibles.....	78
2.2.14. Pavimentos Rígidos.....	80
2.2.15. Sub base Granular.....	81

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	84
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DE ESTUDIO.....	85
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL.....	85
3.3.1. Cloruro de Sodio (NaCl).....	85
3.3.2. Material Prima de Cantera:.....	94
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	97



3.4.1. Población.....	99
3.4.2. Muestra.	99
3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	99
3.5.1. Correlación.	99
3.5.2. Prueba de Hipótesis.....	102
3.6. PROCEDIMIENTO.	104
3.6.1. Operaciones en Terreno.	104
3.6.2. Ensayos de Laboratorio.....	105
3.7. VARIABLES.	123
3.7.1. Operacionalizacion de Variables.....	124
3.7.2. Tipo y Diseño de Investigación.	127
3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	128
3.8.1. Ensayo de Compactación Proctor Modificado.....	128
3.8.2. Ensayo de Compactación CBR.....	131
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS.	134
4.1.1. Fase Natural.....	134
4.2. DISCUSIONES.	145
4.2.1. Fase Modificada Añadido NaCl.	145
4.2.2. Cotejo del Suelo sin Estabilizar y Estabilizado.....	164
4.2.3. Análisis Estadístico.	169
4.2.4. Análisis de Costo Unitario Suelo - NaCl.....	178
V. CONCLUSIONES.....	180
VI. RECOMENDACIONES.....	181



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	183
ANEXOS.....	185

Área: TRANSPORTES Y GESTIÓN VIAL

Tema: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Línea de investigación: GEOTECNIA

Fecha de sustentación: 25 de julio del 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de Tipos de Suelo.....	38
Figura 2 Diagrama del Modelo Trifásico y una Muestra de Suelo.....	39
Figura 3 Lavado del Suelo a Tamizar, en la Malla Nro. 200, para Eliminar el Suelo Fino.	42
Figura 4 Estados y Límites de Consistencia del Suelo.	43
Figura 5 Prueba de LL y LP.	45
Figura 6 Carta de Casagrande para Suelos Cohesivos.....	48
Figura 7 Rango del LL y del IP para los Grupos de Suelos.	50
Figura 8 Principios de Compactación.....	51
Figura 9 Curva de Compactación Típica	54
Figura 10 Corrección de las Curvas Carga - Penetración.....	57
Figura 11 Enfriamiento Originaria del Suelo.	61
Figura 12 Organización del NaCl.....	68
Figura 13 Ubicación del área de Estudio.....	84
Figura 14 Ubicación de la Laguna Salar de San Juan de Salinas.	86
Figura 15 Laguna Salar de San Juan de Salinas – Prov. Azángaro.	87
Figura 16 Adquisición del Cloruro de Sodio a una de las Familias.	87
Figura 17 Pozas de las Familias Extractoras de la Laguna Salar - San Juan de Salinas.	88
Figura 18 Lugar de las dos Canteras Utilizadas en el Estudio.	97
Figura 19 Grupo de Control Experimental para el NaCl.....	98
Figura 20 Tipos de Correlaciones para "r".	100
Figura 21 Área de Rechazo en una Prueba de dos Hipótesis.	104
Figura 22 Obtención de la Espécimen para Contenido de Humedad y Pesado.....	106



Figura 23	Lavado y tamizado de la Cantera de Misk'iuño- Wilakunka.....	108
Figura 24	Ensayo de Granulometría por Tamizado de la Cantera Pampagrande – Misk'iuño.	109
Figura 25	Preparado de Espécimen para el Ensayo.....	110
Figura 26	Ensayo de Limite Liquido en la cuchara Casagrande.	111
Figura 27	Rolado y Toma de la muestra para el Pesado.....	112
Figura 28	Ensayo de LL-LP, Porción de Muestra Pesada para el Secado.....	113
Figura 29	Pesado de la NaCl y Mesclado de la Muestra.	115
Figura 30	Llenado de la Muestra por Capas y Compactación en Molde.....	115
Figura 31	Compactación en Molde CBR, y Lectura de Expansión, antes de Sumergir.	117
Figura 32	Prueba de CBR para el Obtener el Valor de CBR de la Cantera.	118
Figura 33	Prueba Abrasión los Ángeles de la Muestra.....	119
Figura 34	Tamizado de Muestra para el Ensayo de Abrasión Antes y Después de la Prueba.....	120
Figura 35	Equipos y Materiales para la prueba de Durabilidad	122
Figura 36	Especímenes Preparados del Ensayo.....	122
Figura 37	Sumergido y después de Sumergido de los Especímenes.	123
Figura 38	Curva de Compactación de Proctor.....	130
Figura 39	Curva de Distribución Granulometría, Cantera Pampagrande en Estudio..	136
Figura 40	Grafica del Ensayo de LL Cantera Pampagrande, Suelo Natural.	136
Figura 41	Curva de Distribución Granulometría, Cantera Misk'iuño-Wilakunka en Estudio.....	137
Figura 42	Grafica del Ensayo de Límite Liquido Cantera Misk'iuño-Wilakunka, Suelo Natural.....	137



Figura 43 Curva de Compactación Cantera Pampagrande del Suelo Natural.	139
Figura 44 Curva de Compactación Cantera Misk'iuno -Wilakunka del Suelo Natural.	139
Figura 45 Curvas CBR de la Cantera Pampagrande a 12, 25 y 56 Golpes.....	141
Figura 46 Curva CBR-Densidad Seca Cantera Pampagrande Natural en Estudio.....	142
Figura 47 Curvas CBR de la Cantera Misk'iuno - Wilakunka a 12, 25 y 56 Golpes..	142
Figura 48 Curva CBR-Densidad Seca Cantera Misk'iuno - Wilakunka Natural en Estudio.....	143
Figura 49 Variación de Límites de Consistencia Cantera Pampagrande Añadiendo NaCl.	147
Figura 50 Variación de Índice de Plasticidad Cantera Pampagrande añadiendo NaCl.	147
Figura 51 Variación de Límites de Consistencia Cantera Misk'iuno - Wilakunka Añadiendo NaCl.	149
Figura 52 Variación de Índice de Plasticidad Cantera Misk'iuno – Wilakunka añadiendo NaCl.	150
Figura 53 Curvas de Compactación a Distintos Porcentajes de NaCl, Cantera Pampagrande.	152
Figura 54 Curvas de Compactación de la Cantera Misk'iuno-Wilakunka al 0% y 5% NaCl.	154
Figura 55 Variación de CBR al 100% - 95% MDS – Cantera Pampagrande con NaCl.	156
Figura 56 Variación de CBR al 100%, 95% de la MDS – Cantera Misk'iuno - Wilakunka con NaCl.....	159
Figura 57 Variación de Expansión vs Dosificación Cantera Pampagrande - NaCl. ...	160



Figura 58 Variación de Expansión vs Dosificación Cantera Pampagrande con Aditivo NaCl.	162
Figura 59 Evolución del Porcentaje de Perdida de Material.	164
Figura 60 Curva Granulométrico según EG-2013 para Sub Base.	166
Figura 61 Similitud de IP.....	170
Figura 62 Similitud de la MDS respecto al CHO.	170
Figura 63 Similitud del CHO respecto a MDS.	171
Figura 64 Relación de CBR a los 56 Golpes.	171
Figura 65 Similitud de la Expansión a los 56 Golpes.....	172



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Comparación de Costo Unitario con Otras Materiales de Estabilización.....	26
Tabla 2	Investigaciones de Costo Unitario Directo de Materiales.	27
Tabla 3	Límite de Tamaño de Suelos.	41
Tabla 4	Peso Aproximado por Porción de Muestra para la Granulometría.....	42
Tabla 5	Tipificación de Suelos Según SUCS y AASHTO.	46
Tabla 6	Simbología Utilizada en la Clasificación SUCS.....	47
Tabla 7	Tipología de Suelos Combinado Según SUCS.....	47
Tabla 8	Diferencia entre Grava, Arena, Limo o Arcilla.	48
Tabla 9	Fundamentos del Prueba de Proctor Modificado.....	53
Tabla 10	Los Valores de Carga Unitaria.....	55
Tabla 11	Clasificación Típica de Valor de CBR.	56
Tabla 12	Clasificación de Suelos Según los Valores de CBR.	56
Tabla 13	Valores de CBR Cualitativas del Suelo.	56
Tabla 14	Gradación de las Especímenes de Prueba.....	58
Tabla 15	Agregados de Tamaños Menores Abrasión los Ángeles (L.A.).	59
Tabla 16	Delicadeza de los Suelos a la Congelación.....	62
Tabla 17	Criterios de Diseño para la Mezcla.....	64
Tabla 18	Características del NaCl.....	71
Tabla 19	Enunciación de Sub Base para Firme.	82
Tabla 20	Requerimiento Granulométrico para Sub Base Granular.	83
Tabla 21	Exigencia de Pruebas Específicos para Sub Base.....	83
Tabla 22	Extracción del NaCl (sal) de las Comunidades de la Laguna Salar.....	89
Tabla 23	Extracción de Sal Aproximado al Año en la Laguna Salar de San Juan de Salinas	90



Tabla 24	Resultados del Espécimen de NaCl de la Laguna Salar San Juan de salinas.	91
Tabla 25	Características Físico- Químicas de la Cantera C.C. Pampagrande.	95
Tabla 26	Resumen en Coordenadas UTM de Fuente Material Cantera y Agua.	96
Tabla 27	Definiciones del Valor de Significancia Semejanza de Pearson.	101
Tabla 28	Tipificación de la Suposición.	102
Tabla 29	Cantidades Mínimas de Material Húmedo Selecto.	106
Tabla 30	Tipo y Tamaño de Partículas	107
Tabla 31	IP y Peculiaridad de los Materiales.	113
Tabla 32	Operacionalizacion de Variables Objetivo Principal.	124
Tabla 33	Operacionalizacion de Variables Objetivos Específicos.	125
Tabla 34	Matriz de Consistencia.	126
Tabla 35	Cuadro de Resumen para la Selección del Método de Proctor Modificado.	128
Tabla 36	Tamizado de muestra de la Cantera Misk'iuno - Wilakunka.	128
Tabla 37	Datos del Molde de para el Ensayo del Método - B	128
Tabla 38	Datos para el Cálculo de Densidad seca Humedad- Proctor Modificado.	129
Tabla 39	Datos de Densidad Seca del Suelo - Contenido de Humedad Proctor Modificado.	129
Tabla 40	Datos de Condición Inicial para el Cálculo de DSH, del CBR.	131
Tabla 41	Datos de Contenido de Humedad - CBR.	132
Tabla 42	Datos de Expansión del ensayo de CBR.	132
Tabla 43	Cómputo de Numero de CBR.	133
Tabla 44	Contenido de Humedad del Espécimen de Suelo en Investigación.	134
Tabla 45	Características de Clasificación de Suelo Natural.	135
Tabla 46	Características Mercancías del Suelos en Investigación.	138



Tabla 47 Resultados de la Prueba de CBR en Condición Natural Cantera Pampagrande.	140
Tabla 48 Resultados del Ensayo de CBR Cantera Misk'iuno - Wilakunka Muestra Natural.....	140
Tabla 49 Expansión de la Cantera Pampagrande Muestra en Investigación -CBR.....	143
Tabla 50 Expansión de la Cantera Misk'iuno – Wilakunka Muestra en Investigación - CBR.....	144
Tabla 51 Resultado de Ensayo de Abrasión los Ángeles Cantera Pampagrande.	144
Tabla 52 Durabilidad de Probetas Suelo Natural.....	145
Tabla 53 Características de Plasticidad de la Cantera Pampagrande más el Cloruro de Sodio.....	146
Tabla 54 Comparación del LL, LP, IP Respecto a los Antecedentes de la Investigación.	148
Tabla 55 Características de Plasticidad de la Cantera Misk'iuno – Wilakunka más el NaCl.	149
Tabla 56 DSM – CHO de la Cantera Pampagrande - NaCl.....	151
Tabla 57 Comparación del MDS y CHO Respecto a los Antecedentes de la Investigación	153
Tabla 58 DSM – CHO de la Cantera Misk'iuno-Wilakunka para 0%y5% NaCl.....	154
Tabla 59 Síntesis de Efectos en el Prueba CBR Cantera Pampagrande con NaCl.	155
Tabla 60 Comparación de resultados de CBR, con Antecedentes.....	157
Tabla 61 Resumen de Resultados del Ensayo CBR Cantera Misk'iuno - Wilakunka - NaCl	158
Tabla 62 Resultados de Expansión de la Cantera Pampagrande de la Muestra en Estudio.	160



Tabla 63 Variación Expansión de la Cantera Misk'iuno-Wilakunka - NaCl.	161
Tabla 64 Cambios de Volumen de Mezcla Suelo- NaCl.	163
Tabla 65 Durabilidad de Probetas Suelo - NaCl Modificada.	163
Tabla 66 Contrastación de la Granulometría de Sub Base Granular, Según la EG-2013.	165
Tabla 67 Contrastación de Resultados del Porcentaje Combinado con Cloruro de Sodio de la Investigación, Frente a la EG-2013	168
Tabla 68 Corroboración de calidad del Experimento Estadística Diseñada para IP..	174
Tabla 69 Corroboración de calidad del Experimento Estadística Diseñada para MDS.	176
Tabla 70 Corroboración de calidad del Experimento Estadística Diseñada para CBR	178
Tabla 71 Dosis de los Materiales para un 1m ³	178
Tabla 72 ACU para la Estabilización de la Sub base.....	179



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AASHTO : American Association of State Highway and Transport Oficial
(Asociación estado anídense de funcionarios estatales de carreteras y
transporte).

SUCS : Unified soil classification system (sistema unificado de clasificación de suelos).

ASTM : American Society for Testing and Materials.

NaCl : Cloruro de sodio.

D. M. S. : Densidad Seca Máxima.

L. L. : Limite Líquido.

L. P. : Límite Plástico.

I. P. : Índice de Plasticidad.

C.H.O. : Contenido de humedad óptima.

EG : Especificaciones generales.

MTC : Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

EPM : Ensayo de proctor modificado

LOS : Nivel de servicio



RESUMEN

Para la conformación de la estructura de un pavimento (superficie de rodadura, base, sub base, subrasante), constantemente se presenta la falta de materiales de cantera, que cumplan con las especificaciones técnicas exigidas en la Norma del Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC): Especificaciones Generales 2013 (EG 2013). Este hecho ha motivado la realización de la presente investigación, empleando un método de estabilización química, que permitirá mejorar las propiedades físico mecánicas del material que conformara la sub base de la vía del tramo; Desvío San Juan de Salinas – Arapa, ubicado en la provincia de Azángaro. Esta investigación es del tipo básico y nivel experimental; siendo la población de estudio las canteras de Pampagrande y Misk'iuno, y como producto estabilizador el cloruro de sodio (NaCl) de la laguna Salar de San Juan de Salinas. Concluyendo que las propiedades físicas del material de cantera es del tipo Grava limosa (GM), Límite líquido (LL): 30.65%, Límite Plástico (LP): 23.85%, Índice de Plasticidad (IP): 6.8% y Propiedades Mecánicas, como el Valor relativo de soporte (CBR) de 32.7%, siendo este menor al requerido por la EG 2013, y realizando la estabilización para porcentajes entre 2% a 10%, se ha logrado mejorar variaciones mecánicas de CBR entre 39.50%, a 48.20% respectivamente. Así mismo de determino la dosificación óptima de NaCl, siendo este el 5% con un valor de CBR igual a 73.50%, de esta manera cumpliendo con los las especificaciones técnicas de la Norma Peruana MTC (EG 2013).

Palabras Clave: Cantera, Cloruro de Sodio, Suelo, Sub base.



ABSTRACT

For the conformation of the structure of a pavement (road surface, base, sub base, and subgrade), there is a constant lack of quarry materials that meet the technical specifications required by the Standard of the Ministry of Transport and Communications (MTC): General Specifications 2013 (EG 2013). This fact has motivated the realization of this research, using a chemical stabilization method, which will improve the physical-mechanical properties of the material that will form the sub base of the unpaved road of the section; Desvío San Juan de Salinas - Arapa, located in the province of Azángaro. This research is of the basic type and experimental level; being the study population the quarries of Pampagrande and Misk'iuno, and as a stabilizing product the sodium chloride (NaCl) from the Salar de San Juan de Salinas lagoon. Concluding that the physical properties of the quarry material is of the type silty gravel (GM), Liquid Limit (LL): 30.65%, Plastic Limit (LP): 23.85%, Plasticity Index (PI): 6.8% and Mechanical Properties, such as the relative bearing value (CBR) of 32.7%, being this lower than required by the EG 2013, and performing the stabilization for percentages between 2% to 10%, it has been possible to improve mechanical variations of CBR between 39.50%, to 48.20% respectively. Likewise, the optimum dosage of NaCl was determined to be 5% with a CBR value equal to 73.50%, thus complying with the technical specifications of the Peruvian Standard MTC (EG 2013).

Keywords: Quarry, Sodium Chloride, Soil, Subbase.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el horizonte internacional:

En Cuba, El desarrollo socio-económico de un territorio debe contar con una infraestructura de carreteras, que permita la circulación vehicular de manera segura, cómoda y fluida, ello se garantiza con una gestión de conservación sistemática, la que en muchos casos se basa en la experiencia de los técnicos y dirigidas no siempre a los lugares de mayores efectos. (García, et. al 2021, pág. 4)

En Colombia, los estudios han analizado la relación entre el grado de desarrollo de la población y la accesibilidad de las rutas de comunicación terrestre, por un lado, y el flujo de mercancías y las infraestructuras para su transporte por carretera, por otro. Es evidente que el acceso a más y mejores carreteras facilita el desplazamiento de los más pobres a otras zonas. La facilidad en el desplazamiento permite ampliar el mercado de productos, especialmente agrícolas, ofrecer mano de obra, acceder a servicios médicos básicos, así como también a servicios de educación de mejor calidad. (Pérez V.2005, pág. 23).

En México, en importancia de las vías de comunicación, expone que las exploraciones de las vías generalmente se ubican sobre suelos escasamente tratables en cuanto al relieve y a la calidad de los materiales, para el asentamiento, por tanto, se han desarrollados distintas técnicas, el uso de diferentes materiales y máquinas para distintos trabajos respectivamente, teniendo una solución a la problemática de las vías. (Gutiérrez H. 2021, pág. 12).

En el horizonte nacional:

En el progreso de la ciencias aplicadas mecánico. La estructuras de pavimentos, seguida por capas granulares (bases y sub base) y ultimando en el terreno natural



(subrasante). Una de las funciones, de estas capas son las de absorber los esfuerzos producidos por el flujo vehicular y transmitirlos al terreno natural, por tanto, es necesario adecuarse a las demandas actuales de tráfico, y prever las futuras. (Reyes Ortiz, et. al, 2000, pág. 35).

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, (Elmer ,2018).

En el área de investigación, se tiene diferentes canteras, sin embargo las canteras de Pampagrande y Misk'iuño.Wilakunka, se encuentran a lo largo de la vía Desvío San Juan de Salinas – Arapa, prácticamente paralelo al eje de carretera, dentro del ámbito provincial y distrital. Realizando la exploración y al realizar los análisis preliminares del comportamiento del material de estas canteras, resultan no aptas, para la construcción del pavimento, principalmente por el valor relativo de soporte que no cumple con lo indicado en la EG 2013-MTC, sin embargo aplicando un método de estabilización química se puede mejorar el procedimiento físico mecánico del material de la sub base como componente de las partes de un pavimento. Para lo cual las condiciones de compactación y material que las constituyen deben cumplir unos requerimientos que, en oportunidades no se cumplen en estado natural y es necesario adicionar algún elemento industrial o tener un proceso constructivo diferente para satisfacer los requerimientos mínimos estipulados por la normatividad (Reyes Ortiz, 2000).

Con este detalle se utiliza la cantera Pampagrande como patrón de la investigación y además se toma muestras de la Cantera Misk'iuño –Wilakunka, para realizar el contraste respectivo y necesario con el contenido recomendable de NaCl. El estudio muestra una alternativa de mejoramiento y estabilización con cloruro de sodio, como agente estabilizador en su estado natural y artesanal, insumo del distrito de San Juan de



Salinas, revisando Ancade, Anter, & Ieca, (2010), indica que en la actualidad la construcción de obras viales, genera grandes explanaciones, por lo que es esencial disminuir y suplir al máximo permisible movimiento de tierras teniendo a consideración los factores económicos, ambientales y técnicas, además cada vez se hace difícil optimizar los procesos constructivos en cuestiones de costo, plazo y calidad, pág. 24. La necesidad de terrenos para préstamos y vertederos puede llegar a ser un factor determinante en esta optimización. En ese caso se hace cada vez inevitable emplear los materiales que se ubican cercanos al círculo de la ejecución de la infraestructura vial, para ello es necesario realizar estudios previos de fuentes de materiales y pruebas de los suelos, con la fin de caracterizar la propiedades físicas – mecánicas, y así optar los tratamientos y medidas necesarias con la finalidad de lograr la durabilidad, transitabilidad, y la utilidad de la obra a largo plazo a un costo económico. El estudio de la influenciad de la transformación con NaCl, una alternativa en relación a lo económico, social, ambiental, más para suelos plásticos, evidenciando en los resultados la disminución de los limites plástico y líquido, de la misma manera aumenta en una mínima su capacidad portante siendo un suelo arcilla de baja plasticidad, a diferencia de la cantera Pampagrande aumentando significativamente en valores de capacidad de soporte, siendo un suelo granular limosa.

1.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.

Enfocando al horizonte mundial, La idea de aumentar la capacidad portante de un suelo estabilizándolo con adiciones es bastante antigua; el suelo ya se estabilizaba con cal u otras, hace 5000 años. Sin embargo, la urgente necesidad de construir carreteras y aeropuertos en regiones que carecían de áridos de buena calidad durante la Segunda Guerra Mundial hizo que el verdadero auge. (Solminihac H. et al, 2019, pág. 3).



La búsqueda de una mejor estructura del suelo, su rentabilidad en carreteras y en la construcción y el efecto de la sal común en ella forman la base de esta investigación. A medida que los materiales de construcción de carreteras convencionales se vuelven escasos o más caros, existe la necesidad de recurrir a alternativas. En los últimos años se ha intensificado la investigación hacia el aprovechamiento de estos sub productos y materiales de desecho en la reconstrucción de vías. (Amu SI et. al, 2018, pág. 2).

La realidad nacional, regional y local nos evidencia diversos problemas sociales y viales, coherentes con la pésima etapa de los caminos que inducen preocupaciones a los beneficiarios de esos caminos, debido a la falta de políticas de conservación vial de los organismos regionales y nacionales. Esta situación ha llevado a un ciclo vicioso donde una carretera que se construye o rehabilita no tiene mantenimiento, la dejan abandonada y la carretera termina totalmente deteriorada debiendo ser reconstruida a un costo mucho mayor, situación que se produce sin que la carretera cumpla con su periodo de diseño, realizaran actividades de mantenimiento necesarias y oportunas. También otro factor es “el alto volumen de tráfico en Juliaca, una de las ciudades con más problemas de pavimentación, es uno de los factores que contribuyen al deterioro del pavimento, especialmente en la banda de rodamiento. Por estas razones, se requiere de esta investigación para examinar la situación problemática que impide mejorar los pavimentos”. (Mamani C., 2022, pág. 3).

Se han identificado los problemas de la vía en estudio. Se analizó 32 km, con tramos desde el desvío del Distrito de San Juan de Salinas hacia el Distrito de Arapa: se encuentra en un estado regular ya que presenta fallas como son; piel de cocodrilo, fisuras longitudinales, fisuras transversales, desprendimiento de áridos, baches y fisuras de borde, todas estas fallas citadas son de mediana a baja severidad, por ende requiere mantenimiento de parchado superficial, tratamiento de fisuras y grietas



En la provincia de Azángaro, específicamente al redor del área de cimentación de la estructura de un pavimento (superficie de rodadura, base, sub base, subrasante), constantemente se presenta la falta de materiales de cantera, que cumplan con las determinaciones de procesos exigidas en la Norma EG 2013- MTC, “para la conformación de las capas base y sub base del pavimento, son de difícil obtención; en algunas ocasiones el profesional responsable debe trabajar con materiales que no cumplen los requisitos mínimos de calidad de la especificación vial pertinente o realizando la mezcla de material de cantera con material de préstamo (material de río) en diferentes proporciones para cada material” (Rodríguez Rincón, et. al, 2006, pág. 13).

Si se realizan mantenimientos pero aun así persiste el estado pésimo de las vías, uno por factores climatológicas, fallas en la vía producto de la mala gradación granulométrica, el tipo de suelo, la humedad y mala compactación del suelo que conforma la sub base, base de una carretera; esta investigación se presenta con la finalidad de dar una solución técnica y económica al problema de compactación de la sub base de la carretera que se encuentra actualmente en San Juan de Salinas al distrito de Arapa en la provincia de Azángaro, departamento de Puno, lo que conlleva a diversas fallas en la superficie de rodamiento debido a la mala compactación del suelo que conforma la sub base, base de una carretera.

En las construcciones de carreteras generalmente se usan los insumos convencionales, no llegando a optimizar los materiales que se pueden reciclar y que podrían ayudarnos en mejorar la calidad de nuestro suelo, así mismo no se optimiza el tiempo, el dinero, etc. Es por ello que la construcción de una carretera convencional genera explotación de canteras en exceso, mayor tiempo de ejecución, y a la vez se eleva los costos de construcción.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema General

- ¿Cómo influye en las propiedades físico mecánicas del suelo estabilizado con el cloruro de sodio de la sub base para la vía desvió San Juan de Salinas - Arapa - Puno?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la influencia que permitirá mejorar las propiedades de índice de plasticidad del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía?
- ¿Cuál es la influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía?
- ¿Cuál es la dosificación óptima del cloruro de sodio a adicionarse a un suelo de cantera que permita mejorar la estabilización de la sub base para la vía?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1. Hipótesis General:

- La influencia en las propiedades físico mecánicas del suelo estabilizado con el cloruro de sodio es significativa de la sub base para la vía desvió San Juan de Salinas - Arapa - Puno.

1.3.2. Hipótesis Específicos:

- La influencia en las propiedades de índice de plasticidad son aceptables estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.
- La influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo mejoran con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía.
- El porcentaje óptimo de cloruro de sodio que se adiciona a un suelo de cantera está en el rango del 2% al 10% en peso seco de la muestra, logrando mejoran las características físicas y mecánicas.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

El presente proyecto de estabilización química de suelos, será un aporte al conocimiento científico, ya que este permitirá el uso de recursos naturales como el uso del NaCl (sal), para estabilizar los materiales para mejorar las propiedades mecánicas de la sub base de la estructura de un pavimento. De esta manera mejorando LOS, produciendo la reactivación social y económica de los usuarios.

Económicamente justificable, ya que el uso de cloruro sodio para estabilizar el suelo es menos costoso que el uso de otros agentes estabilizantes químicos. De este modo se mejoran las propiedades físicas y mecánicas del suelo; se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 1

Comparación de Costo Unitario con Otras Materiales de Estabilización.

Autor de Investigación	Año	Método de Estabilización	Costo por m² Soles
Torre Illesca Mario J.	2018	Emulsión asfáltica	184.61
Yajahuanca Acuña Vinklinton	2019	Cemento	19.50
Livise Berrio Juan B.	2022	Cal	79.45
Jiménez Lagos Milton E.	2014	Cloruro de magnesio	53.04
Huancoillo Humpiri Yuniór J.	2017	Ceniza volante y cal	99.09
Quispe Supo Freddy	2014	Desechos policloruro	34.44

Referencia: *investigaciones realizadas según tabla 2.*

Comparando las referencias de la tabla 1, con el estudio realizado de estabilización de suelo para la sub base agregando 5% de NaCl, a la espécimen de suelo, el análisis de costo unitario directo por m² es de 15.01 soles, (referencia Anexo N°3), por lo tanto; el estudio del NaCl ayuda a la economía del país, en ejecución presupuestal de obra de esa formase pueden realizar más obras viales. Lo cual generará la incursión de pequeñas empresas que se dediquen a la explotación y venta de la sal.



Tabla 2

Investigaciones de Costo Unitario Directo de Materiales.

Según, Torre I. M. 2018, Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland para el proyecto de conservación vial Puno Tacna tramo Tarata – Capazo – Mazocruz, en su tesis de pregrado, de la Universidad San Ignacio de Loyola, obtiene un análisis de costo unitario directo 115.80 soles incorporando de 4% cemento, además cuando se mezcla emulsión asfáltica es de 184.61 soles por m².

Según Yajahuanca A. V. 2019, Análisis comparativo de costo unitario entre el pavimento rígido convencional y el pavimento de base estabilizada con suelo-cemento, Cajamarca 2019, tesis de pregrado de la Universidad Privada del Norte, determino un análisis económico por m² agregando cemento en un porcentaje de 5% a la muestra de suelo, realizando el análisis de costo unitario directo tiene un costo de 19.50 a 23.05 soles.

Además, Palacios C. G. 2019, Análisis técnico-económico del suelo-cemento en pisos de viviendas de bajos recursos, en su tesis de pregrado, de la Universidad Nacional de Piura, determino un análisis económico por m² agregando cemento en un porcentaje de 9% a la muestra de suelo, realizando el análisis de costo unitario directo tiene un costo de 17.32 soles.

Según Livise B. 2022, Estabilización química de suelo con cal para el mejoramiento de sub base del tramo km 08+000 al 10+000 de la carretera Puno – Mañazo, tesis pregrado, de la Universidad Nacional del Altiplano, determina el análisis económico m², agregando cal, en un 4% a la muestra de suelo, un costo unitario directo de 79.45 soles.

Además, Jiménez L. M., 2014, Diagnostico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Haga y Viga Benkelman, en su tesis de pregrado de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, realizado un análisis de costo unitario directo de 53.04 soles.

De la misma manera Huancoillo H. 2017, Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvió Huancané – Chupa – Puno, tesis pregrado, de la Universidad Nacional del Altiplano, agregando cal y ceniza volante en un 5% a la muestra de suelo, determina un costo unitario directo de 99.09 soles en m²

Según, Quispe S. 2014, Estabilización de suelos no aptos con desechos policloruro de vinilo para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos, tesis pregrado, de la Universidad Nacional del Altiplano, realizando análisis económico utilizando desechos de policloruro de vinilo (PVC), tiene un valor de m², agregando 6% PVC, un costo unitario directo de 34.44 y 32.91 soles.

Técnicamente se justifica, que el NaCl mejora la cohesión del suelo y aumenta su capacidad portante - CBR, lo que se traduce en una menor deformación y una reajuste de la evaporación del agua. Se adicionará el aditivo NaCl al espécimen de suelo en



proporciones de porcentajes planteadas. De esta manera se prolonga la vida útil de la infraestructura.

Justico también que mi investigación en conformación de estabilización a nivel de la capa de sub base, se puede utilizar también en capas de base, sub rasante, de la estructura del pavimento, ya que existen investigación como; Roldan (2010), en su artículo “Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases”, Reyes, et al. (2006), en su revista científica: “Uso de cloruro de sodio en bases granulares”, Ccoecca, Llaguento, (2022), en su tesis de pregrado, “Estabilización de suelos con cloruro de sodio, para base y sub base en carreteras de tercera clase con fines de pavimentación – Lambayeque”, Chávez (2019), en su tesis de postgrado titulado, “Comparación del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de sodio como estabilizante químico para mejorar la subrasante en la vía a la cantera Santa Rita, Distrito de Pariñas -Talara-Piura, 2018”, y entre otros. Por otro lado según la EG-2013, se ejecuta un pre estudio de las canteras más cercanas a la vía un valor de CBR 29%, siendo para sub bases granulares cercana a lo necesario CBR 40%min, acercándose a las especificaciones generales que son mínimas; a diferencia para bases granulares las especificaciones son más rigurosas, además que el CBR es 80% min , una gran diferencia en la condición natural y superar o igualar el valor de CBR será complicado; para el caso de sub rasante se realizó un pre estudio las canteras, resultando valores que son superiores al valor de CBR para una sub rasante CBR 6%min; donde se determinó que la muestra de suelo de cantera se puede utilizar a nivel de capa sub base para cumplir con los requerimientos de la norma EG 2013, donde los valores de la cantera está más cerca a los valores de sub base como los parámetros de CBR, LL, IP, Abrasión, y más lejos para mejorar la capa sub base; por lo tanto se mejorara la capa sub base para cumplir con la norma vigente, con las proporciones indicadas para la disposición de sub base.



Desde tiempo atrás el factor socio-ambiental ha tenido gran impacto en diferentes campos como en el de la construcción empujando al sector a buscar alternativas a los materiales convencionales empleados en suelos. La estabilización de suelos es una técnica que contribuye a disminuir el impacto ambiental de dos maneras, una es reduciendo el volumen de material de excavación que se dispone en vertederos y otra evitar traslados formidables de volúmenes de material de préstamos que suelen provenir de canteras.

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.

1.5.1. Objetivo General

- Determinar la influencia en las propiedades físico mecánicas del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía desvió San Juan de Salinas - Arapa - Puno.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia en las propiedades de índice de plasticidad del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.
- Determinar la influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.
- Establecer la dosificación óptima de cloruro de sodio en un suelo de cantera de la sub base para la vía.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO.

2.1.1. Antecedentes.

Los parámetros de resistencia al cizallamiento en el estudio de la mecánica del suelo en ingeniería geotécnica son el ángulo de fricción y la cohesión. Pretendemos mejorar cualquier tipo de suelo presente en la región a intervenir mediante el uso de agentes estabilizadores de todo tipo, ya que estos parámetros, tras ser examinados in situ, no suelen ser los más favorables para garantizar la calidad de la tarea. Es por tal motivo se busca antecedentes que nos ayuden a desarrollar nuestro tema de investigación:

En el horizonte internacional:

Argumenta, Guamán (2016), en su tesis de pregrado: “Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio), en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. El objetivo de este estudio es comprender cómo se comporta un suelo arcilloso cuando se añaden cal y cloruro sodio en porcentajes del 2,5%, 7,5% y 12,5%. Los ensayos de cono de Ottawa (arena), contenido de humedad y compresión no confinada se llevaron a cabo para la investigación de los parámetros del suelo en situaciones típicas. Los ensayos de gravedad específica, densidad real de los agentes estabilizantes, límites de atterberg, resistencia a la compresión simple (qult y qadm), método proctor modificado D, y capacidad portante del suelo (CBR). Como cloruro sodio se utilizó sal granulada molida para una mejor interacción con las partículas de arcilla. Se estableció la dosis ideal de cada estabilizante”. (pág. 9,110)

Según Roldan (2010), en su artículo “Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, explica



que el ingrediente cloruro sódico (NaCl) contribuye a alargar el tiempo que los suelos pierden humedad. Su naturaleza higroscópica le permite absorber la humedad del aire y producir una capa blanca en la parte superior que sirve de barrera para impedir que la humedad se evapore demasiado rápido. La densidad seca máxima del suelo aumenta con la adición de cloruro sodio, lo que también reduce la humedad ideal. Esto produce resultados beneficiosos para los porcentajes de CBR, que aumentan con porcentajes de NaCl no superiores al 2% en condiciones críticas. El porcentaje máximo admisible de NaCl para los materiales de arena limosa y arena caliza no debe superar el 2% con respecto al peso del material y en función de la sequedad, mientras que la resistencia aumenta algo en la arena caliza con porcentajes de NaCl inferiores al 2%. La sal de mesa, también conocida como cloruro sódico, es un estabilizador útil y asequible, pero debe aplicarse con cuidado porque tiene cualidades corrosivas que dañan la maquinaria utilizada”.(pág. 12, 97)

Indica, Amu y Salami, (2010), en su artículo denominado, “Efecto de la sal común en algunas propiedades de ingeniería de suelo late ritico estabilizado con cáscara de huevo” de la Universidad Obafemi Awolowo, Ile-Ife, Nigeria, Con el fin de encontrar un buen complemento a la cáscara de huevo como estabilizador para suelos late riticos y este trabajo investigó el impacto de la sal común en la compactación y las propiedades de la Base de Carbón de California (CBR) del suelo estabilizado. Las muestras de suelo se sometieron a ensayos de compactación y CBR, además de ensayos de clasificación y consistencia. En circunstancias ideales de cáscara de huevo, la estabilización se realizó utilizando 2, 4, 6, 8 y 10% de sal común. Los Índices de Plasticidad (IP) de las muestras disminuyeron tras la adición de sal común. De 14,82% a 11,11 y 7,99% a 8,03, los valores disminuyeron en las muestras A y B, 1,25 y 1,23%. En las muestras B y C, la densidad seca máxima (DMS) aumentó de 1995 a 2140 kg/m³ y de 2000 a 2110 kg/ m³,



respectivamente. Sin remoción, los valores de CBR aumentaron de 34,78 a 50,99 kN/m² y de 15,64 a 28,89 kN/m²., 27,31 a 34,20 kN/m², mejorados se mantuvieron estables con una compactación óptima en las muestras A, B y C, respectivamente”. (pág. 12)

Revela, Reyes, et al. (2006), en su revista científica: “Uso de cloruro de sodio en bases granulares, en la Universidad Militar Nueva Granada, el objetivo es utilizar la granulometría del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para conocer el impacto de la adición de NaCl industrial a las bases granulares sobre sus propiedades mecánicas. Se utilizaron los ensayos CBR, de compresión básica y de compresión diametral para determinar el efecto sobre las características de la base granular. La investigación comienza con la caracterización del material granular y el NaCl, continúa con el ensayo proctor modificado para el material en estado virgen y con la adición de NaCl para determinar el contenido óptimo de humedad, y concluye con la ejecución de los ensayos mecánicos en las muestras modificadas y vírgenes. Se encontró un aumento de 9 veces en la resistencia (CBR) para una adición del 15% de cloruro sódico; un aumento del 100% en la resistencia a la compresión para una adición del 8% de cloruro sódico; y una pérdida en la resistencia a la tracción para todos los porcentajes de adición”.(pág. 2,13)

De igual forma, Nicole (2005), en su tesis de pregrado: "Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal: frente a la acción del agua, para distintas mezclas, para optar el título de Ingeniero Civil, de la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, en la cual su estudio trata en el uso de la sal (cloruro de sodio) como estabilizador químico de suelos, observando los efectos del agua sobre éste. Para estudiar su comportamiento, también se facilitaron los resultados de varias técnicas de adición de cloruro sodio. Para tener más antecedentes sobre el examen de los patrones de pisada en la ciudad de Valdivia, con un tamaño máximo de 2”, también estudio varios aspectos de este procedimiento utilizando los datos de laboratorio. Se



consideró conveniente realizar el análisis utilizando suelo suministrado por vialidad, cuyo pozo se ubica dentro de la comunidad de la Unión, y al cual se le adicionaron diversas concentraciones de NaCl”. (pág. 23)

Indica, Garnica & Pérez et al. (2002), En su revista de Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres, realizado en el Instituto Mexicano Del Transporte – México, como objetivo este proyecto se analizó el comportamiento de suelos arcillosos potencialmente expansivos mezclados con cloruro de sodio, con el fin de evaluar la estabilización con NaCl en suelos arcillosos, con miras a su aplicación en movimientos de tierra de vías terrestres. Los suelos estudiados corresponden a los sitios de El Salitre y Jurica. Con la adición de sal en diversos porcentajes (2, 5, 10 y 20%), se examinó la modificación de las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos. Cuando se aplicó sal mediante dos técnicas distintas -una con sal diluida en salmuera y otra en grano- se comprobó que el cloruro sódico provocaba cambios en las propiedades mecánicas y de índice de los materiales. Además, la estabilización de suelos con cloruro sódico produce diferentes efectos en los suelos que han sido tratados de esta forma . (pág. 6,37)

En el horizonte nacional:

El Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de caminos de bajo volumen de tránsito; sección 309B - Suelo estabilizado con Sal”. Señala que la característica básica de la sal estabilizadora natural, al ser higroscópica, es absorber la humedad del aire y de los materiales circundantes, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Se compone de aproximadamente un 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos. Debido al intercambio iónico que se produce entre el sodio y los minerales que componen la matriz fina de los materiales, da lugar a una acción cementante, su capacidad coagulante se traduce en una disminución del esfuerzo



mecánico para alcanzar la densificación adecuada. La cantidad de sal necesaria para estabilizar oscila entre 50 y 80 kg/m³; sin embargo, la cantidad exacta de sal necesaria depende de los resultados de la sección de ensayo.

Según, Ccoecca, Llaguento, (2022), en su tesis de pregrado, “Estabilización de suelos con cloruro de sodio, para base y sub base en carreteras de tercera clase con fines de pavimentación – Lambayeque, de la Universidad de Cesar Vallejo, Chiclayo - Perú. El objetivo de la presente es garantizar que las propiedades físicas, químicas, mecánicas y aspecto de los suelos utilizados como base y subbase de los pavimentos se vean alteradas por la adición de cloruro de sodio. A nivel explicativo, aplicamos un enfoque científico, un tipo de investigación cuantitativa. Cada muestra se sometió a los siguientes exámenes de laboratorio: Sales totales para evaluar las cualidades químicas, análisis granulométrico, contenido de humedad y límites de Atterberg para determinar los valores físicos, y Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR) para determinar las propiedades mecánicas. Se realizaron ensayos con muestras que contenían cloruro sódico en concentraciones del 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% y 15%, así como con la muestra estándar”. (pág. 21, 114)

Agrega, Chávez (2019), en su tesis de postgrado titulado, “Comparación del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de sodio como estabilizante químico para mejorar la subrasante en la vía a la cantera Santa Rita, Distrito de Pariñas -Talara-Piura, 2018, en la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú. Se concentró en un método novedoso para mejorar las características físico-mecánicas de la subrasante a lo largo de la carretera de la cantera Santa Rita, en el Distrito de Parias, Provincia de Talara y Departamento de Piura. Se utilizó 2 calicatas como referencia para la aplicación real de las dos estabilizaciones y tenía un CBR IN SITU inicial del 30,39%. Las pruebas y ensayos se realizan en proporciones de 5%, 10%, 15% y 20% tanto para el cloruro de



sodio (NaCl) como para el cloruro de magnesio (Mg Cl₂) o bischofita. De acuerdo con los estudios, el valor ideal de estabilización para una mezcla IN SITU + cloruro de magnesio (Mg Cl₂) es 80% muestra + 20% Mg Cl₂, resultando en un California Bearing Ratio (CBR) de 81,43%. El valor ideal de estabilización para una mezcla IN SITU + Cloruro de Sodio (NaCl) es 95% muestra + 5% Cloruro de Sodio (NaCl), resultando en un valor de California Bearing Ratio (CBR) de 42,82%”.(pág. 12, 78)

Menciona Caruajulca (2018), en su tesis de pregrado: “Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce el Porongo – aeropuerto – Cajamarca, de la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Con el fin de aumentar la capacidad portante del suelo, esta tesis de investigación examina los efectos de la adición de cloruro de sodio como estabilizante a la subrasante de la ruta Cruce el Porongo - Aeropuerto - Cajamarca. Para ello se excavarán 12 calicatas a lo largo de toda la carretera. De estas calicatas se extraerá material para realizar pruebas de laboratorio como granulometría, límite líquido, límite plástico, Proctor, CBR, con dosificaciones de 1%, 2% y 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material. Al concluir el estudio, se determinó que de 2% a 3% de cloruro de sodio por metro cúbico de material es la dosis ideal para estabilizar la subrasante del tramo Cruce el Porongo - Aeropuerto - Cajamarca, ya que este valor incrementó la capacidad portante del suelo hasta en 11% en comparación con la muestra sin adición”. (pág.30, 112)

Argumenta, Cochachin (2018), en su tesis de pregrado: “Estabilización y durabilidad de sub base usando la cantera de Challhua con adición de cloruro de sodio en 2, 4 y 6% - Huaraz, en la Universidad San Pedro, Perú. El presente estudio se realizó en la ciudad de Huaraz en el año 2017 con el objetivo de determinar la estabilización y durabilidad de la sub base utilizando agregado de cantera Challhua con la adición de cloruro de sodio al 2, 4 y 6%. La metodología de la investigación es experimental en un



sentido "cuasi-experimental" porque se evaluó utilizando pruebas como la granulométrica, los límites de Atterberg, el proctor modificado y el CBR. Como resultado, se demostró que la adición de un 2% de cloruro salino aumentaba el CBR en un 3,1% en comparación con el estándar, mejorando así la resistencia. El material también mostró una alta resistencia al desgaste en la prueba de durabilidad, con porcentajes de pérdida del árido grueso y fino de 9,364% y 5,56%, respectivamente". (pág. 34, 110)

En el horizonte regional:

Según, Mamani, (2022), en su tesis de pregrado, "Influencia del cloruro de sodio en las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante, Carretera Juliaca - Caminaca, Puno, de la Universidad Cesar Vallejo, Lima, El objetivo principal de este estudio fue crear los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR para evaluar el impacto del cloruro sódico en las características mecánicas y físicas de la subrasante. El estudio a nivel explicativo con un enfoque cuantitativo fue el tipo de investigación para el que se desarrolló la metodología de diseño experimental. Los resultados de la incorporación de cloruro sódico al 8%, 12% y 16% mostraron que los valores de índice de plasticidad (18,77%), contenido de humedad óptimo (11,54%), MDS (1,63 g/cm³) y CBR (95% del MDS) eran los más pertinentes cuando se añadía cloruro sódico al 16%. Los resultados mostraron que la capacidad portante del suelo aumentó significativamente en un 81,75%, satisfaciendo plenamente los requisitos técnicos generales para la construcción de carreteras en la condición de subrasante, mientras que las propiedades físicas, como el índice de plasticidad, disminuyeron en un 6,69%. Del mismo modo, el contenido de humedad tendió a disminuir en las propiedades mecánicas, dando lugar a una mayor densidad seca máxima.

Donde, Velásquez, (2021), en su tesis de pregrado, "Estabilización de suelos arcillosos de subrasante incorporando cal y cloruro de sodio, carretera Titilaca – Santa



Rosa, Puno, 2021, de la Universidad de Cesar Vallejo, Lima Norte- Perú. El presente trabajo de investigación titulado “Estabilización de suelos arcillosos de subrasante incorporando cal y cloruro de sodio, carretera Titilaca- Santa Rosa, Puno 2021” , Se examinó el proceso de degradación del pavimento de la carretera Titilaca-Santa Rosa y se formularon recomendaciones técnicas de estabilización química por razones de diseño. Para lograr estos objetivos se utilizó como técnica el método científico aplicado a nivel explicativo y el diseño cuasi-experimental. El estudio de los mecanismos de fallas provocados por las cargas constructivas y las insuficiencias de la subrasante; dio resultados deseados de estabilización mediante cal y NaCl (1% de cal + 3% de NaCl) produjo un valor de CBR del 16%. El estudio concluye que la adición de cal y NaCl aumenta considerablemente la capacidad portante de la subrasante, según las normas definidas por el Manual de Carreteras (MTC) y comprobadas en experimentos”. (pág. 25, 141)

En el horizonte local:

Por otro lado, existe un yacimiento de cloruro de sodio de aproximadamente 1,72 toneladas/día (sal) en la región de Puno, provincia de Azángaro, concretamente en el distrito de San Juan de Salinas. Por ello, el estudio pretende recoger y cambiar la sal sin necesidad de mano de obra profesional o incluso maquinaria especializada, utilizando un producto local para el análisis en cuestión. Combinando este cambio con la muestra de suelo de la cantera Pampa Grande del Distrito de San Juan de Salinas.

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

2.2.1. Suelo.

2.2.1.1. El Suelo y su Origen.

Los materiales sueltos que se encuentran en la corteza terrestre que se crean por la desintegración mecánica y la descomposición química de las rocas de la corteza.

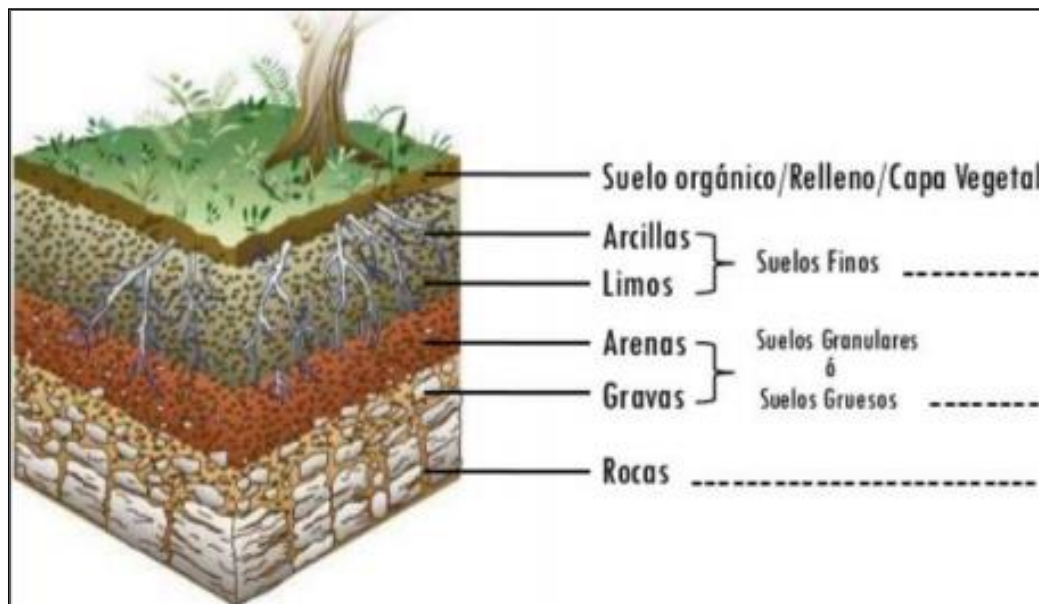
“El suelo como el conjunto de fragmentos minerales producidos por la descomposición mecánica o química de rocas preexistentes” (Rico y H. del Castillo, 1998, pág. 18)

“Capa de la corteza terrestre formada por partículas sobrantes de la desintegración, modificación y/o disolución física, química y/o biológica de las rocas” (Crespo Villalaz, 2004, pág. 18). Por otro lado el doctor en ingeniería, “lo define como depósitos de partículas sólidas y sedimentos no consolidados producidos por la descomposición de las rocas” (Alfred R. Jumikis, 2008, pág. 35)

Los suelos se depositan en capas heterogéneas que conforman la superficie del terreno, y se clasifican según el tamaño de sus partículas. (Stevenson, 2009, pág. 4). Tal se visualiza en la figura 1.

Figura 1

Estructura de Tipos de Suelo.



Fuente: C. Stevenson (2009), *sistemas de construcción y de estimación*, artículo, University of Nottingham, UK.

Figura 2

Diagrama del Modelo Trifásico y una Muestra de Suelo.



Fuente: *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Suelos y Cimentaciones, William Rodríguez Serquén, 2019.*

2.2.2. Granulometría en Suelos.

Las dimensiones de las partículas del suelo son muy diferentes, están en función del tamaño de las partículas principales, los suelos suelen denominarse grava, arena, limo o arcilla. Se trata de separar y clasificar los gránulos de tierra en función de su tamaño:

- **Análisis con mallas o tamices, cribado**, para partículas con diámetros superiores a 0,075 mm. La muestra de suelo se envía a través de una serie de mallas en este proceso.
- **Análisis con hidrómetro**, para partículas con un diámetro inferior a 0,075 milímetros. Incluye la dispersión de una pequeña cantidad de tierra en agua para producir una suspensión, la medición de la gravedad específica a lo largo del tiempo y se basa en la idea de que los granos de tierra sedimentan en el agua.



1. *Gravas.*

“Las gravas son acumulaciones sueltas de partículas rocosas; pueden ser redondeadas en los bordes debido a su origen y desgaste por haber sido transportadas por las corrientes de agua. Suele encontrarse en forma de material suelto en lechos fluviales, riberas y conos de deposición, así como en numerosas depresiones terrestres que han sido rellenadas por el transporte fluvial y en muchos otros lugares donde las gravas han sido transportadas. Las gravas cubren mucho espacio, pero prácticamente siempre contienen cantidades variables de cantos rodados, arena, limo y arcilla. El tamaño de sus partículas oscila entre 2,0 mm y 7,62 cm (3"). Pueden ser desde poliedros hasta piedras”. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 21).

2. *Arenas.*

“Rocas que han sido trituradas o denudadas artificialmente, produciendo minerales de grano fino con partículas de entre 2 mm y 0,05 mm de diámetro. Las arenas tienen una historia similar a las gravas y comparten un yacimiento común donde suelen encontrarse. Con mucha frecuencia, la arena de río incluye cantidades considerables de arcilla y grava. Las arenas son mucho menos compresibles que la arcilla cuando están limpias, no se encogen al secarse, no son plásticas y se comprimen casi instantáneamente cuando se aplica una carga a su superficie”. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22).

3. *Limos.*

“El limo es un tipo de suelo de grano fino que tiene poca o ninguna plasticidad; puede ser inorgánico (como el que se encuentra en las canteras) u orgánico (como el que suele encontrarse en los ríos), siendo este último el que posee estas propiedades. Las partículas de limo tienen un diámetro de 0,05 mm a 0,005 mm. Su tonalidad va del gris claro al gris muy oscuro. Los limos orgánicos son muy compresibles y tienen una

permeabilidad muy baja. A menudo se considera que el limo es un suelo malo para los cimientos si no está compactado”. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22).

4. Arcillas.

“Son partículas sólidas con masa que, al combinarse con el agua, se convierten en plástico, su diámetro es inferior a 0,005 mm. Aunque ocasionalmente incorpora silicatos hidratados de hierro o magnesio, químicamente es un silicato hidratado de alúmina. Estos minerales suelen tener estructuras cristalinas complejas con disposición laminar de los átomos. En realidad, una de estas láminas es silíceas y la otra es aluminosa, y pueden clasificarse en dos categorías. De acuerdo a su mineralogía de la arcilla, ya sean caolinitas, montmoriloníticas, o ilitas”. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22).

Tabla 3

Límite de Tamaño de Suelos.

Organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (limos y arcillas) < 0.075	

Fuente: *Mecánica de Suelos, Samuel Huaquisto Cáceres, 2013.*

Acotación: *La cantidad de material a usar en un tamizado, depende del tamaño promedio de las partículas. Si son más finas, la cantidad a usar es menor, en cambio, si son grandes la muestra será de mayor.*

Tabla 4

Peso Aproximado por Porción de Muestra para la Granulometría.

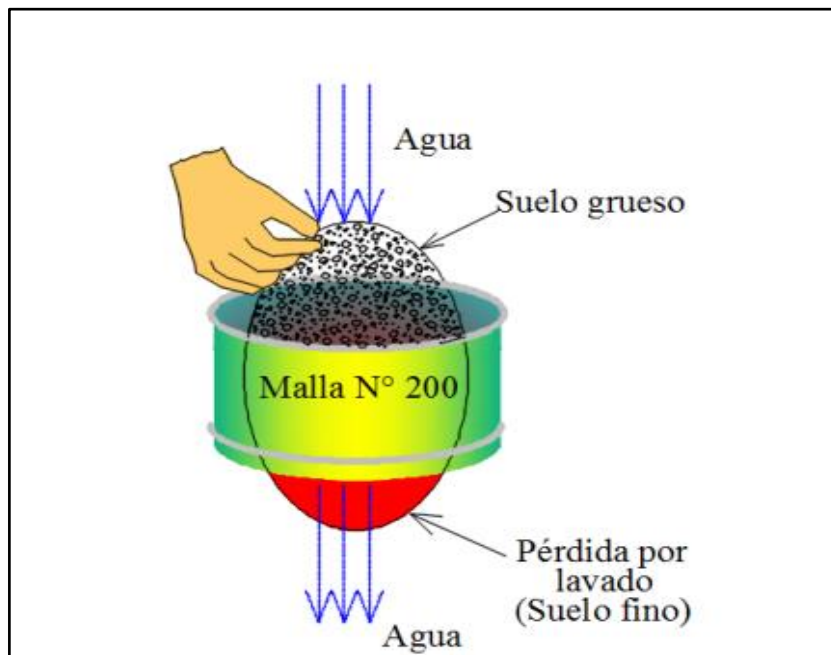
Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,50 (3/8")	500
19,60 (3/4")	1000
25,70 (1")	2000
37,50(1 1/2")	3000
50,00 (2")	4000
75,00 (3")	5000

Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales - MTC*

Pérdida por lavado, es un proceso que consiste en “lavar”, aplicándole agua al suelo ya pesado.

Figura 3

Lavado del Suelo a Tamizar, en la Malla Nro. 200, para Eliminar el Suelo Fino.



Fuente: *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Suelos y Cimentaciones, William Rodríguez Serquén, 2019*

Para realizar el ensayo de granulometría se da referencia a las normas

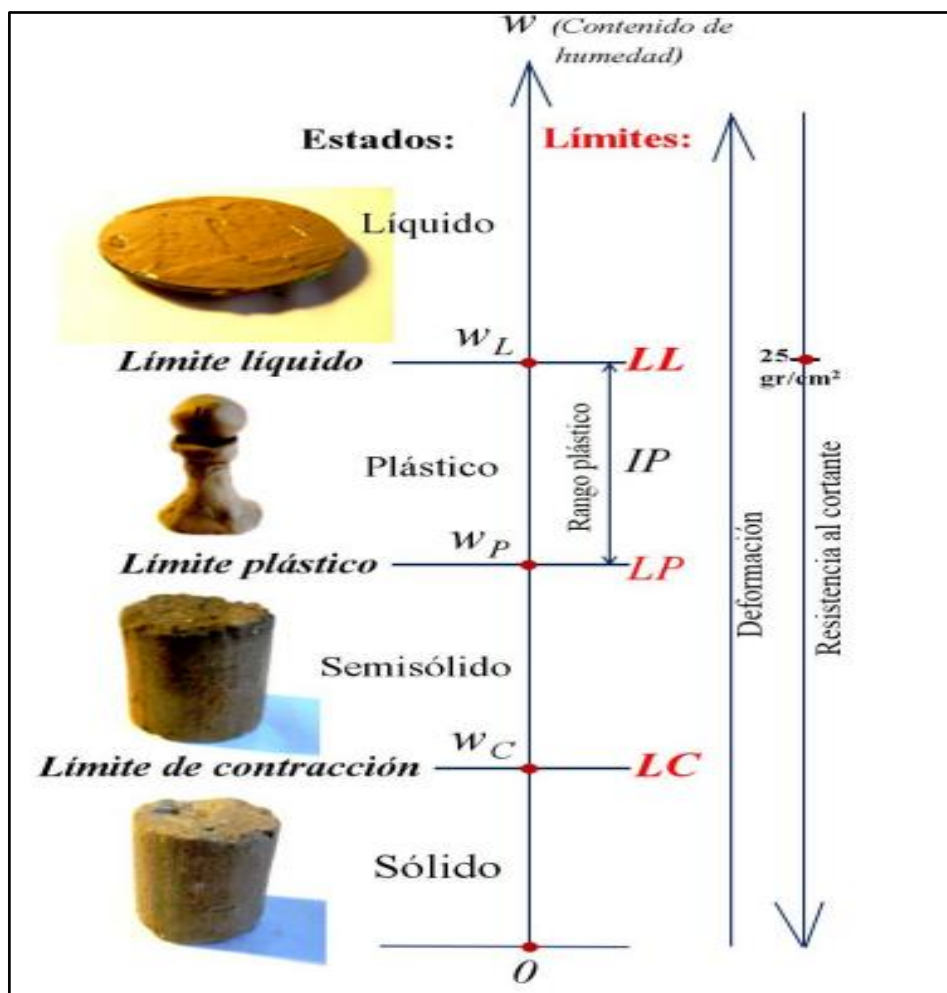
- MTC E107-99, ASTM D422, AASHTO T88, NTP 339.128:1999.

2.2.3. Límites de Consistencia del Suelo.

“Propiedad de un material por lo cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable sin desmoronarse ni agrietarse. Según las investigaciones de Atterberg, la plasticidad de las arcillas depende de la cantidad de humedad presente, además, el LL y el LP de un suelo son indicadores de su plasticidad”. (Huaquisto, 2013, pág. 41).

Figura 4

Estados y Límites de Consistencia del Suelo.



Fuente: *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Suelos y Cimentaciones*, William Rodríguez Serquén, 2019.



La figura 4, Según su contenido de agua decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia (Rico, 2005), definidos por Atterberg:

Estado sólido, en que el secado ya no provoca un cambio en el volumen del suelo.

Límite de contracción (LC), es la cantidad de agua presente cuando un sólido se convierte en semisólido.

Estado semisólido, donde la tierra parece sólida pero, sin embargo, pierde volumen al secarse más.

2.2.3.1. Limite Plástico (LP)

En el punto en que una sustancia pasa de fase semisólido a fase plástico, es el contenido de agua. Otra forma de decirlo es que el contenido de agua en el punto en el que la tierra pasa de una fase semisólido a una fase plástica es el contenido de agua con el que la tierra se desmenuza al enrollarla en rollos de 3,2 mm de diámetro. Se referencia las Normas, para realizar en ensayo.

- MTC E111-99, ASTM D424, AASHTO T90, NTP 339.129:1999.

Estado plástico, Esto, según el concepto dado anteriormente, describe el suelo que se comporta plásticamente.

2.2.3.2. Limite Líquido (LL).

Se dice que es el punto en el que una sustancia transita de una forma plástica a un fase semilíquido, lo que importa es el contenido de agua. Aproximadamente 25 g/cm² de resistencia al cizallamiento. Además, revela el volumen de agua al que se cierra la ranura de la cuchara Casagrande tras 25 golpes. Se referencia las Normas, para realizar el ensayo.

- MTC E110-99, ASTM D423, AASHTO T89, NTP 339.129:1999.

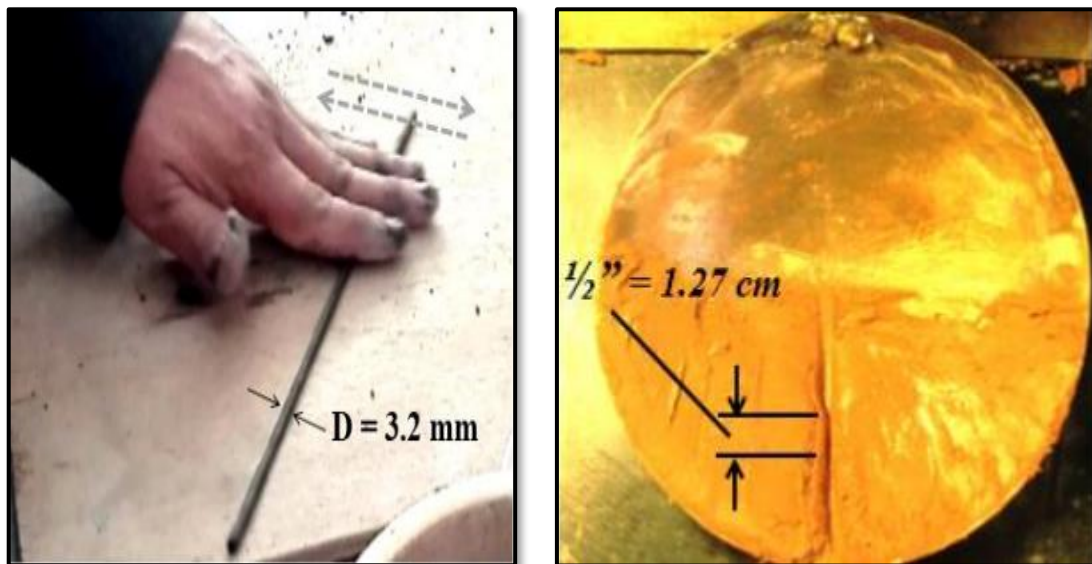
Estado semilíquido, posee el aspecto de un fluido viscoso.

Estado líquido, características únicas y un aspecto de suspensión.

Por lo tanto para nuestra investigación se realizó los ensayos de LL y LP, debido que son necesarios para clasificar o conocer el tipo de suelo.

Figura 5

Prueba de LL y LP.



Acotación: (Izq.) Enrollado del suelo para lograr cilindros de 3 mm de diámetro. Y (der.) Cerramiento de la ranura, debido a los golpes o caídas de la copa sobre la base.

2.2.4. Índice de Plasticidad (IP).

El IP, mide el grado de plasticidad de una sustancia, resultado de la diferencia numérica entre el LL y el LP de una muestra de suelo.

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

IP = Índice de Plasticidad, LL = Límite Líquido, LP = Límite Plástico.

El término "no plástico" se refiere a un suelo cuyo límite plástico no puede determinarse. Un suelo si el $IP < 7$ plasticidad baja, si, $7 < IP \leq 17$, plasticidad mediana.

IP > 17 plasticidad alta. Por tanto, cuan mayor es el IP, mayores son las complicaciones agrupados con el uso del suelo en materia de ingeniería.

2.2.5. Clasificación de Suelos.

“El sistema de clasificación de la AASHTO y (SUCS) destacan entre los sistemas de clasificación propuestos que más apoyo han recibido en la comunidad de ingenieros, ya que son los que mejor responden a los distintos sectores de aplicación de la mecánica de suelos”. (M. Das, 2015, pág. 78).

Tabla 5

Tipificación de Suelos Según SUCS y AASHTO.

SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos				AASHTO American Association of State Highway Officials				
				MALLA	(mm)			
SUELOS GRUESOS	GRAVA (G) gravel	GW	↑ + 50%	2"	50.800	A - 1	A-1-a	
		GP		1"	25.400		A-1-b	
		GM		3/4"	19.050		(Fragmentos de	
		GC		1/2"	12.700		piedra, grava y arena)	
				3/8"	9.525			
			1/4"	6.350				
			N° 4	4.760	A - 2	A-2-4		
			N° 8	2.380	A-2-5			
			N° 10	2.000	A-2-6			
			N° 16	1.190	A-2-7			
SUELOS GRUESOS	ARENA (S) sand	SW	↓ + 50%	N° 20	0.840	A - 3	(Gravas y arenas	
		SP		N° 30	0.590		limosas o arcillosas)	
		SM		N° 40	0.426			
		SC		N° 50	0.297			
				N° 80	0.177			
			N° 100	0.149	(Arena fina)			
			N° 200	0.074	+ 35%			
			ML	+ 50%	+ 35%	A - 4	(Suelos	
	SUELOS FINOS	LIMOS (M)	CL	↓			A - 5	limosos)
			OL				A - 6	(suelos
ACILLA (C)		MH				A - 7	arcillosos)	
		CH				A-7-5		
		OH				A-7-6		

Fuente: Braja M. Das, “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, 2013

2.2.5.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Casagrande presentó por primera vez el diseño de este sistema en 1948. En 1952, este sistema se actualizó en colaboración con el Bureau of Reclamation de Estados Unidos. Actualmente, los ingenieros lo utilizan con frecuencia (norma ASTM D-2487). Este sistema, que utiliza los siguientes símbolos, se utiliza en casi todos los trabajos geotécnicos:

Tabla 6

Simbología Utilizada en la Clasificación SUCS.

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava (gravel)	G	Bien graduado	W
Arena (sand)	S	Pobrementemente graduado	P
Limo (silt)	M	Limoso	M
Arcilla (clay)	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	LL alto (>50)	H
Turba	Pt	LL bajo (<50)	L

Fuente: *Mecánica de suelos, Samuel Huaquisto Cáceres, 2013.*

Tabla 7

Tipología de Suelos Combinado Según SUCS.

Símbolo	Características Generales		
GW	Arenas (>50% en tamiz #4ASTM)	Limpias (finos<5%)	Bien graduadas
GP			Pobrementemente graduadas
GM		Con finos (finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	Arenas (<50% en tamiz #4ASTM)	Limpias (finos<5%)	Bien graduada
SP			Pobrementemente graduadas
SM		Con finos (finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	Limos	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	Arcillas	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	Suelos orgánicos	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	Turba	Suelos altamente orgánicos.	

Fuente: *Mecánica de suelos, Samuel Huaquisto Cáceres, 2013.*

Suelo de grano grueso (G y S): creado utilizando el tamiz N° 200, ASTM, y gravas y arenas con un contenido de finos inferior al 50%.

Suelos de grano fino (M y C): suelos que contienen al menos un 50% de arcilla y limo.

Suelos orgánicos, (O, Pt): compuestos en su mayor parte por material biológico.

Tabla 8

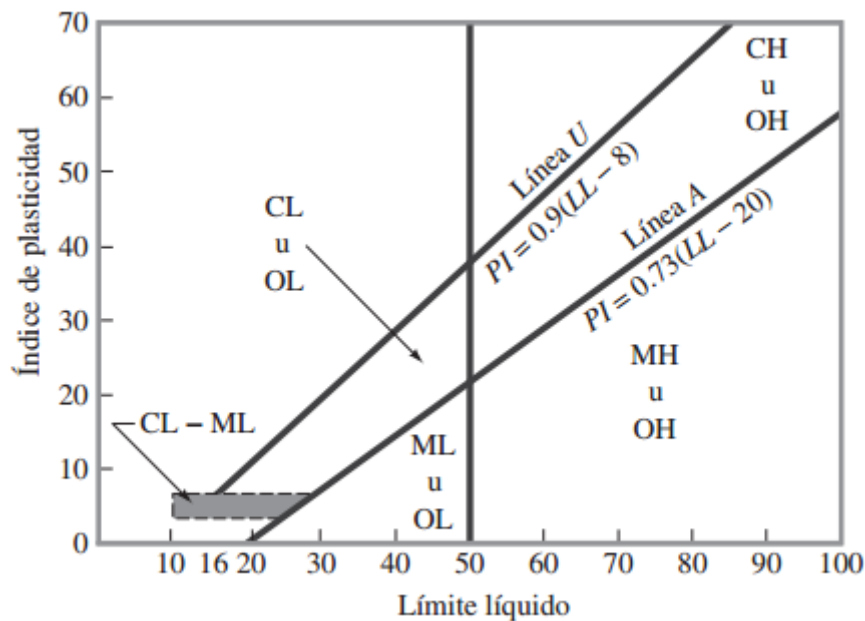
Diferencia entre Grava, Arena, Limo o Arcilla.

Material considerado grueso si se retiene más del 50%		N°200 0.075mm	El material se considera fino si pasa más del 50%
Es Retenida			Pasa
GRAVA Si más del 50% de la fracción gruesa queda retenida en la malla N°4	ARENA Si más del 50% de la fracción gruesa pasa por la malla N°4		LIMO o ARCILLA El suelo fino es: Limo (M) Arcillas(C).

Fuente: *Mecánica de suelos, Samuel Huaquisto Cáceres, 2013.*

Figura 6

Carta de Casagrande para Suelos Cohesivos.



Fuente: *Braja M. Das, "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", 2013.*

2.2.5.2. Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO.

“Se refiere al método de categorización de suelos de la AASHTO, este enfoque divide el suelo en siete clases principales, numeradas de la A-1 a la A-7. Los suelos con una clasificación A-1, A-2 o A-3 si sólo el 35% o menos de las partículas pasan a través de un tamiz N° 200 y las categorías A-4, A-5, A-6 y A-7 se clasifican los materiales que pasan a través del tamiz N° 200 en más de un 35%. (M. Das, 2015, pag.78)

1. Tamaño de grano: La grava; fracción que pasa tamiz de 75 mm y fracción retenida tamiz 2 mm. Arena; Porción pasante 2,0 mm y retenida tamiz 0,075 mm. Arcilla y limo; fracción pasante tamiz 0.075mm.

2. Plasticidad: cuando las fracciones finas tienen, $IP \leq 10$, se prefija como limoso, si, $IP \geq 11$ se prefija como arcilloso.

3. Los guijarros y cantos rodados de tamaño superior a 75 mm.

El gráfico para los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7, muestra el rango del LL y el IP. En los grupos y subgrupos de suelos también se envuelve un número conocido como IG, para la evaluación de la calidad de un suelo como material de subrasante de carreteras.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10) \dots (2.1)$$

Dónde:

F = proporción pasado por el tamiz núm. 200, LL = límite líquido, PI = índice de plasticidad, $(F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] =$ es el índice de grupo parcial determinado por el límite líquido, $0.01 (F - 15) (PI - 10) =$ es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad.

Determinación del índice de grupo (IG):

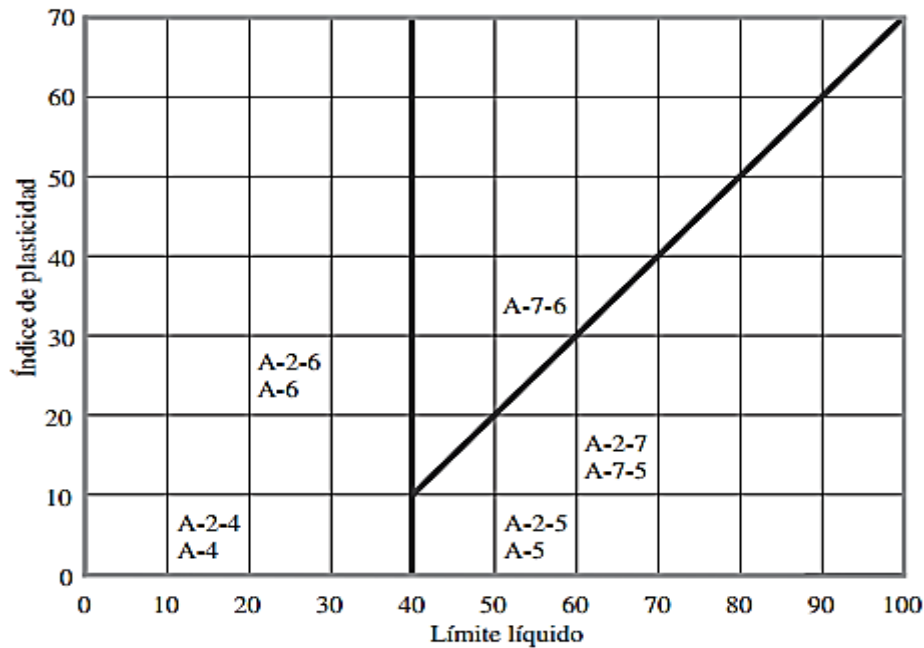
IG = (-), este se toma igual a cero, si el IG = se redondea (3.4 = 3; 3.5 = 4), No hay límite superior para el IG, si el IG = A-1-a, A- 1-b, A-2- 4, A-2-5 y A-3 siempre es 0, si el IG, = A-2-6 y A- 2-7, se calcula con:

$$IG = 0.01(F - 15)(PI - 10) \dots\dots (2.2)$$

Para suelos de los sub grupos A-7-5 o A-7-6, se tiene: Si $IP \leq LL - 30$, es A-7-5
y si $IP > LL - 30$ es A-7-6.

Figura 7

Rango del LL y del IP para los Grupos de Suelos.



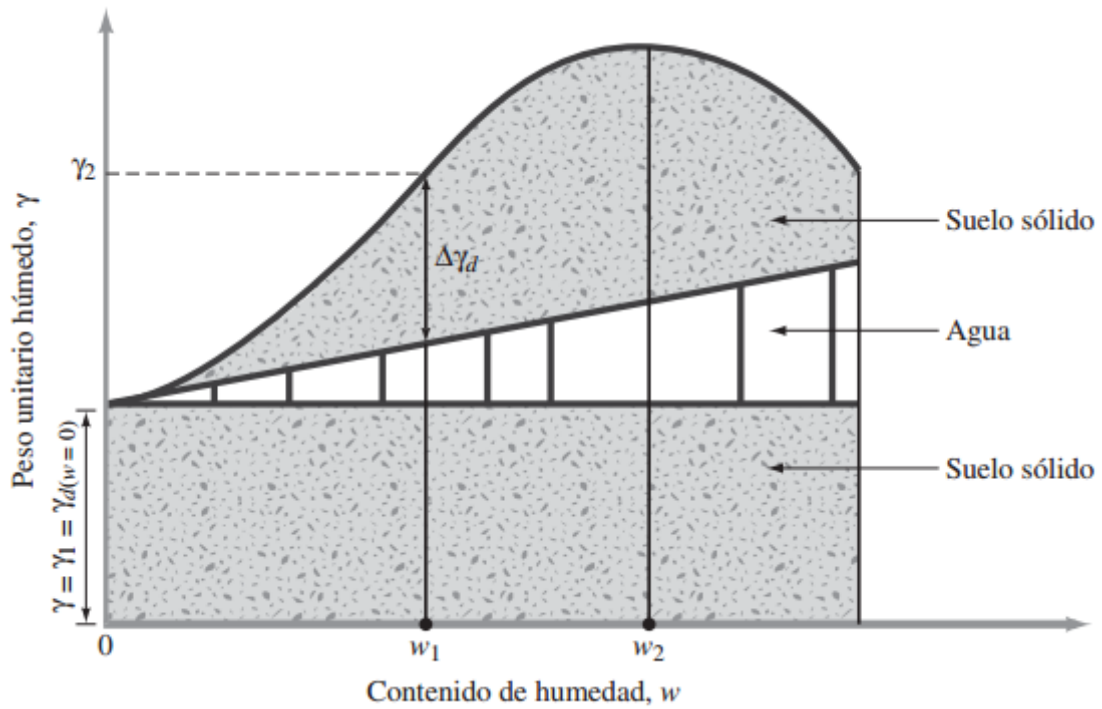
Fuente: Braja M. Das, “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, 2013.

2.2.6. Compactación de los Suelos.

“La compactación es la densificación por la eliminación de aire, en términos de su peso específico seco del suelo; se agrega agua al suelo durante la compactación para juntar lo granos fácilmente, de esta forma se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua, Por lo tanto, el proceso mecánico tiene como objetivo mejorar las propiedades de resistencia y disminuir la capacidad de deformación y tensión-deformación de los suelos”. (M. Das, 2001, pág. 91).

Figura 8

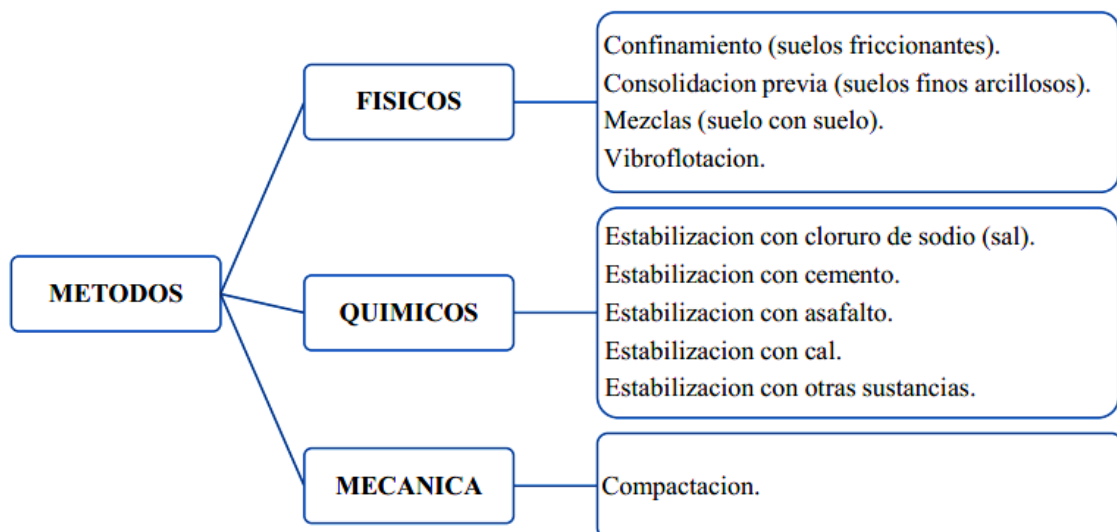
Principios de Compactación.



Fuente: Braja M. Das, “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, 2013

Acotación: A medida que acrecienta el contenido de humedad, aumenta el peso unitario seco tras la compactación inicial.

Entre los distintos métodos de compactación se tiene:





2.2.6.1. Pruebas de Compactación.

En general, “las técnicas de compactación se utilizan para compactar rellenos artificiales, como cimentaciones sobre arenas sueltas y bermas de defensa, muelles, terraplenes para carreteras y ferrocarriles, diques y cortinas para presas de tierra. Así pues, a continuación se exponen algunos de los diversos factores que influyen en el proceso de compactación del suelo”. (Huaquisto, 2013, pág. 65)

“El tipo de suelo, la técnica de compactación, la energía utilizada durante la compactación, el contenido de humedad del suelo, la forma en que se desplaza la escala de humedad durante la compactación, la cantidad de agua en el suelo original en el momento de la compactación, la re compactación, la temperatura y otros factores”.(Zapata, 2009, pág. 34)

$$E_c = \frac{N \cdot n \cdot W \cdot h}{V}$$

Dónde:

N: Numero de golpes, n: Numero de capas, W: peso del pistón, h: altura de caída, V: volumen del molde.

2.2.6.2. Prueba Proctor Modificado.

“El proceso mecánico de compactación del suelo aumenta la resistencia, mejora las propiedades de tensión-deformación y disminuye la compresibilidad. El ensayo Proctor mide el peso por volumen de un suelo que ha sido compactado según un método determinado para diversos contenidos de humedad”. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 101).

Tabla 9*Fundamentos del Prueba de Proctor Modificado.*

MÉTODO	A	B	C
Condición del material (tamices retenido)	↑ N°4 ≤ 20%	↑ N°4 ≥ 20% y ↑ 3/8" ≤ 20%	↑ 3/8" ≥ 20% y ↑ 3/4" ≤ 30%
Suelos a usar (pasante)	N° 4	3/8"	3/4"
Cantidad de muestra	3 kg	3 kg	6 kg
Numero de capas	5	5	5
Numero de Golpes	25	25	56
Diámetro del molde	10.16 cm	10.16 cm	15.25 cm
Altura del molde	11.64 cm	11.64 cm	11.64 cm
Altura de caída de pisón	45.72 cm	45.72 cm	45.72 cm
Energía de compactación	27.485kg.cm/cm ³	27.485kg.cm/cm ³	27.485kg.cm/cm ³

Fuente: *Manual de ensayo de materiales, MTC 2016*

Como resultado del mayor esfuerzo de compactación. La densidad seca de cada espécimen se calcula utilizando la siguiente relación: A medida que aumenta el peso específico máximo del suelo, disminuye con él el contenido óptimo de agua:

$$D_s = \frac{D_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

D_s: Densidad seca. W: Contenido de humedad de la muestra. D_h: Densidad húmeda de la muestra.

$$D_h = \frac{(P_1 - P_2)}{V}$$

Donde:

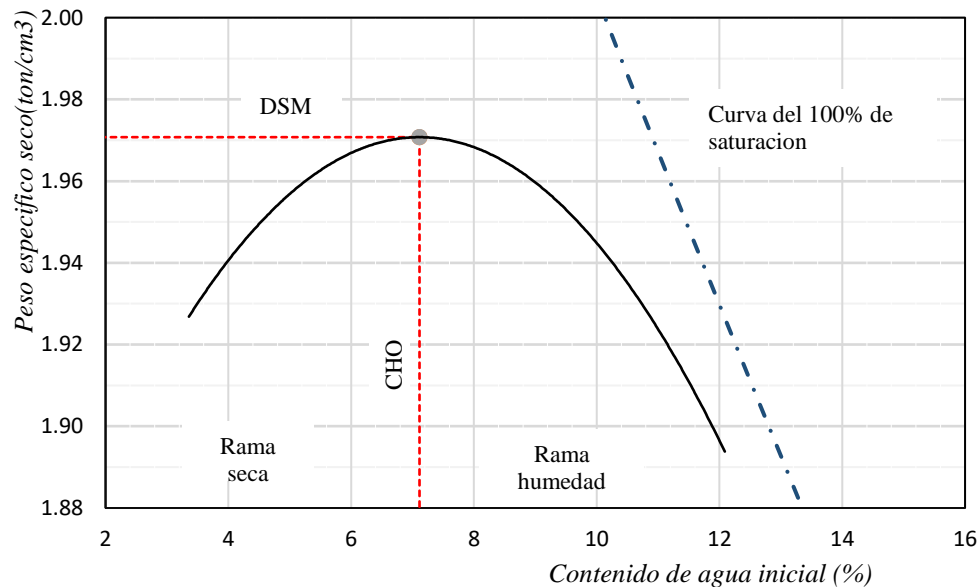
P₁: Peso de la muestra húmeda +/molde. P₂: Peso del molde. V: Volumen del molde.

Con los datos determinados de densidad seca y contenido de humedad, en el eje vertical denotando la densidad seca y el eje horizontal denotando el contenido de humedad. Trazar una curva que conecte los puntos trazados y, a continuación, trazar una

línea horizontal y vertical a través del punto máximo de la curva para determinar la DSM para el CHO.

Figura 9

Curva de Compactación Típica



Fuente: Rico Rodríguez y Hemilio de Castillo (1976, pág. 158)

Para la realización del procedimiento experimental se referencia a las normas de:

- MTC E115, ASSHTO T91, ASTM D1557-91, NTP 339.141: 1999.

2.2.7. Resistencia del suelo.

“El comportamiento mecánico del suelo es sin duda el factor más crucial; de hecho, las propiedades y ensayos descritos anteriormente tienen por objeto lograr la mayor estabilidad mecánica posible, garantizando que las tensiones se transmitan de manera uniforme y gradual y evitando un asentamiento excesivo o incluso un hundimiento con consecuencias fatales”.(Huaquisto, 2013, pág. 73)

2.2.7.1. Valor Relativo de Soporte (CBR)

Ensayo en inglés (California Bearing Ratio, CBR) del método empírico desarrollado por los ingenieros T. E. Staton y O. J. Porter del Departamento de Carreteras

de California para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas.

La resistencia al cizallamiento de los materiales granulares bajo cizallamiento. Esta resistencia en el material granular compactado bajo las mismas circunstancias de carga y penetración se representa como:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria de ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} * 100$$

Deben introducirse en el cálculo como valores unitarios de carga:

Tabla 10

Los Valores de Carga Unitaria.

PENETRACIÓN		PRESIÓN		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	Kgf/cm ²	Lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fuente: *Manual de ensayo de materiales - MTC*

A menudo se toman las cifras correspondientes a una profundidad de 2,54 mm y 5,08 mm (0,1 pulg. y 0,2 pulg.), creando un gráfico de 2,10 a partir de varios pares de valores de presión-penetración.

Este ensayo se utiliza con frecuencia para valorar la calidad de los materiales para formar parte de las capas de base, sub base y subrasante de pavimentos y otras estructuras portantes móviles.

Tabla 11

Clasificación Típica de Valor de CBR.

C.B.R.	Tipificación usual	Aplicación	Procedimiento de Categorización	
			SUCS	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Subrasante	OH,CH,MH,OL	A5, A6, A7.
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante	OH,CH,MH,OL	A4, A5, A6, A7.
7 – 20	Regular	Sub base	OL,CL,ML,SC,SP,SM	A2, A4, A6, A7.
20 – 50	Bueno	Base, sub base	GM,GC,SM,SP,GP	A1b, A2-5, A3, A4-6.
> 50	Excelente	base	GW,GM	A1-a, A2-4, A3.

Fuente: *Bowles, 1978.*

Tabla 12

Clasificación de Suelos Según los Valores de CBR.

C.B.R.	Clasificación
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Sub base buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

Fuente: *Ensayos de laboratorio para mecánica de suelos, Tania Zapata Coacalla, 2009.*

Tabla 13

Valores de CBR Cualitativas del Suelo.

C.B.R.	Clasificación Cualitativa del Suelo	Uso
2 – 5	Muy mala	Subrasante
5 – 8	Mala	Subrasante
8 – 20	Regular a buena	Subrasante
20 – 30	Excelente	Subrasante
30 – 60	Buena	Sub base
60 – 80	Buena	Base
80 – 100	Excelente	Base

Fuente: *Ensayos de laboratorio para mecánica de suelos, Tania Zapata Coacalla, 2009.*

Expansión. La dilatación se determina comparando los valores del deformímetro previamente y posteriormente de la inmersión. Esta cantidad se pronuncia en porcentaje de la altura del espécimen en el molde, que es de 127 mm (5").

Con estas palabras:

$$\% \text{ Expansion} = \frac{(L_2 - L_1)}{127} * 100$$

Donde:

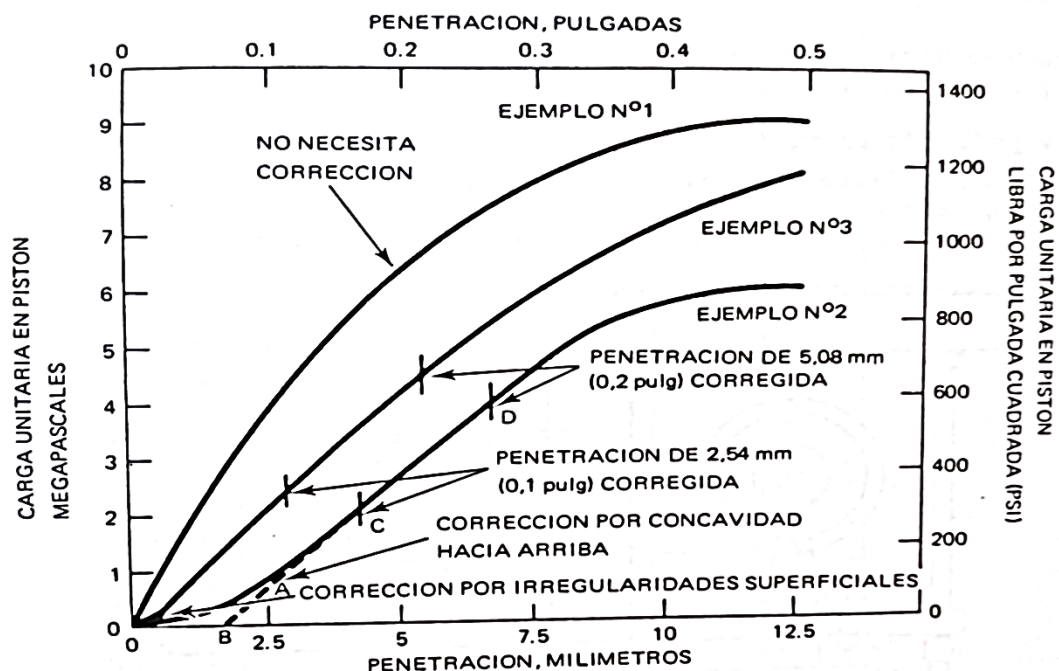
L1 = Lectura inicial en mm., L2 = Lectura final en mm.

Para la ejecución del procedimiento experimental se da referencia a las normas.

- MTC E111-99, ASTM D424, AASHTO T90. NTP 339.145:1999.

Figura 10

Corrección de las Curvas Carga - Penetración.



Fuente: *Tecnología de Asfalto y prácticas de construcción, I.S.B.N. 1985, Argentina.*

2.2.7.2. Abrasión de ángeles por medio de la máquina de los ángeles

Durante la fabricación, colocación y compactación de las obras de pavimentación, pero sobre todo durante la vida útil del firme, los áridos deben ser capaces de soportar un desgaste y una degradación irreversibles.

Por la transitabilidad de los vehículos estos se someten a presiones verticales uniformes y elevados esto se debe a la tensión y deformación, que genera a través de las llantas. Además las capas superficiales de la estructura del pavimento, están en constante estado de tensión y desgaste por motivos de tránsito en la vía, los materiales granulares están directamente en contacto como el material de ligante asfáltico, base, estos tendrán que ser resistentes al desgaste y es por eso que deben soportar más el desgaste, a diferencia de las capas inferiores (sub base, sub rasante). Dependiendo del grado de la muestra de ensayo, la carga será la siguiente:

Tabla 14

Gradación de las Especímenes de Prueba.

Gradación	Numero de Esferas	Masa de la Carga (g)	Numero de Revoluciones	Tiempo de Rotación (min)
A	12	5 000 ± 25	500	15
B	11	4 584 ± 25	500	15
C	8	3 330 ± 20	500	15
D	6	2 500 ± 15	500	15

Fuente: *Manual de ensayo de materiales – MTC.*

Tabla 15

Agregados de Tamaños Menores Abrasión los Ángeles (L.A.).

Masa de Tamaño Indicado, g		Masa de Tamaño Indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
7,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	--	--	--
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ± 25	--	--	--
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ± 10	1 250 ± 10	--	--
12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	1 250 ± 10	--	--
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (¼")	--	--	1 250 ± 10	--
6,3 mm (¼")	4,75 mm (N° 4)	--	--	1 250 ± 10	--
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	--	--	--	5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: *Manual de ensayo de materiales – MTC.*

La contradicción entre los pesos iniciales y finales para la prueba, se busca determinar el porcentaje de desgaste, siendo esta la forma de calcular:

$$\%desgaste = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} * 100$$

Dónde:

P inicial: Peso del espécimen seca antes de la prueba. *P final:* Peso del espécimen seca tras la prueba y el lavado a través del tamiz n° 12 de (1,7 mm).

Para la ejecución del procedimiento experimental se da referencia a las normas.

- MTC E207-1999, ASTM C-131, AASHTO T-96, ASTM C-535, NTP 400.019.

2.2.8. Efectos Climatológicos en Suelos.

Según él. Manual de carreteras: Suelos, 2014,"Se evaluará el impacto de las heladas sobre los suelos en zonas por encima de los 4.000 msnm. La cuenca del horizonte freático y la vulnerabilidad del suelo a las heladas están generalmente relacionadas con



la acción de las heladas y la vulnerabilidad. Si la profundidad del nivel freático es superior al indicado anteriormente (1.20 m), la acción de la congelación no afectará a la capa superior del suelo no llegará a la capa superior del subsuelo. Si hay suelos propensos a la congelación en la capa superior de la subrasante (los últimos 0,60 m), se sustituirán en el espesor comprometido o se elevará la rasante con un relleno granular adecuado hasta alcanzar el nivel requerido relleno granular adecuado que cumpla las normas necesarias. En general, no son susceptibles los suelos que tienen menos del 3% de su peso en partículas menores de 0,02 mm. No superior a 0,02 mm”. (pág. 1112)

Esto demuestra lo crucial que es tener en cuenta la congelación debida a las heladas en las zonas de gran altitud. Las heladas pueden darse en regiones de gran altitud, como las diversas provincias de la región de Puno, situadas en regiones que se encuentran a más de 4000 msnm.

2.2.8.1. Aspectos de la Congelación del Suelo.

El enfriamiento del terreno posee 3 aspectos primordiales:

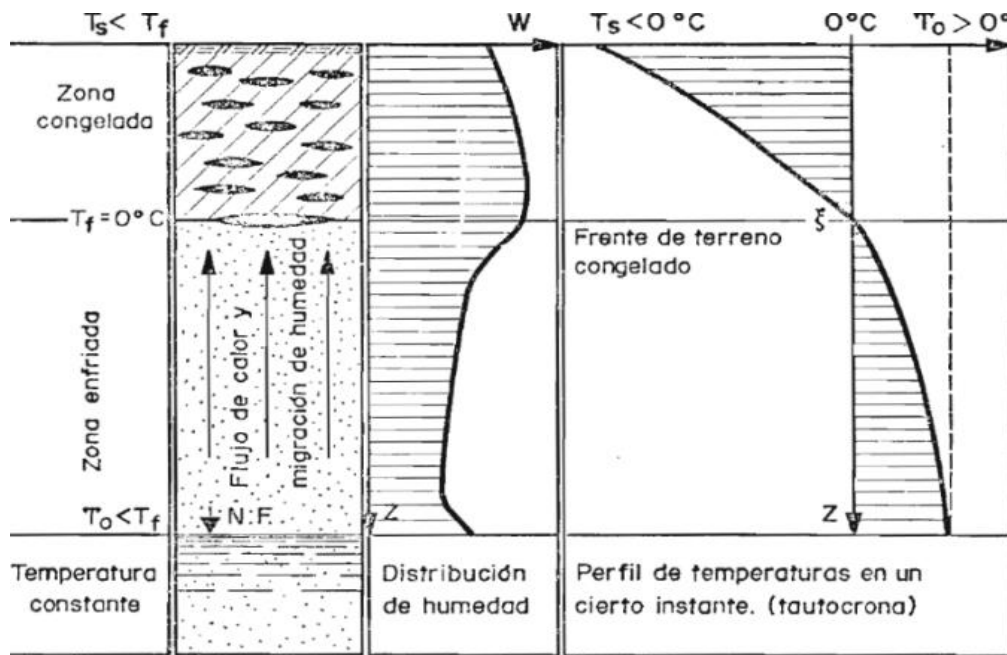
1. Congelación natural
2. Permafrost
3. Congelación artificial

“En los climas fríos, donde la temperatura ambiente es inferior a 0 °C durante largos periodos de tiempo, se produce una congelación natural se mantiene constantemente por debajo de 0° grados Celsius. La penetración del hielo es el proceso por el cual el agua subterránea se convierte en hielo a profundidades progresivamente mayores. El permafrost es un fenómeno que se produce en zonas extremadamente frías donde la T° media anual < 0°C. Sólo una fina capa del suelo está sujeta a ciclos de

congelación y descongelación que causan problemas similares a los mencionados anteriormente porque el suelo que hay debajo está permanentemente congelado (de ahí el nombre de "permafrost")", (Muzás Labad, 1979, pág. 13).

Figura 11

Enfriamiento Originaria del Suelo.



Fuente: Muzás Labad, 1979.

2.2.8.2. Acción de las Heladas en los Suelos.

Por lo tanto, es crucial comprender que los suelos son vulnerables a las heladas a pesar de que los efectos de las heladas son en realidad muy complejos algunas cosas son susceptibles de sufrirlas a la operación de las heladas suelen ser dificultosos. Para que el incremento provocado por la congelación del agua no congelada en los suelos de agua libre en los suelos, el ingeniero debe conocer las siguientes condiciones de la combinación:

- Contar con un suelo susceptible a las heladas.

- Existencia de una fuente de abastecimiento de agua, o sea; exceso de agua en el suelo.
- Contar con una lenta reducción en la temperatura del aire.

Tabla 16

Delicadeza de los Suelos a la Congelación.

Grupo	Descripción del Suelo
F1	Gravas con 3% a 20%, en peso de partículas menores que 0.02mm.
F2	Arenas con 3% a 15%, en peso de partículas menores que 0.02mm
F3	a). Gravas con más de 20%, en peso de partículas menores que 0.02mm, y arenas (excepto las finas limosas) con más de 15%, en peso de partículas menores que 0.02mm. b). Arcillas con índice plástico mayores de 12 mm con excepción de las finamente estratificadas.
F4	a). Todos los limos inorgánicos, incluyendo los arenosos. b). Las arenas finas limosas con más de 15%, en peso de partículas menores que 0.02mm. c). Arcillas con índice plástico de 12 %. d). Arcillas finamente estratificadas.

Fuente: *Supo Pacori, 2015*

2.2.8.3. Durabilidad

Es una característica que se depende de la resistencia al intemperismo, erosión, que transitan los vehículos, estos afectan directamente a la estructura del pavimento, contiguos que están en contacto con el vehículo, las alternativas de mejorar dependerá del tipo de suelo, para poder incorporar un agente químico.

2.2.7.4. Durabilidad de Suelo a Efecto Climatológico.

Prueba que mide la resistencia a la abrasión y la durabilidad de un agregado al someterlo a la acción de cargas. Se asume que no hay una norma directamente que referencie dicho ensayo de durabilidad suelo – cloruro de sodio, se ha tomado como referencia la prueba de suelo – Cemento, se asume que para realizar el ensayo de



durabilidad. Dicho ensayo se realizara en materiales puzolanicos como indica el manual de ensayo de materiales, (Cemento, Cal).

Por tanto, para cumplir la simulación sometido de una carretera a efectos climatológicos y a la acción de carga, se realiza la prueba de durabilidad por el método de humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas, para nuestro caso suelo – NaCl.

$$\text{Peso seco al horno corregido} = \frac{A}{B} \times 100$$

Dónde:

A: Peso secado al horno a 110°C. B: % de agua retenida en el prototipo + 100.

La humedad acumulada en el prototipo 2, enseguida secado 110°C, se asume como humedad acumulada del prototipo 1.

$$\text{Perdida de suelo cemento} = \frac{X}{Y} \times 100$$

Dónde:

X: Peso único secado al horno computado - peso terminable rectificado, secado al homo. Y: Peso único computado secado al horno.

Tabla 17*Criterios de Diseño para la Mezcla.*

Ensayo	Norma de Ensayo Inv.	SC-D	SC-R
Durabilidad			
Máxima pérdida de masa de la mezcla compactada en prueba de humedecimiento y secado, %			
- Suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A-3	E-612		14
- Suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A-5			10
- Suelos A-6; A-7			7
Resistencia			
Comportamiento de la resistencia con:			
- Incremento en el contenido	E-614		<i>Crece</i>
- Incremento en la edad			<i>Crece</i>
Resistencia a la compresión a 7 días, MPa			2.1,
- Mínima	E-614	(Nota 1)	(Nota
- Máxima		4.5	2) 4.5

Fuente: *Afirmados sub bases y bases, especificaciones inv. 350.5*

Acotación: *Nota 1. La resistencia mínima será la que se obtenga en la mezcla de diseño que cumpla con el criterio de durabilidad. Nota 2. Los documentos del proyecto pueden establecer un valor mayor de resistencia a la compresión a 7 días.*

Para la realización del procedimiento experimental se referencia a las normas de:

- MTC E1104, ASTM D-559, AASHTO T-135, INV. 350.5.

2.2.9. Estabilización de Suelos

“La estabilización de suelos es el proceso por el cual los suelos naturales se someten a una manipulación o tratamiento específico con el fin de aprovechar sus mejores cualidades, obteniendo un firme rígido o firme estable, que tenga las cualidades para soportar los efectos del tráfico y las condiciones meteorológicas más extremas. Se dice que los defectos se alteran para aumentar la resistencia del terreno o disminuir su maleabilidad (plasticidad)”. (Núñez, 2011, pág. 17).

2.2.9.1. Tipos y Usos de Estabilizaciones.

A. Estabilización física

Al provocar cambios físicos en el suelo, se utiliza para mejorar:

- *Mezcla de suelos*; Aunque este tipo de estabilización se utiliza con frecuencia, nunca funciona eficazmente por sí sola; como mínimo, siempre es necesaria la compactación como complemento. Se puede crear una sustancia estable mezclando adecuadamente dos tipos diferentes de suelo, utilizando la cohesión de uno y la alta fricción interna del otro para mantener unidas las partículas.
- *Geo textiles*.
- *Vibro flotación (mecánica de suelos)*.
- *Consolidación previa*.

B. Estabilización mecánica

Es el que mejora significativamente el suelo sin provocar reacciones químicas importantes.

- *Compactación*; Normalmente, se mejoran las capas de sub base, base y asfalto.
- *Compactación Dinámica*; la acción de dejar caer repetidamente un gran peso sobre el suelo durante periodos variables en el tiempo.

C. Estabilización química

Se refiere especialmente a la aplicación de unos pocos compuestos químicos patentados cuyo uso requiere la sustitución de iones metálicos y alteraciones en la composición química de los suelos implicados en el proceso. Los estabilizadores químicos más significativos para su uso en carreteras son los siguientes, así como otros estabilizadores:

- *Cal*; disminuye la plasticidad del suelo arcilloso y es muy rentable.
- *Cemento*; Se utiliza sobre todo para arenas finas o gravas y refuerza los suelos.



- *Asfalto*; es una emulsión popular para material triturado sin cohesión. es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- *Cloruro de sodio*; impermeabilizan y reducen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- *Cloruro de calcio*; restringen los polvos en el suelo, en arcillas y limos.

“Se emplea mediante la adición de determinados estabilizantes químicos; entre ellos se incluyen la sal, el cemento, la cal, el asfalto y el cemento portland, entre otros. Esta técnica de estabilización tiene por objeto provocar una interacción química entre el suelo y el estabilizador para modificar los rasgos y cualidades del suelo y aumentar su capacidad de adaptación a las exigencias de las cargas dinámicas a las que estará sometido”. (Ravines, 2010, pág. 34). Los estabilizadores químicos se dividen en tres categorías:

- Para proteger los granos del suelo de la intemperie o aumentar la resistencia cohesiva.
- Para crear un vínculo cementoso entre las partículas del suelo que fuera resistente y duradero.
- Para los suelos de la variedad de arcilla fina, producirán un cambio en la naturaleza del sistema agua-arcilla, que reducirá la flexibilidad, tal vez induzca cambios de volumen, conduzca a la producción de enlaces de cemento y, por último, aumente la resistencia. ” (pág. 15).

2.2.10. Estabilización con Cloruro de Sodio NaCl (sal).

“En el agua, los cristales de cloruro sódico (NaCl) son sustancias fáciles de obtener, rápidamente solubles e higroscópicas. Es posible reducir el punto de congelación del agua añadiendo cloruro sodio. La tensión superficial en soluciones con cloruro sodio disuelto es mayor que en agua destilada, y un 1% de sal aumenta la tensión superficial



entre 1 y 2 dinas por cm^2 . El cloruro sodio también reduce la presión de vapor del agua. La solubilidad de la sal afecta al modo en que la adición de NaCl altera el punto de congelación, la tensión superficial y la tensión de vapor del agua. Cuando el NaCl se introduce en el agua en pequeñas cantidades, se disuelve rápidamente; sin embargo, a medida que aumenta la cantidad añadida, se disuelve más lentamente, y llega un punto a partir del cual NaCl deja de ser soluble. Las partículas de arcilla tienen una doble capa de iones adsorbidos en su superficie, lo que permite que la energía potencial de la superficie disminuya hasta que, a una distancia determinada, tenga el mismo potencial que el líquido que la rodea. Con una composición aproximada de 98% de NaCl y 2% de arcillas y limos, la sal es un estabilizador natural cuya principal virtud es ser higroscópica, lo que le permite absorber la humedad del aire y de los materiales próximos, disminuyendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo”. (Feldman, 2005, pág. 34).

2.2.10.1. Cloruro de Sodio.

“Dado que el cloruro sodio es una molécula iónica formada por un anión cloruro (Cl^-) y un catión sodio (Na^+), puede reaccionar para producir cualquiera de estos dos iones. Al igual que cualquier otro cloruro iónico soluble. Es una sustancia con la fórmula química NaCl. Las sales presentan conductividad eléctrica en solución o fundidas, temperaturas de fusión relativamente altas y estructuras cristalinas en estado sólido como resultado de su enlace iónico. El cloruro sódico, un sólido incoloro, es soluble en agua fría y caliente y en alcohol, pero es insoluble en ácido clorhídrico concentrado. Tiene un brillo similar al hielo y es transparente en estado cristalino. Suele contener impurezas de cloruro de magnesio (MgCl_2), sulfato de magnesio (MgSO_4), sulfato de calcio (CaSO_4), cloruro de potasio (KCl) y bromuro de magnesio (MgBr_2)”. (Feldman S., 2005, pág. 46).

“La cultura china, que se remonta al siglo XXVII a.C., es una de las primeras en haber documentado el uso y la extracción de la sal. Para facilitar la comercialización de

la sal en diversas regiones de Europa bajo el Imperio Romano, se desarrollaron rutas particulares; por ejemplo, una ruta de transporte de sal conocida como la vía salaria se originó en Roma. Otros ejemplos son la Route du Sel en Francia o la Alte Salzstrasse en Alemania”. (Oñate, 2007, pág. 17).

Figura 12

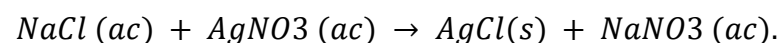
Organización del NaCl.



Fuente: *Estabilización y durabilidad de sub base usando la cantera de Challhua con adición de cloruro de sodio, Cochachin Mendoza, Royal Conan, 2018)*

2.2.10.2. Propiedades Físicas y Químicas del Cloruro de Sodio.

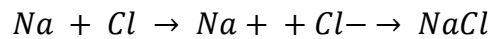
“Puede reaccionar para producir cualquiera de estos dos iones porque el cloruro de sodio es una molécula iónica formada por un catión sodio (Na⁺) y un anión cloruro (Cl⁻). Cuando se añade a una solución de una sal metálica apropiada, como el nitrato de plata, precipita cloruros insolubles, como cualquier otro cloruro iónico soluble:



Otro método para separar ambos componentes es mediante la electrólisis. La sal es un compuesto iónico formado por una combinación de iones de Cl⁻ y Na⁺, acomodados en una estructura cristalina con forma de sistema cúbico. El cloruro sódico



(NaCl) posee el mismo número de átomos de Cloro que de Sodio y el enlace químico que los une está clasificado como iónico existente entre los iones: un catión de sodio (Na⁺) y un anión de cloro (Cl⁻) de tal forma que la fórmula empírica NaCl se compone de la siguiente forma”: (Feldman S., 2005, pág. 56) :



“El cloro elemental constituye alrededor del 60,66% del peso de la sal pura, mientras que el sodio representa alrededor del 39,34% (aunque a veces se parece más al 60-40). La solubilidad de la sal a 0 °C es de 35,7 g/100 ml, que es una de sus características físicas. Sin embargo, la solubilidad final de la sal varía en función del tamaño de sus cristales. Constituye el 3% de la mayor parte del agua oceánica y puede encontrarse diluida en cantidades de hasta 30 g/L de agua. Además, se encuentra en cantidades que oscilan entre el 0,002% y el 30% en ríos, lagos y mares interiores.” (Feldman, 2005, pág. 56).

“Además, sobre todo en regiones muy áridas, aparecen capas en el fondo de lagos secos y en pantanos. El mineral halita, también conocido como sal gema, se encuentra en los lechos de ríos y lagos, y fue abandonado cuando las antiguas masas de agua salada se secaron. Los ríos y arroyos que actúan sobre rocas que contienen cloruros y compuestos de sodio producen sal constantemente. La forma más sencilla de obtener sal en las zonas costeras es evaporar el agua salada, pero este método es caro. La mayoría de las veces se extrae de yacimientos subterráneos mediante métodos mineros o a través de pozos perforados en dichos yacimientos”. (Cochachin, 2018, pág. 15).

2.2.10.3. Propiedades del Cloruro de Sodio. (Roldán de Paz, 2010)

- Seudónimo del productivo: CLORURO DE SODIO, Semejantes: sal de mesa, halita, sal de mar
- Peso atómico: 58.44



- Rama química: haluros, sal inorgánica, Proceder: NaCl

Identificadores:

- Signo CAS: 7647-14-5, Signo RTECS: VZ4725000

Propiedades físicas:

- Etapa de incorporación: sólido
- Aspecto: 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 desintegración: 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% NaCl.

Riesgo

- Salud: leve, Inflamabilidad: ninguna, Reactividad: ninguna

Según MTC 2013, “en el manual de carreteras, sección suelos y pavimentos también La sal se utiliza sobre todo para controlar el polvo en las bases y superficies de apoyo cuando hay poco tráfico. Además, se utiliza en regiones extremadamente áridas para evitar que el agua de compactación se evapore rápidamente. La principal característica de la sal, que es higroscópica y tiene una composición de aproximadamente un 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, es absorber la humedad del aire y de los materiales circundantes, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Debido al intercambio iónico entre el sodio y los componentes minerales de la

matriz fina de los materiales, que se traduce en una acción cementante, su poder coagulante se traduce en un menor esfuerzo mecánico para producir la densificación adecuada.

El NaCl se presenta en forma de cristales higroscópicos fácilmente solubles en agua. Estos cristales pueden encontrarse en el mercado como cristales enormes, polvo fino o cristales de pureza variable. Según la MTC (cloruro de sodio), entre las propiedades habituales de la sal se encuentran:

Tabla 18

Características del 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% máx.

Fuente: *Sección: Suelos y Pavimentos, MTC, 2013)*

2.2.10.4. Comportamiento de los suelos estabilizados con NaCl.

“Hay autores que han estudiado el efecto del cloruro de sodio sobre las propiedades del suelo, principalmente sobre las propiedades físicas, y entre las principales observaciones se pueden mencionar las siguientes. Esto indica que son escasas las investigaciones sobre el tema de la estabilización de suelos con cloruro de sodio que presenten detalles del comportamiento tensión-deformación” (Rivera, 2010, pág. 45).

- 1) El cloruro de sodio aumenta la resistencia a la compresión y el peso volumétrico en seco.
- 2) Se añade cloruro de sodio para reducir el límite líquido y el índice plástico.



- 3) En los casos en que está prohibida la pérdida de humedad, la adición de cloruro salino parece reducir la cohesión y el ángulo de fricción interna. Antes de evaluar las probetas, se deja secar y tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna aumentan considerablemente.
- 4) Los fragmentos de roca caliza parecen disolverse en soluciones de cloruro de sodio.
- 5) Los suelos tratados con cloruro de sodio tienen una mayor capacidad para almacenar humedad.
- 6) Aumenta considerablemente la tensión superficial del agua, lo que puede suponer un aumento del 15% de la densidad del suelo con respecto al suelo no tratado una vez endurecido.
- 7) Las partículas del suelo se adhieren permanentemente a su superficie mediante cristalización en condiciones secas. A medida que estos cristales crecen, su expansión rellena los huecos del suelo, lo que retrasa el secado posterior.

Según una exploración de estudios, no todos los suelos responden bien a la adición de NaCl para mejorar sus características mecánicas y físicas.

2.2.10.5. Cambios en el peso volumétrico con la adición de sal.

“Afirma que el cambio en el peso volumétrico de un material causado por la adición de sal se ha debatido ampliamente en relación con la estabilización de suelos mediante cloruro sódico. Mientras que algunos investigadores afirman que se produce un ligero aumento, otros no están de acuerdo con esa noción. Es bien sabido que la adición de cloruro sódico provoca un descenso del nivel de humedad ideal. Aunque en general se admite que el cloruro sódico hace que los suelos tengan una estructura más dispersa, lo que provoca una aproximación entre las partículas y un peso volumétrico más elevado, este requisito no se ha confirmado en todos los ejemplos examinados”. (Villa, 2015, pág. 56).



2.2.10.6. Formas de aplicar el cloruro de sodio a los suelos.

Bañon y Bevia (2010), “Los suelos que se van a emplear como bases y sub-bases, según los autores, tienen algunas cualidades que mejoran mediante la estabilización con cloruro de sodio. Como ocurre con la mayoría de las técnicas de estabilización, el NaCl puede pulverizarse directamente en el suelo que se desea estabilizar y determinar la proporción porcentual adecuada. En grano y en salmuera son dos formas de aplicación del NaCl”.

En Grano:

El suelo se homogeneiza uniformemente con esta técnica, que consiste en añadir una cierta cantidad de NaCl directamente al suelo. Dado que algunas zonas del suelo siguen teniendo un porcentaje de NaCl inferior al de otras zonas después de haber utilizado el NaCl para homogeneizar el suelo, este método de aplicación no es del todo eficaz.

Los enfoques prácticos pueden homogeneizar fácilmente la mezcla de suelo y el NaCl sin necesidad de realizar pruebas de laboratorio, garantizando que el NaCl está presente en toda la muestra de suelo.

En salmuera:

Una única propiedad clave del NaCl es su facilidad para disolverse en agua, lo que facilita la aplicación satisfactoria del porcentaje necesario al suelo. Es más sencillo aplicar y homogeneizar el cloruro sódico en el suelo cuando se ha diluido en agua. La salmuera se produce utilizando esta técnica de dilución en agua y se aplica al suelo de forma regulada.

2.2.10.7. Proceso de explotación / extracción.

Charles F., (1981), “Se trata de un depósito evaporítico de aproximadamente 6 km² de área. Al parecer, la sal proviene de un domo salino que se encuentra instruyendo



a las areniscas de la Formación Huancané. La explotación se realiza de manera artesanal y discontinua (por temporadas). Se explota durante los meses de verano. La extracción de la sal se realiza a mediados de julio, agosto a octubre de cada año. Los mismos pobladores de la zona extraen la sal desde hace varios años atrás, por ello las salinas se encuentran en parcelas de (15 m x 5 m de área). El proceso de evaporación de la laguna demora aproximadamente 20 días. Entre otras formas de explotación tenemos la construcción de pozas de cuencas de sedimentación y ahí a proceder el recojo del mineral (halita). El yacimiento de San Juan de Salinas es netamente superficial open pit (cielo abierto)". (pág. 113)

2.2.10.8. Usos del NaCl.

Charles F., (1981), La sal tiene más de trece mil aplicaciones y usos en diferentes campos, los cuales se encuentran en relación directa al tipo de sal y a sus características físico-químicas. Pág. 32. Entre las principales se tiene las siguientes:

Estabilización; (Suelos carreteras (salmuera, a granel), Anti congelamiento de vías)

Consumo humano; (Industrial química (ácido clorhídrico, cloro, lejía), Deshielo de carreteras, Alimento de ganado, Para fabricar cerveza.)

Sal en la medicina;(Fabricación de medicamentos, Conservación de alimentos y refrigerantes, Quita la mancha y otros usos)

Sal en la agricultura; (Fertilizantes herbicidas, Insecticidas, Corrector de tierra y vegetales alimento para ganado).

2.2.10.9 Comercializaciones.

La sal es una de las sustancias más comunes en el planeta Tierra, y es vital para la civilización moderna como ha sido a través de la historia. Es un componente fundamental para los seres vivos, ya que es un nutriente esencial para los humanos, animales y plantas.



La sal después de un correcto tratamiento y contar con el estándar de calidad procede a ser vendido.

2.2.11. Niveles de Servicio.

“Son medidas que categorizan y definen el estado de una carretera, suelen utilizarse como límites superiores dentro de los cuales pueden cambiar el firme, la funcionalidad, la integridad estructural y el estado de seguridad de una carretera. Dentro de un marco básico de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía), los indicadores son particulares de cada carretera y cambian en función de consideraciones técnicas y económicas. También dependen de la rentabilidad de los recursos disponibles”. (MTC- conservación vial-2014, pág. 39).

“La metodología creada por el TRB define cuatro niveles de servicio (A, B, C y D) que permiten condiciones de funcionamiento superior a las mencionadas. El nivel E describe una carretera que funciona a plena capacidad, mientras que el nivel F describe una vía que experimenta un flujo forzado. La teoría de Capacidad de Carreteras desarrollada por el Transportation Research Board (TRB), a través del Comité de Capacidad de Carreteras y Calidad del Servicio de los Estados Unidos, Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual – HCM vigente), las siguientes son las principales características operativas asociadas a cada nivel”. (MTC, DG-2018, pág. 120,121):

Nivel A: cumple los requisitos de la libre circulación de vehículos. La geometría de la carretera y las decisiones del conductor son los únicos factores que determinan las maniobras de conducción; los demás vehículos no influyen. En este nivel de servicio, el conductor disfruta de comodidad física y mental.



Nivel B: Indica que el tráfico circula libremente, mientras que la presencia de vehículos más lentos puede repercutir en los más rápidos. Aunque los conductores tienen menos espacio para moverse, la velocidad media de circulación es la misma al nivel A.

Nivel C: En este nivel, el ajuste de la velocidad viene determinado por el impacto de la densidad de tráfico en la circulación de vehículos. La presencia de grupos de coches restringe la movilidad y las posibilidades de adelantamiento. (80km/H)

Nivel D: Debido a la congestión del tráfico, que puede provocar su paralización, la capacidad de maniobra se ve gravemente limitada. Debido al aumento de la densidad de vehículos, se forman colas que dificultan el adelantamiento de otros vehículos, lo que ralentiza el tráfico.

Nivel E: La cantidad de tráfico en la carretera está casi en su máxima intensidad. Al conducir, los coches se mantienen lo más juntos posible manteniendo una velocidad constante. Causan colas inmediatas y frecuentemente, hasta llegar al nivel F, (con varios carriles 70 y 100km/h).

Nivel F: Cuando la intensidad del tráfico motorizado (demanda) supera la capacidad de la vía, el flujo se vuelve forzado y extremadamente atestado. Cabe señalar que el nivel F se utiliza para describir las circunstancias de funcionamiento dentro de la cola de vehículos, así como el punto de colapso.

La aplicación de la sal, según la división de suelos y pavimentos del MTC, es reducir el polvo en las bases y firmes de las carreteras poco transitadas (de bajo volumen a tercera clase). según el manual HCM 2016, se establece el nivel de servicio de *nivel B*, y con una *velocidad de operación de 83km/h*, de la vía en estudio de desvío San Juan de Salinas hacia el distrito de Arapa, debido que en partes de la vía no se puede transitar libremente y rebasar, además se considera la inspección visual de la vía, para comprobar el nivel de las fallas estructurales (fisuras, ahuellamiento, parches o reparaciones),



superficiales (peladura o desprendimiento, baches o huecos, exudación), siendo una vía de *condición regular*, y necesita una *conservación periódica*. MTC, manual de conservación vial 2018

2.2.12. Pavimentos.

“Desarrollado técnicamente y construido con los materiales adecuados debidamente compactados, un pavimento se compone de varias capas superpuestas horizontalmente. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la subrasante de una carretera realizada mediante movimientos de tierras durante el proceso de exploración. Estas capas deben ser capaces de soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas repetidas del tráfico a lo largo de la vida útil prevista de la estructura del firme.”(Fonseca, 2006, pág. 23)

2.2.12.1. Características que Debe Tener un Pavimento.

- Sea decidido en su resistencia contra las cargas del tráfico.
- Debe ser fuerte, asequible y resistente a la intemperie.
- Tener una rugosidad superficial adecuada a las velocidades previstas de los vehículos, ya que esto influye mucho en la seguridad vial. También debe ser resistente al desgaste provocado por la acción abrasiva de la banda de rodadura de los neumáticos.
- Debe presentar una regularidad superficial transversal y longitudinal que permita una comodidad de uso adecuada en relación con las duraciones de onda de la deformación y el ritmo de circulación.
- Describir las condiciones adecuadas que favorezcan el drenaje.
- El ruido de rodadura debe regularse adecuadamente tanto en el interior del vehículo, donde afecta al usuario, como en el exterior, donde influye en el medio ambiente.



- Para evitar reflejos y deslumbramientos y garantizar una seguridad óptima del tráfico, debe ser del color adecuado.

2.2.12.2. Clasificación de los Pavimentos.

“Los pavimentos de nuestro entorno se dividen en cuatro categorías: pavimentos flexibles (Convencionales, Profundidad total (full Depth)), pavimentos rígidos (Simple o monolítico, Simple con dovelas o barras de transferencia, Con refuerzo continuo sin función estructural, Con refuerzo estructural, Pre esforzado), pavimentos semirrígidos o semiflexibles (Adoquinados, Emboquillados), y pavimentos articulados (Pavimento flexible con refuerzo de pavimento rígido, Pavimento rígido con refuerzo de pavimento flexible), firmes afirmados, futas no pavimentadas”. (Menéndez, 2009, pág. 13).

2.2.13. Pavimentos Flexibles.

“La base y la sub base, dos capas no rígidas, soportan la capa bituminosa que compone este tipo de pavimento. En función de los requisitos específicos de cada proyecto, puede omitirse cualquiera de estas capas”. (Menéndez, 2009, pág. 13).

2.2.12.1. Funciones de las Capas de un Pavimento Flexible.

1. De la sub base granular.

Finalidad Económica. Uno de los principales propósitos de esta capa es puramente económico. Se pueden utilizar materiales de alta calidad para construir el espesor total necesario para que el nivel de esfuerzo de la subrasante sea igual o inferior a su propia resistencia, pero es preferible distribuir las mejores capas en la parte superior y colocar las peores, que suelen ser las más baratas, en la parte inferior del pavimento. El espesor total del pavimento puede aumentar como resultado de este método, pero seguiría siendo más rentable.

Capa intermedia. Una sub base bien diseñada evita la infiltración de los elementos constitutivos de la base con los de la subrasante y, por otro lado, sirve de filtro



para evitar que la calidad de la base se vea comprometida y contaminada por las partículas de la subrasante.

Disminución de las deformaciones. La capa de sub base tiene la capacidad de absorber algunos cambios volumétricos de la capa de subrasante que suelen producirse por variaciones en su contenido de agua (dilataciones) o cambios bruscos de temperatura (heladas), impidiendo el reflejo de estas deformaciones en la superficie de apoyo.

Resistencia. La sub base debe ser capaz de soportar las tensiones causadas por las cargas de los vehículos a medida que atraviesan las capas superiores y se transmiten a la subrasante a un nivel adecuado.

Drenaje. En muchos casos, la sub base debe inhibir el ascenso capilar y drenar el agua que penetra a través del ligante o las bermas.

2. De La Base Granular.

Resistencia. Es el componente encargado de distribuir las tensiones efectuadas por el tráfico en la carpeta de rodadura, transfiriendo hacia las capas de sub base, subrasante.

Finalidad económica. Tiene una relación directa con la carpeta de rodadura, semejante a la sub base en reciprocidad a la base.

3. De la Carpeta

Zona de tránsito (superficie de rodadura). Deberá soportar los desgastes a los impactos realizados por el tránsito, siendo esta con una superficie uniforme, sólida, con las propiedades de textura y color especificado, para garantizar la transitabilidad de los vehículos.

Impermeabilidad. Impedir en lo posible la infiltración de agua en el pavimento.

Resistencia. Su resistencia a la tracción incrementa en la estructural del firme.



2.2.14. Pavimentos Rígidos.

“Estas sub bases de pavimentos rígidos son las que consisten esencialmente en una losa de hormigón hidráulico apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material predeterminado. La dispersión de las tensiones se produce sobre una región considerable como resultado de la elevada rigidez y el alto coeficiente de elasticidad del hormigón hidráulico”. (Menéndez, 2009, pág. 13).

2.2.14.1. Funciones de las Capas de un Pavimento Rígido.

1. De la Sub base.

- El objetivo principal es detener el bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Cuando el agua se infiltra en la estructura del pavimento a través de las juntas de las losas, se produce el bombeo, que es el flujo de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento. La suciedad fina de la subrasante es licuada por el agua que se filtra por las juntas, lo que facilita su evacuación a la superficie bajo la presión de las cargas que se desplazan por las losas.
- Actúan como capa de transición y proporcionan al pavimento un soporte homogéneo, estable y duradero.
- Promover proyectos de pavimentación. Mejorar el drenaje para reducir la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Disminuir el impacto superficial de dichos cambios volumétricos en el pavimento y ayudar a controlar los cambios volumétricos en la subrasante.
- Aumentar parcialmente la capacidad portante del suelo de la subrasante.

2. Losa de concreto.

“Además de la función estructural de soportar y transmitir adecuadamente las cargas que recaen sobre ella, las funciones de la losa en los firmes rígidos son idénticas a las del ligante en los firmes flexibles”. (Gutiérrez, 2010, pág. 20).



2.2.15. Sub base Granular.

“Capa de materiales pétreos con las siguientes finalidades principales: proporcionar un soporte uniforme a la base de una capa asfáltica o de una losa de hormigón hidráulico, soportar las cargas transmitidas por éstas, reducir las tensiones inducidas y distribuir las adecuadamente a la capa inmediatamente inferior; otra característica es que impide la migración de finos a las capas superiores”. (Gutiérrez 2010, pág. 21)

2.2.15.1. Funciones de la Sub base Granular.

“La capa de subbase también afecta a la economía del proyecto porque puede convertir un determinado espesor de material de base en un espesor equivalente de material de subbase, ahorrando dinero. Sin embargo, esta capa no siempre se tiene en cuenta en los diseños de pavimentos flexibles; más bien, sólo se tiene en cuenta en aquellos cuya estructura es sustancial debido a la importancia del proyecto. La capa Sub Base también impide que el agua de las terracerías (volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre) ascienda por capilaridad y evita que el pavimento sea absorbido por la Sub Rasante. También deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías” (Mendoza & Guadarrama, 2008, pág. 38).

Tabla 19

Enunciación de Sub Base para Firme.

Tipo de Sub base	Sub base para Pavimento Flexible	Sub base para Pavimento Rígido
Definición	Se utiliza para describir la capa de materiales elegidos que se encuentra entre la sub base y la subrasante.	Capa comprendida entre la losa de concreto hidráulico y la subrasante.
Función	<ul style="list-style-type: none">• Transmitir de forma adecuada a la subrasante los esfuerzos que la base recibe del tránsito.• Formar una capa de transición entre los materiales finos de la subrasante y los gruesos de la base, evitando la contaminación e interpenetración de ellos.• Ayuda a minimizar las consecuencias negativas de los cambios volumétricos en el subsuelo.• Contribuir al drenaje de la estructura.• Reducir los costos.	<ul style="list-style-type: none">• Prevenir el fenómeno de bombeo, que es la fluencia del material fino que contiene agua causada por la infiltración de la junta de la losa.• Proporcionar a las losas una superficie de apoyo consistente.• Cree una superficie por la que pueda circular la maquinaria de construcción.• Disminuir el impacto negativo de los cambios volumétricos de la subrasante.

Fuente: (Montejo, 1998)

2.2.15.2. Características Mecánicas de la Sub base.

1. Materiales de la sub base

“De acuerdo con esto, se suelen utilizar materiales con granulometría muy estudiada, contenido ajustado de finos y gravas resistentes para evitar su degradación con el paso del tiempo debido a las funciones y características de la sub base. Pueden emplearse en situaciones que requieran mayores exigencias mecánicas y son más rentables que las gravas artificiales fabricadas a partir de rocas trituradas. Con frecuencia se han empleado capas de sub base compuestas por materiales estabilizados con ligantes o conglomerados por diversas razones (tráfico, clima, calidad del material)”. (Valero, 1963).

1. Agregados.

Para la sub base, los áridos deben estar comprendidos dentro de la siguiente gama granulométrica:

Tabla 20

Requerimiento Granulométrico para Sub Base Granular.

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N°4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N°10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N°40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N°200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: *Especificaciones generales para construcción de carreteras EG-2013, MTC.*

Acotación: (1) *En lugares con una altura de 3000 m.s.n.m. o superior, debe utilizarse la curva de clasificación "A".*

Tabla 21

Exigencia de Pruebas Específicos para Sub Base.

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	E 207	C 131	T 96	50% máx.	50% máx.
CBR (1)	E 132	D 1883	T 193	40% min.	40% min
Limite Líquido	E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Sales Solubles	E 219	.-	.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	.-	D 4791	.-	20% máx.	20% máx.

Fuente: *Especificaciones generales para construcción de carreteras EG-2013, MTC.*

Acotación: (1) *Perteneciente a una penetración de carga de 0,1" (2,5 mm) y al 100% de la densidad máxima en seco. (2) Espesor/longitud debe dividirse por tres para llegar a la determinación.*

CAPÍTULO III

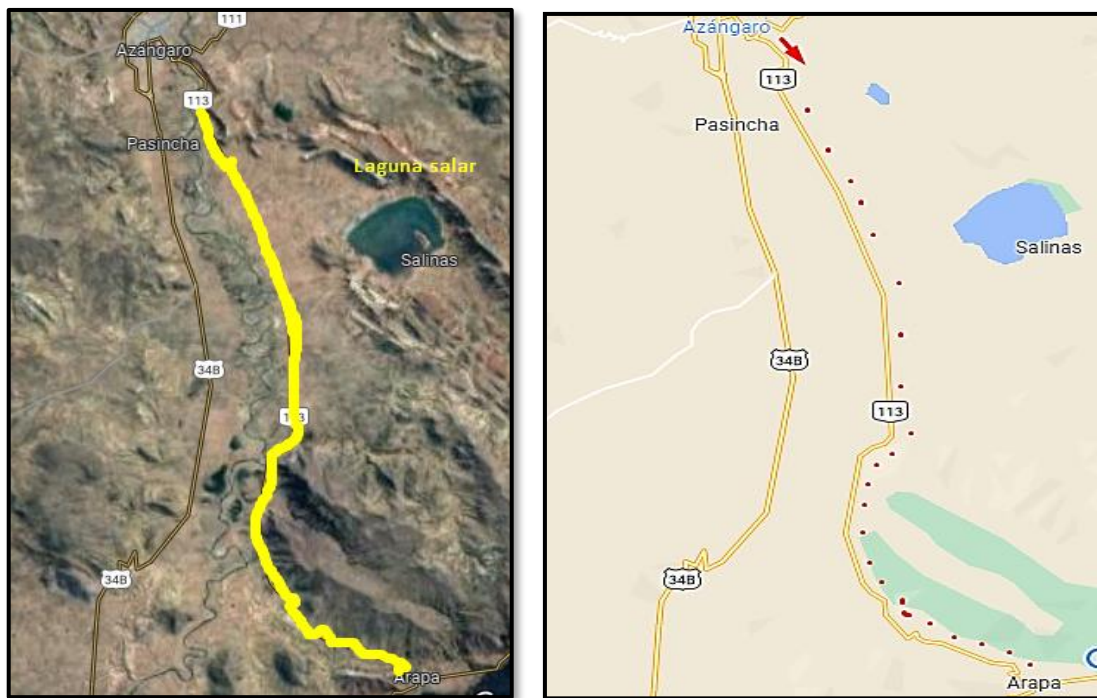
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.

La exploración, es la ruta de desvío del Dist. San Juan de Salinas hacia el Dist de Arapa de la Prov. Azángaro, Dpto. Puno, coordenadas UTM 14°58'18.5"S, 70°09'53.1"W, elevación 3839 msnm ruta PU 113. Tiempo 35°C, viento del SSE a 10-15km/h y humedad 51%.

Figura 13

Ubicación del área de Estudio.



Fuente: *Imágenes tomados de google eart comparado con google maps.*



3.2. PERIODO DE DURACIÓN DE ESTUDIO.

A partir del 2022, el calendario de la investigación incluirá cuatro meses para la creación y aprobación de perfiles, nueve meses para el estudio de los orígenes de material de la cantera de Pampagrande y tiempo adicional para los preparativos finales.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL.

Los componentes a usar en el presente estudio: suelo natural y cloruro de sodio, por consiguiente componer de las mismas en diferentes proporciones.

3.3.1. Cloruro de Sodio (NaCl)

Dado que la sal se produce en grandes cantidades en nuestra región, es esencial que cualquier laguna salar garantice la calidad y el volumen necesarios para la estabilización de un tramo o carretera concretos.

3.3.1.1. Ubicación y Acceso.

1. Ubicación.

El yacimiento de San Juan de Salinas está situado en la porción noreste, referenciado en la zona del Dpto. de Puno, Prov. de Azángaro, Dist. San Juan de Salinas, a una altura de 3972 msnm y con coordenadas UTM.:

ESTE (X): 381111.32

NORTE (Y). 8342349.87

COTA (Z): 3972 m.

Figura 14

Ubicación de la Laguna Salar de San Juan de Salinas.



Fuente: *Imagen capturado de google maps.*

2. Acceso:

La ruta vital para llegar al yacimiento es por la ciudad de Azángaro, por la ruta:

- Azángaro –San Juan de Salinas: carretera asfaltada de 14 km. Las propiedades geográficas que presenta la zona del yacimiento de la laguna salar de san juan de salinas, con un relieve moderado, semi-accidentado de flancos suaves, característico del Altiplano.

Figura 15

Laguna Salar de San Juan de Salinas – Prov. Azángaro.



Figura 16

Adquisición del Cloruro de Sodio a una de las Familias.



Por tanto en la figura 15 y 16, se ha trasladado hasta la laguna salar de San Juan de Salinas para su respectiva adquisición, en tanto se compró una cantidad de 10k, para nuestra investigación.

3.3.1.2. Familias Extractoras de Sal.

Existen varias familias especializadas en la extracción de NaCl (sal) en el Dpto. de Puno, Prov. de Azángaro y Dist. San Juan de Salinas. (Alejo, Apaza, 2018, pág. 10)

Figura 17

Pozas de las Familias Extractoras de la Laguna Salar - San Juan de Salinas.



Las familias mineras proceden de varias comunidades del distrito de San Juan de Salinas: donde se ve en la tabla 22, que se detalla, que de un total de 195 de las familias, que más extraen son de la comunidad de Huayllani y la comunidad de población Salinas con un porcentaje de 13.8% del total de las familias en cada una de las comunidades mencionadas; y los que menos extraen con un porcentaje de población de 3.1% se encuentran en las comunidades de Asillo, Pampagrande, Kalla, Milluni, Tercer Jilahuata, Velasco y finalmente con un porcentaje de 1.5% de los que extraen la comunidad de San Antonio de Acopata.

Tabla 22

Extracción del NaCl (sal) de las Comunidades de la Laguna Salar.

Comunidad	N° de Familias	Porcentaje (%)	Porcentaje Acumulado
Huayllani	27	13.8	13.8
Población Salinas	27	13.8	27.6
Primer Orurillo	24	12.3	39.9
Rancho Chico	18	9.2	49.1
Nueva Esperanza	12	6.2	55.3
Pucara	12	6.2	61.5
San Fernando	12	6.2	67.7
Yuracchupa	12	6.2	73.9
Alto Orurillo	9	4.6	78.5
Tercer sahuacasi	9	4.6	83.1
Asillo Pampagrande	6	3.1	86.2
Kalla	6	3.1	89.3
Milluni	6	3.1	92.4
Tercer Jilahuata	6	3.1	95.5
Velasco	6	3.1	98.6
San Antonio de Acopata	3	1.5	100
TOTAL	195	100.0	

Fuente: *Importancia Económica del Yacimiento San Juan de Salinas – Azángaro, (Jimmy Antony Alejo, Julián Apaza Chino, Puno-Perú 2018)*

a. Herramientas que se utiliza para la extracción de sal

- Lampas para el barrido de la sal.
- Tablas de madera para el soporte de los zapatos y tablas de 40cm de ancho y 4 metros

b. Para poder desplazarse encima del lago y para el tapado.

- Carretillas para el transporte de la sal y mantas de rafia.
- Picos para remover tierra para el tapado.

c. Etapas de la extracción de la sal.

- Primera etapa: es la construcción de la chaca.
- Segunda etapa: el barrido de sal formando una línea vertical.
- Tercera etapa: arreglo de la chanca (listo para el sacado).



3.3.1.3. Cantidad Extraída de la Sal.

Del resultado que se muestra en la tabla 23; se visualiza que el 29.2% de las familias extraen de 200 sacos a 599 sacos, el 36.9% extraen la cantidad de 600 sacos a 999 sacos, el 20% extraen en cantidad de 1000 sacos a 1399 sacos; no todos consiguen extraer en grandes cantidades como el 6.2% lograron extraer de 1400 sacos a 1799 sacos y concluyendo que el 7.7% extraen 1800 sacos a 2000 sacos. En consecuencia la media extraen 837.7 sacos por familia, cada familia aproximado en 163.34 toneladas por año.

Tabla 23

Extracción de Sal Aproximado al Año en la Laguna Salar de San Juan de Salinas

N° en Cantidad de Sacos	N° de Familias	Porcentaje (%)	Porcentaje Acumulado
200-599 (399.5)	57	29.2	29.2
600-999 (799.5)	72	36.9	66.2
1000-1399 (1199,5)	39	20.0	86.2
1400-1799(1599.5)	12	6.2	92.3
1800-2200 (2000)	15	7.7	100.0
TOTAL	195	100.0	
TOTAL EXTRACCIÓN DE LA SAL (ton/año)		163.34	

Fuente: *Importancia Económica del Yacimiento San Juan de Salinas – Azángaro, (Jimmy Antony Alejo, Julián Apaza Chino, Puno-Perú 2018)*

3.3.1.4. Análisis de las Características del cloruro de sodio.

Para el análisis físico – químico del NaCl, se ha extraído un espécimen de 1 K aproximadamente, como muestra representativa el cual se realizó en el laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad del Altiplano Nacional en Puno. Los resultados son los siguientes:

Tabla 24

Resultados del Espécimen de NaCl de la Laguna Salar San Juan de salinas.

Parámetros Físico Químicos	Unidad	Resultados	Métodos
Potencial de Hidrogeno	pH	8.99	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica	mS/cm	7.25	Potenciómetro
iones de cloruro de sodio	%	95.78	NTP 339.177(2002)- AASHTO T290
iones de sulfatos	%	0.30	NTP 339.178(2002)- AASHTO T290
Materia insoluble	%	16.22	Colorimetría
Humedad	%	2.79	Secadora
iones de calcio	%	89.73	Método volumétrico
iones de calcio	%	89.73	Método volumétrico
iones de magnesio	%	0.11	Método volumétrico
Tamiz 4.75 mm (N° 4)	%	28.01	-----
Tamiz 1.18 mm (N° 16)	%	68.07	-----
% PasaTamiz 1.18 mm (N° 16)	%	10.05	-----

Fuente: *Laboratorio de la Faculta de Ingeniería Química- UNA Puno.*

3.3.1.5. Mejorías y decadencias del Cloruro de Sodio.

Ventajas.

1. El NaCl (sal común) ofrece muchas ventajas sobre otros elementos estabilizadores debido a su amplia disponibilidad, bajo costo y sencillez de uso.
2. Incrementa la cohesión y la resistencia, ocupando espacio en la maquinaria de carretera convencional.
3. Según la sugerencia del laboratorio de carreteras, debe curar durante 15 días a temperatura ambiente (dependiendo del clima) para determinar si mejora la resistencia del suelo y si actúa mejor con el tiempo.
4. No se interrumpirá el tráfico ni durante la realización de los trabajos ni durante el curado de los mismos.
5. Ausencia de ahuellamiento, material suelto, polvo y calaminadas en la carretera, lo que mejora la calidad de vida.
6. Bajo punto de congelación.



7. Carreteras suaves con un tráfico más seguro y mejor visibilidad.
8. Las carreteras tratadas con sal requieren poco mantenimiento y su reparación es sencilla y barata.
9. debido a la textura más firme de la superficie del aglomerante salado, se produce una disminución significativa del ruido en el exterior del coche.
10. El NaCl mejora la resistencia a la tracción y a la compresión de la carretera aumentando su densidad, lo que permite aplicar asfalto u otras formas de pavimento sobre ella.
11. En la construcción de carreteras con NaCl, no hay daños para la salud humana, aunque las carreteras tratadas con sal muestran una disminución del 99% de las partículas finas en suspensión (polvo).

Desventajas.

1. El uso de sal provoca problemas de oxidación en los vehículos.
2. Las superficies se vuelven resbaladizas cuando hay mucha humedad, sobre todo si tienen algún grado de flexibilidad, lo que aumenta la posibilidad de accidente.
3. El fallo, o una capa de desgaste, calaminadas, huecos y desigual, puede deberse a una selección incorrecta del material y a una escasa homogeneidad de la mezcla
4. Después del proceso de estabilización, los conductores que circulen por carreteras tratadas con sal deben tener precaución. Aunque la carretera se puede utilizar inmediatamente después de que se haya compactado el ligante, se debe tomar la precaución de evitar las malas maniobras, que se puedan producir derrapes durante el periodo de endurecimiento de 10 a 15 días.
5. Deben realizarse comprobaciones periódicas del sistema de drenaje utilizado, especialmente después de precipitaciones o lluvias importantes. En este tipo de



solución, hay que tener cuidado para evitar cortes en la calzada provocados por el paso del agua y que rompan su continuidad.

En cantidades elevadas, el NaCl tiene una influencia en el medio ambiente que habla de daños en el suelo, la flora, las aguas superficiales y el agua potable. Las carreteras tratadas con sal pueden tener un impacto sustancial en el ecosistema

3.3.1.6. Aplicación de Cloruro de Sodio.

Se pueden aplicar productos estabilizadores a cualquier tipo de firme, aunque se prefieren los que tienen material granular de cantera y un grosor mínimo de 15 cm. La estabilización requiere el equipo estándar de construcción de carreteras, como una motoniveladora, un vibro-compactador y un camión cisterna. La utilización de una fresadora o recicladora agilizará el proceso y producirá resultados aún mejores.

3.3.1.6.1. Preparación.

Se escarificara el área de la vía trazada, con maquinaria pertinente luego se procede el traslado de material necesario como lastre, NaCl, agua, para poder ser extendido con una maquinaria estabilizadora, el volumen necesario para una cierta área de conformación que se requiera la mezcla.

3.3.1.6.2. Mezclado.

El NaCl, se incorporara para una mezcla homogénea con equipo mecánico o automático. Sea por granular o salmuera, inmediatamente se procede a ser mezclado con suelo (motoniveladora, arados de rastra/discos), luego se agrega agua requerido, se realiza mediante camión tanque, para un riego uniforme, evitando formar charcos en la superficie, hasta lograr una mezcla uniforme.

3.3.1.6.3. Compactación.

Homogenizada la mezcla de suelo + H₂O + NaCl. Se empieza a extender y se nivela. Luego se compactara (vibro-compactado), cuidando las especificaciones de



bombeo, desniveles indicados, todo el proceso se ejecutara en un lapso de no mayor de 2 horas desde que se empiece a mezclar.

3.3.1.6.4. Apertura al tránsito.

Por condiciones del agente estabilizador la vía tendrá un curado de 72h, en este lapso el NaCl, reacciona a las propiedades naturales así de esta forma modificando sus propiedades físicas y mecánicas del agente estabilizador con el suelo.

3.3.2. Material Prima de Cantera:

A. Localización de Canteras.

La localización de estudio de cantera de suelos, *Según la EG-2013, (M.T.C.)*, “en su unidad suelos y pavimentos, orienta, la investigación de los componentes brutos utilizados para fabricar los áridos. Para establecer si los áridos son adecuados o no para el tipo de obra que se va a realizar, se determinarán sus propiedades en un laboratorio mediante los ensayos necesarios. El estudio de las fuentes es interesante para diversos fines, como rellenos, mejoras, terraplenes, capas estructurales del pavimento, ligante asfáltico y mezclas de hormigón”.

3.3.2.1. Cantera Pampagrande.

a) Ubicación.- En la base de la ladera de Pampagrande, a 6,2 kilómetros al sur de la Prov. de Azángaro, se encuentra la cantera de donde se extrajo el material. Está situada en la carretera San Juan de Salinas - Arapa - Azángaro, en la aldea rural de Pampagrande.

b) Acceso.- La entrada es usual durante todo el año, y es empleado el material de cantera para la conformación de obras viales, dentro de la Prov. Azángaro y Dist. San Juan de Salinas, para llegar se tomara la vía Azángaro a San Juan de Salinas a que esta sobre la vía del afirmado.

c) Situación Legal.- Pertenece al Distrital de San Juan de Salinas.

d) Volumen de Explotación.- Tras ser examinada por calicatas y la estratigrafía del terreno, se estima el volumen de la citada cantera debido a una explotación constante, con la fondo de corte (5,00m), área a explotar (110m x 150m), y desmonte variado por la misma formación de suelo teniendo una media de (0,30m), teniendo en cuenta un factor de esponjamiento (1,20); es el siguiente:

e) Potencia Bruta:

$$PB = (110m \times 150m \times 5.00m \times 1.20) = 99,000.00 \text{ m}^3 = 100\%$$

f) Potencia Neta:

$$PN = 99,000.00 \text{ m}^3 - (0.30 \times 120m \times 150m \times 1.20)$$

$$PN = 92,520.00 \text{ m}^3$$

$$PN = (92,520.00/99,000.00) = 93\%$$

La muestra de suelo se somete a una caracterización físico-química.

Tabla 25

Características Físico- Químicas de la Cantera C.C. Pampagrande.

Parámetros Físico - Químico	Unidad	Resultados	Métodos
Potencial de hidrogeno	PH	7.75	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica	uS/cm	25.30	Potenciómetro
Cloruros como Cl-	ppm	149.95	NTP339.177(2002)-AASHTO T290
Sulfatos como SO4-	Ppm	0.30	NTP339.177(2002)-AASHTO T290
Sales solubles totales	Ppm	16.22	colorimetría

Fuente: *Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química- UNA Puno.*

3.3.2.1. Cantera Misk'iuno - Wilakunka.

a) Ubicación.- En la carretera San Juan de Salinas - Arapa - Azángaro, a 2.5 km al sur de la Prov. de Azángaro, Wilak'unka, (material extraído).

b) Acceso.- De la misma manera el acceso es con total normalidad debido que también se utiliza el material para conformación de obras, dentro de la provincia de Azángaro, para llegar se tomara la vía Azángaro a San Juan de salinas.



c) **Situación Legal.-** pertenencia privada.

d) **Volumen de Aprovechamiento.-** El siguiente resultado estimado se obtiene estimando el volumen de la cantera dada tras su explotación, la fondo de corte (2,00m), área de explotar (97m x 120m), y desmonte variado por la misma formación de suelo teniendo una media de (0,30m), teniendo en cuenta un factor de esponjamiento (1,20):

e) **Potencia Bruta:**

$$PB = (97m \times 120m \times 2.00m \times 1.20) = 27,936.00 \text{ m}^3 = 100\%$$

f) **Potencia Neta:**

$$PN = 27,936.00 \text{ m}^3 - (0.30 \times 97m \times 120m \times 1.20)$$

$$PN = 23,745.60 \text{ m}^3$$

$$PN = (23,745.60 / 27,936.00) = 85\%$$

Tabla 26

Resumen en Coordenadas UTM de Fuente Material Cantera y Agua.

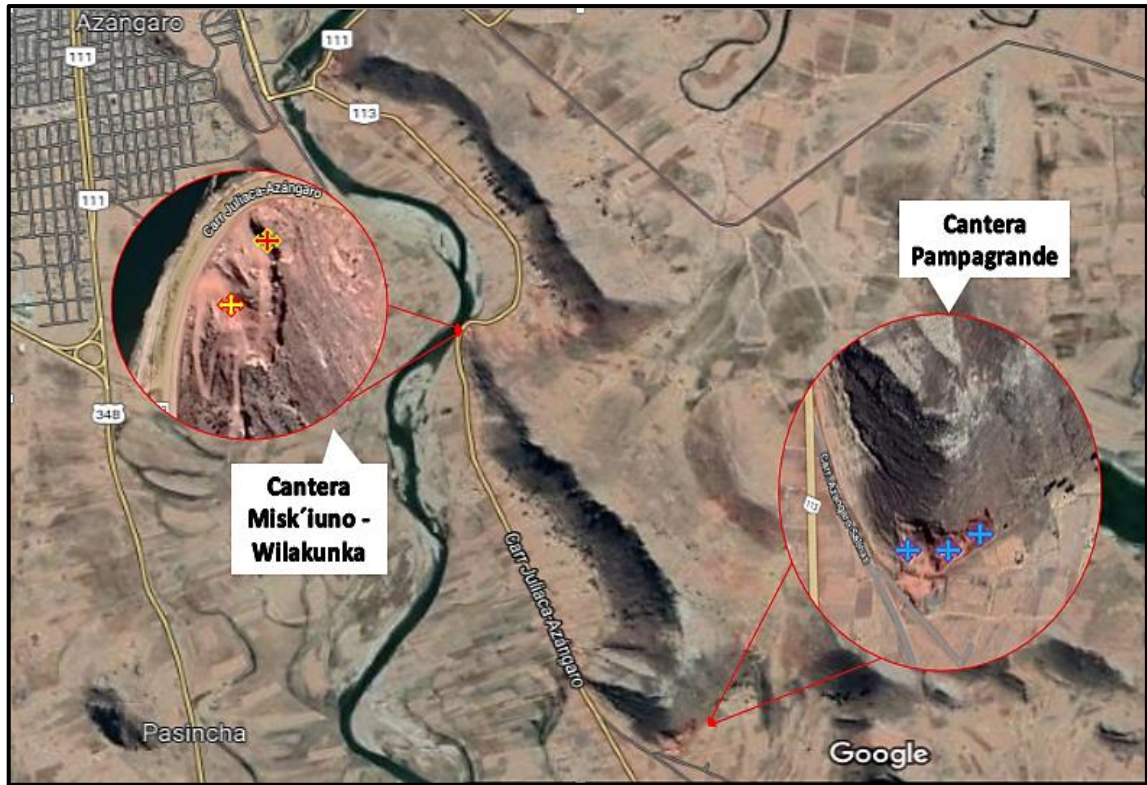
Nro.	Nombre	Norte	Este	Altitud Geoidal
1	Pampagrande	1653098.10	373880.50	3883.00
2	Miskyuno-Wilakunka	1651013.40	372943.30	3864.00
3	Rio Azángaro	1651014.00	372823.80	3853.00

Acotación: *Se toma como fuente de materiales por ser cercano a la vía en estudio.*

Se ha realizado un análisis de pre estudio para poder seleccionar la cantera y así alcanzar el objetivo de la investigación.

Figura 18

Lugar de las dos Canteras Utilizadas en el Estudio.



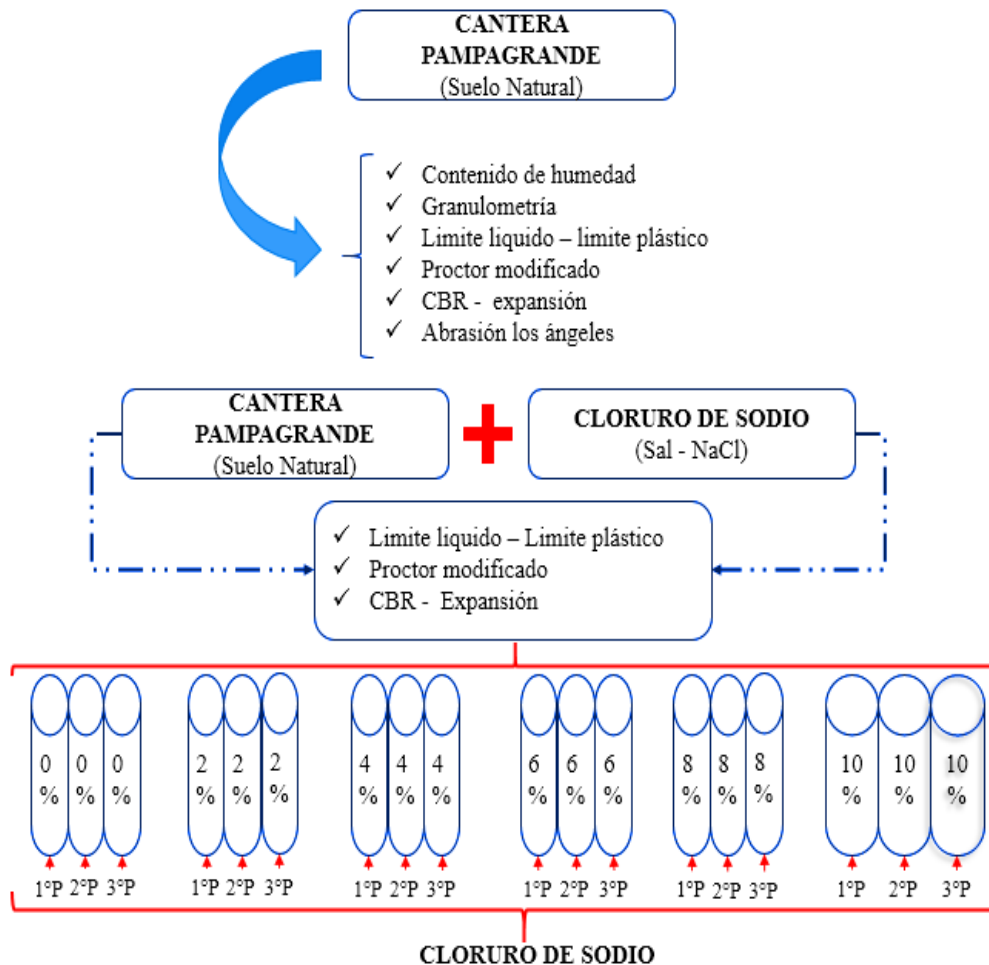
Fuente: *Extraído de google eart, las dos canteras analizadas.*

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.

El estudio más reciente es de tipo experimental, ya que crea una simulación en laboratorio de los efectos del cloruro de sodio (sal). En el ensayo, la variable independiente, se modificará de forma incremental hasta que se observen variaciones en las propiedades mecánicas del suelo, la variable dependiente.

Figura 19

Grupo de Control Experimental para el NaCl.



Acotación: Se expone la primera muestra de la cantera de Pampagrande en estado virgen, seguida de la muestra modificada y los ensayos asociados, ambos necesarios para la inspección de eficacia de los materiales manipulados para formar la capa de sub base de acuerdo con las normas exigidas peruanas para la ejecución de obras viales. Además, se muestra el grupo de control, en el que se realizan tres ensayos CBR tanto en estado natural como modificado para las proporciones de NaCl, con el fin de demostrar más claramente las ventajas.



3.4.1. Población.

Para nuestra investigación está organizado por la cantera Pampagrande y la cantera de Misk'iuno – Wilakunka, empleado para la ejecución de vías de la Provincia de Azángaro, dentro de la vía desvió Distrito de San Juan de Salinas - Arapa.

3.4.2. Muestra.

En nuestra investigación se empleará el material (suelo) de una de las canteras con mayor resistencia y utilización en proyectos de carreteras locales. Contrariamente a las normas A.S.T.M., los procedimientos de muestreo se llevaron a cabo de acuerdo con el N.T.P. y el Manual de Pruebas de Materiales del M.T.C.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO.

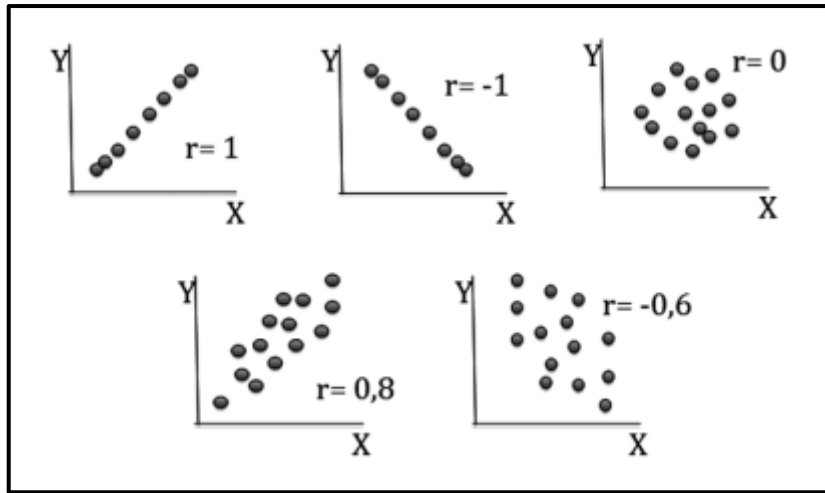
3.5.1. Correlación.

“Los estadísticos conocidos como coeficientes de correlación (estudios correlacionales) pueden utilizarse para expresar relaciones lineales. Una relación lineal positiva perfecta se indica cuando ambas variables suben al mismo tiempo ($r = +1$); una relación lineal negativa perfecta se indica con $r = -1$, que se produce cuando una variable baja mientras la otra sube. No hay relación entre las dos variables cuando $r = 0$ ”. (González & Restrepo, 2007, pag.13.)

El símbolo señala el sentido de la marcha. El valor del coeficiente proporciona la magnitud: Los gráficos siguientes muestran las variaciones del índice "r" de Pearson; cada imagen tiene un significado distinto que se detalla a continuación:

Figura 20

Tipos de Correlaciones para "r".



Fuente: Jorge Dagnino S., *Rev. Chil Anest* 2014; 43: 150-153.

Salasar, (2013), Las siguientes características se aplican al coeficiente de correlación:

- El coeficiente de correlación sólo mide una relación con una línea recta.
- Dado que la relación entre X e Y puede fluctuar, el coeficiente de correlación no debe proyectarse más allá del intervalo de valores notificado.
- No es necesario inferir la causalidad a partir de la correlación. Saber que el simple valor numérico de un coeficiente de correlación no indica causalidad.

3.5.1.1. Coeficiente de correlación de Pearson.

Se utiliza una distribución normal bivariante para cuantificar conjuntamente la intensidad o el grado de conexión entre dos variables aleatorias cuantitativas. Se indica cuál es el factor de similitud, (González & Restrepo, 2007, pág. 17):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2][\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n\bar{Y}^2]}}$$

Esta calificación se utiliza como criterio de decisión para interpretar el coeficiente de correlación (r) obtenido:

Tabla 27

Definiciones del Valor de Significancia Semejanza de Pearson.

Valor	Significancia
1	Correlación negativa sustancial e ideal
-0,9 a -0,99	Asociación negativa significativa
-0,7 a -0,89	Correlación negativa sustancial
-0,4 a -0,69	Ligera correlación inversa
-0,2 a -0,39	Muy poca asociación negativa
-0,01 a -0,19	Muy poca asociación negativa
0	Falta de correlación
0,01 a 0,19	Muy poca asociación, positiva
0,2 a 0,39	Escasa correlación, positiva
0,4 a 0,69	Conexión ligeramente favorable
0,7 a 0,89	Alta correlación para lo positivo
0,9 a 0,99	Asociación extremadamente fuerte
1	Una correlación sustancial e ideal

Fuente: *Correlación y Regresión empleando Excel y GRAPH- Mgs. Mario Suárez, 2012.*

3.5.1.2. Significancia del Coeficiente de Correlación

Nivel de significancia: “El grado máximo de error que toleraremos sin dejar de aceptar como cierta la teoría del investigador. Convencionalmente, los científicos fijan los niveles de significación de sus experimentos en 0,05 o 5%. Cuando se demuestra una conexión entre dos variables, se considera "exitosa" si la correlación tiene una certeza del 95%”.(Rubin & Balderas del Valle, 2004, pág. 320).

Selección de un nivel de significancia: “Para comprobar las hipótesis, no existe un grado de significación normalizado o universalmente aceptado. A veces, se emplea un nivel de significación del 5%. Para esta hipótesis podría aplicarse un nivel de significación del 1%. Pero tenga en cuenta que el riesgo que asumimos al rechazar una hipótesis nula cuando es cierta depende del nivel de significación, o la norma mínima para una probabilidad aceptable, que elijamos. La probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es cierta aumenta con el nivel de significación que utilizamos para probar

una hipótesis.”. (Rubin & Balderas del Valle, 2004, pág. 326). “Mientras más alto el costo, más pequeña debe ser la probabilidad de cometer error tipo I. El valor usual del valor de significancia en las ciencias naturales y sociales es de 0.05. También el nivel 0.05 se usa para proyectos de investigación de consumo”. (Rodríguez, 2009)

3.5.2. Prueba de Hipótesis.

“La prueba o contraste de hipótesis es una prueba que se basa en los datos de una muestra de una variable aleatoria mediante la cual podemos rechazar una hipótesis sobre un parámetro de la población, llamada hipótesis nula (H_0), en favor de una hipótesis contraria, llamada hipótesis alternativa (H_a); las variables X e Y están relacionadas en realidad o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar”. (Sáez Castillo, 2012, pag.38),

Tabla 28

Tipificación de la Suposición.

Identificación de Suposiciones	
Hipótesis nula H_0	Hipótesis alterna H_1
La que contrastamos	Niega H_0 (y creemos que es mejor)
Los datos pueden refutarla	Los datos pueden mostrar evidencia a favor.
No debería ser rechazada sin una buena razón	No debería ser aceptada sin una gran evidencia a favor.
$H_0: p =, \leq, \geq$	$H_1: p, <, >$

Fuente: *Análisis Y Diseño De Experimentos-Vladimiro Ibáñez Quispe.*

3.5.2.1. Ensayo de hipótesis para la similitud

1. Hipótesis Estadística:

$$H_0: p = p_0$$

$$H_0: p \neq p_0$$

H_0 (=Ausencia de correlación entre las variables)

H_a (=Existencia de correlación entre las variables en forma directa).



2. Elegir el nivel de significación: “ α ” ($\alpha=0.01$, $\alpha= 0.05$, $\alpha= 0.10$).
3. Cálculo del valor experimental. r^2 , gl, t, p: ($r^2 =$ coeficiente de determinación).

$$t = \frac{r - p}{S_r} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Donde:

$$S_r = \frac{\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n-2}}$$

4. Si: $p > \alpha$: aceptamos H_0 : y rechazamos la H_a : Si: $p < \alpha$ rechazamos H_0 : y aceptamos H_a :
5. Conclusión. Realizar la interpretación en base al paso 4 y concluir de acuerdo al tenor del problema.

3.5.2.2. *P-valor de un contraste o prueba de hipótesis.*

“El nivel mínimo de significación al que se aceptaría la hipótesis alternativa en lugar de la hipótesis nula se conoce como valor p asociado al contraste. La regla de decisión en una prueba con este nivel de significación, ya que el nivel máximo de significación suele fijarse en 0.05, dado el valor p, sería la siguiente.” (Según, Sáez Castillo, 2012):

Si $p < 0.05$, rechazamos H_0 en favor de H_a con más de un 95% de confianza.

Si $p \geq 0.05$, no podemos rechazar H_0 en favor de H_a con al menos un 95% de confianza.

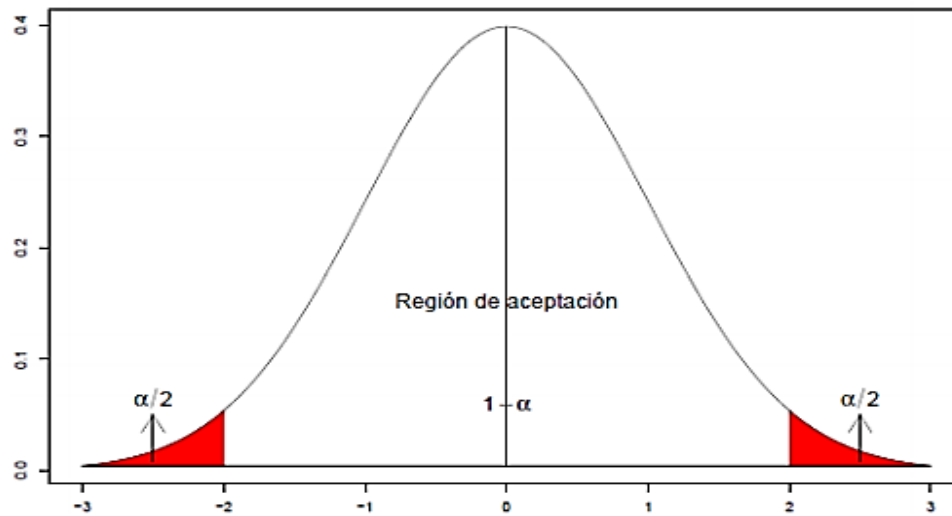
En conclusión, el valor p nos permite aplicar cualquier otro umbral significativo ya que, por ejemplo significación α :

Si $p < \alpha$, rechazamos H_0 en favor de H_a con más de un $(1 - \alpha)$ por % de confianza.

Si $p \geq \alpha$, no podemos rechazar H_0 en favor de H_a con al menos un $(1 - \alpha)$ por % de confianza.

Figura 21

Área de Rechazo en una Prueba de dos Hipótesis.



Fuente: Castillo, 2012

Acotación: Se realiza el análisis de correlación y comprobación de hipótesis, con la aplicación o influencia del cloruro de sodio en la estabilización para la sub base, para la cantera Pampagrande en el Distrito de San Juan de Salinas en la Provincia de Azángaro en la región de Puno. Esta conclusión se extrae de las observaciones preliminares que tenemos sobre los datos y el proceso del producto ejecutado en gabinetes, de las pruebas realizadas en el laboratorio, y de relacionar los resultados.

3.6. PROCEDIMIENTO.

3.6.1. Operaciones en Terreno.

Primer caso; se tomaran muestras alteradas e inalteradas después de realizar en reconocimiento de campo, se toma la muestra necesaria para los ensayos que se va ejecutar, se realiza excavaciones en la cantera (calicatas), en lugares cercanos al área de muestreo no perturbadas, se traza como:

- Localizar los lugares de excavación de las calicatas.
- Escarificar o quitar el terreno orgánico superficial (desbroce).



- Excavar una calicata de una profundidad aproximada (1.50m), con un área adecuada para la movilización del material que se extraerá.
- Se cuartea y se toma una cantidad para contenido de humedad y para la granulometría.
- Transportar el material extraído en sacos al laboratorio - ensayos.

Segundo caso, Para examinar la muestra de suelo en el laboratorio con las pruebas de control de acuerdo con el MTC para la sub base, se recogen las cantidades necesarias. Las muestras de suelo necesarias para las pruebas deben obtenerse cuidadosamente en el campo y almacenarse adecuadamente para obtener resultados exactos. Sin embargo, las muestras perturbadas también se pueden usar en algunas pruebas para determinar parámetros geotécnicos que no se ven afectados por la perturbación.

3.6.2. Ensayos de Laboratorio

Es una parte integral de la investigación y la práctica de la ingeniería. La mayoría de los procedimientos de prueba se basan en estándares específicos. Los estudios realizados en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales para las características físicas y mecánicas del suelo, tanto en su estado natural como modificado, con NaCl, son los siguientes:

3.6.2.1. Ensayos Físicos.

1. Contenido de Humedad.

Normas ASTM D653 -90, MTC E 108 – 2000, NTP 339.127.

Según el proceso descrito en las directrices, el objetivo es calcular el porcentaje de agua presente en un espécimen de suelo.

Descripción breve del ensayo.

Una vez tomada la muestra de la cantera de acuerdo con el procedimiento, la cantidad dependerá del tamaño de las partículas de la muestra de tierra. Se pesan tres

cápsulas (taras), en cuyo interior se colocan tres muestras de suelo, luego se pesan la muestra húmeda y la cápsula, y se registran. A continuación, la muestra se lleva a un horno y se mantiene a temperatura constante durante 24 horas.

Tabla 29

Cantidades Mínimas de Material Húmedo Selecto.

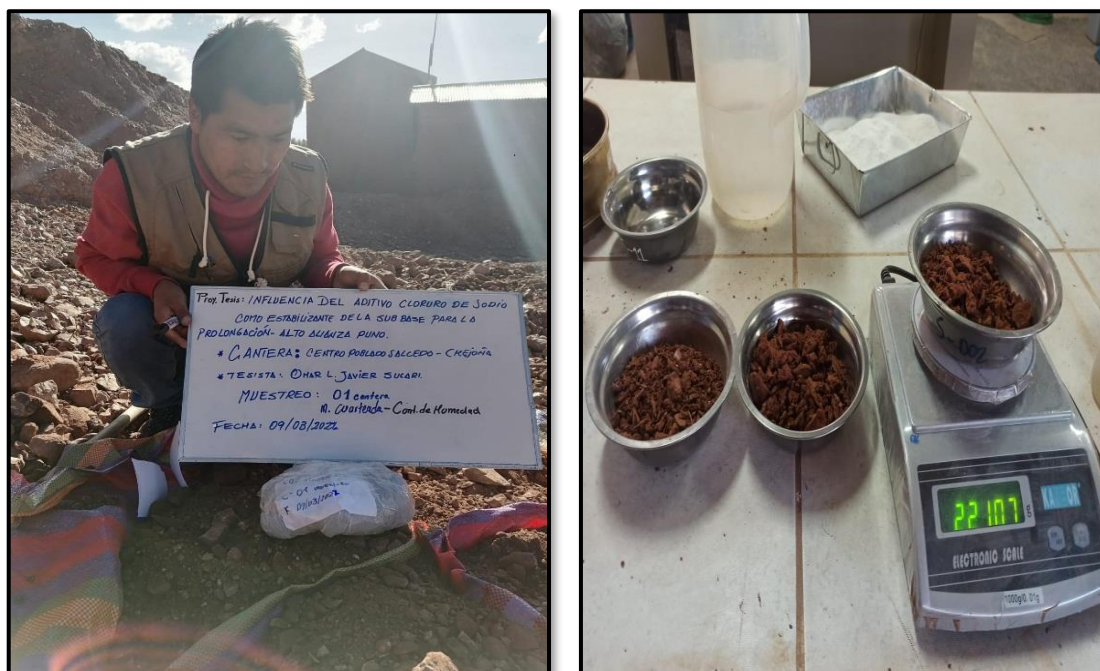
Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a± 0.1%	a± 1%
2mm o menos	2.00mm (N°10)	20 g	20 g *
4.75 mm	4.760mm (N°4)	100 g	20 g *
9.5 mm	9.525mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050mm(3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38,100(1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 (3")	50 kg	5 kg

Fuente: *Manual de ensayo de materiales, MTC, 2016.*

Acotación: * La cantidad representativa debe ser de al menos 20 g.

Figura 22

Obtención de la Espécimen para Contenido de Humedad y Pesado.



Acotación: (Izq.) muestra obtenida envuelto con un material impermeable para

que se mantenga en un estado húmedo natural, (der.) Muestra para Disponer en Horno para el Secado

2. Análisis Granulométrico por Tamizado.

Normas ASTM D 422, MTC E 107- 2000, AASHTO T 88.

Con la finalidad de clasificar una determinada cantidad de muestra de suelo en función del tamaño de sus partículas. También se puede decir que este proceso consiste en separar y clasificar las partículas del suelo en función de su tamaño para identificar qué grupos componen los suelos gruesos y qué grupos componen los suelos finos. Este proceso se desarrolla de acuerdo con las directrices señaladas en las normas. De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos en la Tabla 28:

Tabla 30

Tipo y Tamaño de Partículas

Tipo de Material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm – 2 mm
Arena	Arena gruesa: 2 mm - 0.2 mm Arena fina: 0.2 mm - 0.05 mm
Limo	0.05 mm – 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: *Manual de Carreteras (MTC, 2013)*

Descripción breve del ensayo

Se hace secar la muestra al aire libre, removiendo para que pueda secar homogéneo sin hacer perder su partículas finas y gruesas de la muestra de suelo luego, se cuartea la muestra de suelo seca luego de los 4 partes de muestra de suelo se toma 2 que más represente y qué estén homogéneos entre sí. Para obtener una muestra representativa del material de cantera, se pesa y se registra el peso total de la muestra seca. A continuación, se ubica en una bandeja y se deja en remojo durante unas 24 horas para disolver los grumos duros. A continuación, la muestra representativa se lava a través del

tamiz N° 200 con agua limpia, frecuentando este proceso hasta que el agua salga despejada. Por último, la muestra lavada se seca durante 18 horas en un horno a 105°C.

A continuación, se agita violentamente la muestra con un movimiento rotatorio horizontal y vertical antes de secarla y tamizarla a través de una serie de tamices colocados en orden decreciente. Se pesa el material retenido en los distintos tamices. Con esta información, podemos trazar las curvas granulométricas correspondientes y pasar a clasificar el suelo utilizando el LL, el LP y el IP.

Figura 23

Lavado y tamizado de la Cantera de Misk'uno- Wilakunka.



Figura 24

Ensayo de Granulometría por Tamizado de la Cantera Pampagrande – Misk'uno.



Acotación: *de la fig. 24 (izq.) Tamizado del espécimen de suelo de la cantera Pampagrande retenidos y (der.) Los Pesos Retenidos en cada Tamices de la cantera Misk'uno-Wilakunka.*

3. Limite Líquido

Normas ASTM D 4318, MTC E 110- 2000, AASHTO T 89.

Proporción de humedad en la que el suelo se encuentra en la transición entre los estados líquido y plástico. Se define arbitrariamente como el contenido de humedad al que, después de dejarlo caer 25 veces desde una altura de 1 cm a una velocidad de dos golpes por segundo, la ranura de separación de dos mitades de una pasta de suelo se cierra en su parte inferior a lo largo de una distancia de 13 mm (1/2 pulg.).

Descripción breve del ensayo

Se tamiza en la malla N° 40 hasta obtener unos 300 gr., desechando el material retenido. Después, se combina la sustancia en el recipiente de porcelana con agua hasta obtener una pasta espesa y suave, y se deja la muestra en remojo durante 24 horas. Para

el suelo modificado con NaCl, se agrega según el peso seco de la muestra, (300g sería para 2%NaCl, 6g de NaCl). Para transferir la sustancia del recipiente a la cuchara Casagrande, llenando aproximadamente un tercio del total, primero hay que saturar la muestra luego remuévala o amásela para que quede uniforme. La sustancia se esparce y se iguala con la espátula, creando una torta circular de 1 cm de diámetro en el punto de máxima profundidad. Para evitar el desgarro del suelo a lo largo de la ranura, se realizan muchas pasadas con la herramienta de ranura do a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la mezcla contenida en la cuchara. A continuación, gire la manivela a una velocidad de dos revoluciones por segundo, cuente cuántas golpes tardan las paredes de la ranura en juntarse en el fondo, tome una porción representativa de la cuchara para contenido de humedad (W%).

Figura 25

Preparado de Espécimen para el Ensayo.



Acotación: (izq.) mezcla del cloruro de sodio con 4% con muestra de suelo tamizado por la malla N° 40, como se especifica en la norma de igual manera en la (der.)

para NaCl de 4% y 6%, se realiza para todo los porcentajes de incorporando NaCl más suelo, planteadas en la investigación.]

Figura 26

Ensayo de Limite Liquido en la cuchara Casagrande.



Acotación: (izq.) Llenado y enrasado de la Muestra (der.) Girado de copa Casagrande contando el número de golpes, hasta el cierre de la ranura partida.

4. Limite Plástico.

Normas ASTM D 424, MTC –E 111-2000.

Se denomina límite plástico (L.P.) al contenido de humedad más bajo al que pueden hacerse palitos de tierra de 3,2 mm (1/8") de diámetro haciendo rodar la tierra entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio molido) sin que se rompan los palitos.

Descripción breve del ensayo

Se aprovecha el material usado para el LL, tanto en estado inicial y modificado, verificando una consistencia tal que pueda ser rolando entre los dedos de la mano y el vidrio esmerilado. Seguidamente se toman aproximadamente unos gramos de material y

se forma bastones cilíndricos de modo que lo podamos rodar sobre el vidrio esmerilado para quitarle humedad. Luego se inicia el rolado, a razón de 80 a 90 ciclos por minuto hasta lograr barritas con un diámetro de 3,2 mm (1/8"). Finalmente, el límite plástico (humedad), se obtiene al formar bastones de 3.2 mm de diámetro, en el instante en que se forman resquebrajaduras superficiales. Y esperar hasta que estos tengan un sonido similar al de un vidrio, se pesara antes las capsulas para poder tomar su contenido de humedad.

Figura 27

Rolado y Toma de la muestra para el Pesado.



Acotación: *Secado de la Barras de Muestra hasta que tenga un sonido de vidrio a lumínico.*

Figura 28

Ensayo de LL-LP, Porción de Muestra Pesada para el Secado.



El IP, es la diferencia entre los valores de los LL y LP. Tanto como el LL como el LP dependen de la cantidad y tipo de arcilla de suelo. Además permite clasificar un suelo. Un IP alto corresponde a un suelo de alta plasticidad. Por el contrario, un IP bajo es característico de un suelo de baja a nula plasticidad. Sobre todo, esto se puede dar en la clasificación siguiente de la Tabla.

Tabla 31

IP y Peculiaridad de los Materiales.

Índice de Plasticidad	Característica
IP > 20	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos poco arcillosos
IP = 0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: *Manual de Carreteras (MTC 2013)*

3.6.2.2. Ensayos Mecánicos

1. Proctor Modificado

Norma ASTM D 1557 Y MTC E- 115-2000



El objetivo de este ensayo es determinar la máxima densidad seca de un suelo y el contenido de humedad óptima; entender en laboratorio la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación), según el procedimiento establecido en las normas.

Descripción breve del ensayo

Se ejecuta en condición natural de suelo, aproximadamente para una tan dada (5 - 4 puntos) se solicita de 30 kg promedio, (se realiza en condición húmeda y seco-disgregar los terrones), para la selección del método se tamiza en las mallas 3/4", 3/8" y N° 4, por la granulometría de nuestro suelo se selecciona el método C (6kg), realizado en 5 capas y 56 golpes, y el método B (2.4kg), en 5 capas y 25 golpes, respectivamente, se mezcla en una bandeja; suelo, agua variando de 2% y 4% (respecto al peso de la muestra), los incrementos es de 2%, más NaCl respecto al peso de la muestra variando en proporciones referidas al estudio, estos tres insumos de remueve hasta lograr una mezcla uniforme, enseguida se vierte en una bolsa impermeable para dejar saturado durante 24hr. Pasado el tiempo, en una bandeja se ha vertido de nuevo en la bandeja y se divide en 5 fracciones proporcionalmente iguales y se vierte al molde de proctor de 6" y 4" para compactar con el martillo (pistón) como mínimo cinco puntos, previamente el molde se pesa vacío, se mide altura y diámetro, para determinar volumen del molde. Finalmente se pesa suelo compactado más el molde, luego se procede a sacar la muestra, de esta se consigue una muestra particular para el contenido de humedad. De esta forma se estaría cumpliendo con el objetivo de la prueba.

Figura 29

Pesado de la NaCl y Mesclado de la Muestra.



Figura 30

Llenado de la Muestra por Capas y Compactación en Molde.



Acotación: *Pesado de NaCl, para un porcentaje requerido, luego se mezcla al suelo natural para ser removido, luego se agrega agua, los tres componentes serán combinados hasta estar homogéneo la muestra, enseguida será vertida al molde, y compactar, como se ven las imágenes.*



2. Relación de Soporte de California (CBR).

Normas ASTM D1883 Y MTC E 132-2000.

Determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado, como CBR (California Bearing Ratio). Ejecutado en el laboratorio con condiciones de según el procedimiento establecidos en la norma. Se realizó el ensayo de CBR al 0%, 2%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10%, de NaCl.

Descripción breve del ensayo

- Alcanzado el CHO y la DSM, en el ensayo anterior, se preparan muestras de 6Kg y tres moldes de CBR (collarín), se procede a medir la altura, diámetro y el peso. Luego se mide la cantidad de agua necesaria en una probeta obtenida del ensayo de Proctor Modificado, (igual para las tres muestras). En un recipiente se remueve el suelo más el agua y una proporción de NaCl correspondiente, hasta conseguir una mezcla uniforme y fraccionar en 5 raciones iguales. Dentro del molde se procede a colocar el disco espaciador y sobre él, se coloca el papel de filtro, en seguida se vierte la muestra para compactar en 56 golpes con el martillo (pistón), continuando se quita el collarín y se enrasa el molde, tomando una proporción de suelo sobrante en taras para el contenido de humead.
- Prosiguiendo, se invierte el molde y se retira el disco espaciador y se pondrá otro papel filtro en la base del molde, asegurado la probeta se procede a pesar suelo más molde, luego se prepara para saturar los testigos, colocándole previamente el vástago y unas pesas (10 lb), y se sumergirá en poza de agua, y tomar lectura con el trípode siendo esta la condición inicial del ensayo. La lectura se realiza cada 24 horas, por un periodo de 4 días (96 horas), obteniendo la variabilidad de la muestra (expansión). Cumplido el periodo de saturación se prepara para someter a la prueba de penetración, realizando previamente, extracción de la poza, drenado

de 15 minutos, pesado de la muestra saturada y colocación a la prensa de hidráulica estas etapas se realizan con mucho cuidado sin modificar la muestra. Y finalmente se gira la manilla de la prensa a una velocidad constante de 1.27 mm/min de penetración registrando las lecturas del dial de carga para penetración.

Figura 31

Compactación en Molde CBR, y Lectura de Expansión, antes de Sumergir.



Acotación: (izq.) compactado de los especímenes en el molde de CBR, con variación de energía de compactación, en 5 capas, (der.) lectura del dial y trípode para controlar la expansión en el ensayo, en condición inicial, antes de sumergir.

Figura 32

Prueba de CBR para el Obtener el Valor de CBR de la Cantera.



Acotación: (izq.) Ensayo de CBR sumergido en la poza de agua durante 96 horas y (der.) Prensa Hidráulica para Someter a Compresión Simple

3.6.2.3. Ensayos Especiales

1. Abrasión los Ángeles (LA.) al Desgaste de los Agregados < de 37,5 mm (1 ½”)

Normas ASTM C-131, MTC E 207, NTP 400.019

Determinar la degradación de agregados pétreos de gradaciones, por la acción que contienen abrasión o desgaste, golpe y machacamiento, en un tambor de acero que gira sujeta a una cifra descrita de esferas de acero.

Descripción breve del ensayo

Identificar en la muestra los tamaños máximos sea menor a 1½” o mayor de ¾” para cualquier de las mallas el protocolo es lo similar, se selecciona el material para realizar el lavado y secado en horno a T° uniforme y luego zarandear en las mallas necesarias, (gradación A), se procede a separar de cada una de las proporciones retenidas en cada malla, para poder ser pesado con un error ± 5 gr para tamaños máximos de 1½” y ¾”, estos pesos obtenidos se combinarán en uno solo para poder así echar al tambor de la

dicha junto con las esferas de acero (billas) computadas por la prueba, enseguida se cerrara la tapa del tambor, verificado la periférica del equipo y la tapa que este bien asegurado se activara la máquina, verificando número de revoluciones , el tiempo que se realiza el estudio, indicados por el método, cumplido el tiempo de revolución, se procederá a desamalgar tanto el material y la carga, el material retirado de la máquina de abrasión para fines de conveniencia, se zarandea por la mala N° 12, y se pesa el material retenido.

Figura 33

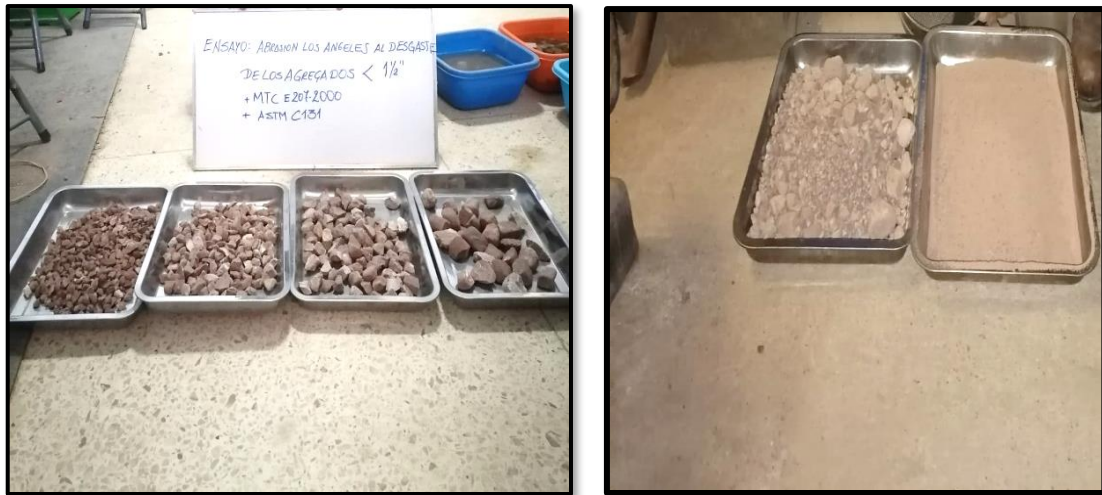
Prueba Abrasión los Ángeles de la Muestra.



Acotación: (izq.) muestra mezclada listo para ser introducido al tambor y (der.) prueba de abrasión, según el método A en nuestro caso.

Figura 34

Tamizado de Muestra para el Ensayo de Abrasión Antes y Después de la Prueba.



Acotación: (izq.) *Antes del Ensayo Abrasión los Ángeles tamizado de muestra por las cuatro mallas necesarias y (der.) después del ensayo tamizada de la muestra por la Malla N° 12.*

2. Ensayo de Durabilidad Método Humedecimiento y Secado de Mezclas de Suelo-NaCl Compactadas.

Normas MTC E1104, ASTM D-559, AASHTO T-135, INV. 350.5

Establecer los desgastes del suelo-NaCl, producto del humedecimiento y secado periódico de los prototipos duros, para poder inspeccionar la variabilidad de la humedad y el volumen (expansión y contracción). Estos prototipos son compactados en un módulo, con criterios de relación Humedad – P. Unitario, con un peso unitario máximo - contenido óptimo de humedad de mezclas antes de la combinación del NaCl.

Descripción breve del ensayo

El proceso para la ejecución de la prueba, se hace seguimiento las normas mencionadas anteriormente. Con los datos obtenidos del ensayo de compactación desarrollados anteriormente, para diferentes % de NaCl, como CHO y con la DSM, se prepara los especímenes de suelos para su respectivo remoldeo, (compactado en un molde



con condiciones óptimas de muestra de suelo), para proporciones de 0% a 10%, método A, se empieza a pesar la muestra de suelo para combinar suelo + NaCl y se distribuye en 5 capas o 3 tres dependerá del tamaño de muestra de suelo, luego se pesa y se realiza las medidas de altura, diámetro y peso, se procede al curado de 7 días en el parte húmedo, luego se empezó con el prueba de durabilidad, se ha codificado a cada uno ellos para luego ser sumergidos todos los especímenes en una poza a una temperatura ambiente de 5 h; cumplido el tiempo se extraen de la poza y se hace las mediciones correspondientes como diámetro y altura con vernier a cada uno de los especímenes, luego se precede al secado en el horno a una temperatura de $71 \pm 3^{\circ} \text{C}$ ($160 \pm 5^{\circ} \text{F}$) durante 42 horas, enseguida se ha pesado medido diámetro, altura de cada uno de los especímenes seca para determinar la variación de volúmenes en el espécimen 1 de cada mezcla suelo-NaCl. De la misma manera para el porcentaje desgaste se midieron altura y diámetro, a los especímenes número 2, se rasparon con un cepillo de cerdas de alambre, utilizando 18 pasadas verticales con el cepillo, por toda el área del espécimen, finalmente se medía su altura y diámetro, Los anteriores procedimientos se llevaran a cabo durante 12 ciclos, registrando cada 2 días las medidas, el nombre del espécimen que se utilizó para hallar cambio volumétrico fue 1, y el espécimen al que se le realizó proceso de desgaste fue nombrado como 2.

Figura 35

Equipo y Materiales para la prueba de Durabilidad



Acotación: *Equipos utilizados los equipos para el remoldeo de la muestra de suelo natural y modificada, para la prueba de durabilidad de muestra de suelo – NaCl.*

Figura 36

Especímenes Preparados del Ensayo.



Acotación: (izq.) *especímenes compactados a diferentes porcentajes de NaCl, (der.) curado de especímenes de 7 días en T° ambiente, dentro de las bolsas impermeables.*

Figura 37

Sumergido y después de Sumergido de los Especímenes.



Acotación: (izq.) *se sumerge al agua después del curado durante 48 horas (1 ciclo) (der) muestras extraídas después del sumergido realizando medidas, pesado húmedo y luego será sometido al secado en horno (110°C), para luego ser de nuevo medido y pesado seco.*

3.7. VARIABLES.

Las variables que intervienen en nuestra investigación son variables independientes X_1 y variables dependientes Y_1 que se correlacionan entre sí:



3.7.1. Operacionalizacion de Variables.

Variable independiente:

A: suelo estabilizado con NaCl.

Variable dependiente:

A: propiedades físicas mecánicas del suelo.

Tabla 32

Operacionalizacion de Variables Objetivo Principal.

Objetivo	Variabes	Indicadores	Medición
Determinar la influencia en las propiedades físico mecánicas del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía desvió San Juan de Salinas - Arapa - Puno.	Independiente Suelo estabilizado con NaCl.	Cloruro de sodio (NaCl).	Porcentaje del NaCl en peso. (2%,4%,6%,8%,10%)
	Dependiente Propiedades de físicas y mecánicas del suelo.	Propiedades del suelo estabilizado con NaCl.	<ul style="list-style-type: none">• Límites de consistencia.• Índice de plasticidad.• Proctor modificado.• Valor relativo de soporte.• Abrasión los ángeles.

Tabla 33

Operacionalización de Variables Objetivos Específicos.

Objetivo	Variabes	Indicadores	Medición
Evaluar la influencia en las propiedades de índice de plasticidad del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.	Independiente Suelo estabilizado con NaCl.	Cloruro de sodio (NaCl).	Porcentaje del NaCl en peso.
	Dependiente Propiedades de índice de plasticidad.	de Propiedades físicas del suelo estabilizado con NaCl.	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad. • Límites de líquido. • Limite plástico.
Determinar la influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.	Independiente Suelo estabilizado con NaCl.	Cloruro de sodio (NaCl).	Porcentaje del NaCl en peso.
	Dependiente Propiedades mecánicas DMS y CBR.	Propiedades mecánicas del suelo estabilizado con NaCl.	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad. • Proctor modificado. • CBR.
Establecer la dosificación óptima de cloruro de sodio en un suelo de cantera de la sub base para la vía.	INDEPENDIENTE Suelo estabilizado con NaCl.	Cloruro de sodio (NaCl).	Porcentaje del NaCl en peso.
	DEPENDIENTE Dosificación óptima de NaCl.	Propiedades del suelo estabilizado con NaCl.	<ul style="list-style-type: none"> • IP. • Proctor modificado. • CBR

Tabla 34

Matriz de Consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología	Instrumentos de Medición
<p>Problema general: ¿Cómo influye en las propiedades físico mecánicas del suelo estabilizado con el cloruro de sodio de la sub base para la vía desvió San Juan de Salinas - Arapa - Puno?</p> <p>Problemas específicos: 1. ¿Cuál es la influencia que permitirá mejorar las propiedades de índice de plasticidad del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía?</p> <p>2. ¿Cuál es la influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía?</p> <p>3. ¿Cuál es la dosificación óptima del cloruro de sodio a adicionarse a un suelo de cantera que permita mejorar la estabilización de la sub base para la vía?</p>	<p>Objetivo general: Determinar la influencia en las propiedades físico mecánicas del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía desvió San Juan de Salinas - Arapa - Puno.</p> <p>Objetivos específicos: 1. Evaluar la influencia en las propiedades de índice de plasticidad del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía. 2. Determinar la influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía. 3. Establecer la dosificación óptima de cloruro de sodio en un suelo de cantera de la sub base para la vía.</p>	<p>Hipótesis general: La influencia en las propiedades físico mecánicas del suelo estabilizado con el cloruro de sodio es significativa de la sub base para la vía desvió San Juan de Salinas - Arapa - Puno.</p> <p>Hipótesis específicas: 1. La influencia en las propiedades de índice de plasticidad son aceptables estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía. 2. La influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo mejoran con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía. 3. El porcentaje óptimo de cloruro de sodio que se adiciona a un suelo de cantera está en el rango del 2% al 10% en peso seco de la muestra, logrando mejorar las características físicas y mecánicas.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>Suelo de cantera</p>	<ul style="list-style-type: none"> Características del tipo de cloruro de sodio para estabilización de suelos. Características físicas y mecánicas de suelos de la cantera seleccionada. 	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de cloruro de sodio (sal). Ensayos de Granulometría, límites de consistencia, Clasificación y Compactación y CBR. Medida: porcentaje, kg/cm², 	<ul style="list-style-type: none"> Catálogo del fabricante, si es necesario. Ensayos de laboratorio.
<p>Problema general: ¿Cuál es la influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía?</p> <p>3. ¿Cuál es la dosificación óptima del cloruro de sodio a adicionarse a un suelo de cantera que permita mejorar la estabilización de la sub base para la vía?</p>	<p>la densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p> <p>la densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p> <p>la densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p>	<p>La influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo mejoran con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p> <p>El porcentaje óptimo de cloruro de sodio que se adiciona a un suelo de cantera está en el rango del 2% al 10% en peso seco de la muestra, logrando mejorar las características físicas y mecánicas.</p>	<p>DEPENDIENTE:</p> <p>Suelo estabilizado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Características físicas y mecánicas mejoradas con el cloruro de sodio (sal). 	<ul style="list-style-type: none"> Ensayos de Límites de consistencia, Compactación y CBR mejorados. Medida: porcentaje, kg/cm² 	<ul style="list-style-type: none"> Ensayos de laboratorio.
<p>Problema general: ¿Cuál es la influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía?</p> <p>3. ¿Cuál es la dosificación óptima del cloruro de sodio a adicionarse a un suelo de cantera que permita mejorar la estabilización de la sub base para la vía?</p>	<p>la densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p> <p>la densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p> <p>la densidad seca máxima y valor de soporte relativo del suelo estabilizado con cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p>	<p>La influencia en las propiedades de densidad seca máxima y valor de soporte relativo mejoran con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía.</p> <p>El porcentaje óptimo de cloruro de sodio que se adiciona a un suelo de cantera está en el rango del 2% al 10% en peso seco de la muestra, logrando mejorar las características físicas y mecánicas.</p>	<p>INTERVINIENTE:</p> <p>Estabilizante</p>	<ul style="list-style-type: none"> Proporciones diversas de cloruro de sodio (sal). 	<ul style="list-style-type: none"> Adición del 2%, 4%, 6%, complementarias, de cloruro de sodio (sal). Medida: porcentaje. 	<ul style="list-style-type: none"> Ensayos de laboratorio



3.7.2. Tipo y Diseño de Investigación.

La disciplina a derivarse en la presente investigación, se analiza según los objetivos específicos, donde se menciona a las propiedades naturales del suelo en estudio (grupo de control) y la influencia del NaCl (sal) en la característica física – mecánica de los suelos obtenidos de la cantera Pampagrande – Misk’iuno.

3.7.2.1. Tipo.

La metodología que se usa “*Básica-Experimental*”, “*Cuantitativa*” y “*Correlacional*”, según el tipo y nivel de investigación, se simulara el comportamiento de la adición del cloruro de sodio y los factores físicos-mecánicos del suelo. La materia prima y/o insumos manipulados estuvieron el suelo y el cloruro de sodio (0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10%), del peso seco de la muestra.

Las pruebas ejecutadas como físico – mecánicos para el control fueron: Contenido de humedad, granulometría, LL, LP, Proctor modificado y CBR, abrasión, durabilidad.

3.7.2.2. Diseño.

Por el propósito de la tesis, el diseño fue *experimental*, por la manipulación de la variable independiente, para verificar y evidenciar sus efectos en la variable dependiente. Según el orden de la investigación fue *prospectiva* por tener registro de la variable independiente y los equipos. Siendo por él, número de mediciones fue *transversal* por ejecutar varios controles, además de detallar el estudio en un tiempo determinado.

$$DI = MP_1 \text{-----} X_{NaCl} \text{-----} MP_{2i}$$

Dónde:

DI: Diseño de investigación, *MP₁*: Modelo patrón, *X_{NaCl}*: Aplicación del NaCl, *MP_{2i}*: Análisis de cambios causados por el NaCl al usar.

3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.8.1. Ensayo de Compactación Proctor Modificado.

Se estudia los datos obtenidos en laboratorio de muestra de la cantera de Misk'iuno – Wilakunka, el análisis es válido además para la cantera de Pampagrande.

Tabla 35

Cuadro de Resumen para la Selección del Método de Proctor Modificado.

Método	Retenido (↑)	Usar Pasante (↓)
A	↑ N°4 ≤ 20%	N° 4
B	↑ N°4 ≥ 20% y ↑ 3/8" ≤ 20%	3/8"
C	↑ 3/8" ≥ 20% y ↑ 3/4" ≤ 30%	3/4"

Acotación: resumen tomado del manual de ensayos - MTC.

Tabla 36

Tamizado de muestra de la Cantera Misk'iuno - Wilakunka.

N° mallas	Pesos retenidos (gr)	% Pesos	%Acumulado
3/4" (19.00) (a)	1.16	3.23	0
3/8" (9.500) (a)	3.70	10.32	13.55
N°4 (4.750) (a)	7.50	20.91	34.47
Pasante N°4 (a)	23.50	65.53	100.00
Peso total (b)	35.86	100	
MÉTODO (selec.)			B

Acotación: Realizado el tamizado y análisis ,si, $N^{\circ}4 = 20.91\% \geq 20\%$ y $3/8" 10.32\% \leq 20\%$, se utiliza la muestra pasante a la malla 3/8", el método a usar B.

Tabla 37

Datos del Molde de para el Ensayo del Método - B

Datos del Molde	
N° de molde	P-01
Diámetro del molde (promedio)	10.129cm
Altura del molde (promedio)	11.655cm
Volumen del molde	939.cc



Acotación: las medidas del molde de diámetro, 10.144, 10.132, 10.112 y de la altura es 11.658, 11.658, 11.648 y para el cálculo del volumen de utiliza la formula.

$$\text{volumen} = \pi D^2 \frac{h}{4} = 3.1416 * (10.129)^2 * \frac{11.655}{4} = 939.185\text{cc}$$

Tabla 38

Datos para el Cálculo de Densidad seca Humedad- Proctor Modificado.

Molde No		P-01	Vol. Molde		939 cc
No de capas		5	Golpes Capa		25
Peso Suelo Húmedo + Molde (1)	gr.	6002	6106	6149	6167
Peso del Molde (2)	gr.	4196	4196	4196	4196
Peso del Suelo Húmedo	gr.	1806	1910	1953	1971
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc	1.92	2.03	2.08	2.10

Acotación: se procede al calcular como peso del suelo húmedo y la densidad seca húmeda, el proceso para cada espécimen es de la misma manera para todos, ejemplo el primer espécimen:

$$\text{Peso del suelo humedo} = (1) - (2) = 6002 - 4196 = 1806\text{gr}$$

$$\text{Densidad de suelo Humedo} = \frac{\text{peso del suelo humedo}}{\text{volumen del suelo(molde)}} = \frac{1806}{939} = 1.92\text{gr/cc}$$

Tabla 39

Datos de Densidad Seca del Suelo - Contenido de Humedad Proctor Modificado.

Nº Tara		D-02	M-11	S-002	S-05
Peso de la Tara (1)	gr.	37.48	70.04	37.44	39.96
Peso del Suelo Húmedo + Tara (2)	gr.	479.12	475.70	453.53	443.20
Peso del Suelo Seco + Tara (3)	gr.	448.57	442.19	405.92	402.83
Peso del Agua (2) - (3)	gr.	30.55	33.51	47.61	40.37
Peso del Suelo Seco (3) – (1)	gr.	411.09	372.15	368.48	362.87
Contenido de humedad	%	7.43	9.00	12.92	11.13
Densidad seca del suelo	gr/cc	1.849	1.934	1.908	1.956

Acotación: Los datos son resultados del ensayo en laboratorio, el cálculo para cada espécimen es igual, como ejemplo se toma D-02 entonces:

$$\text{peso del agua} = 479.12 - 448.57 = 30.55\text{gr}$$

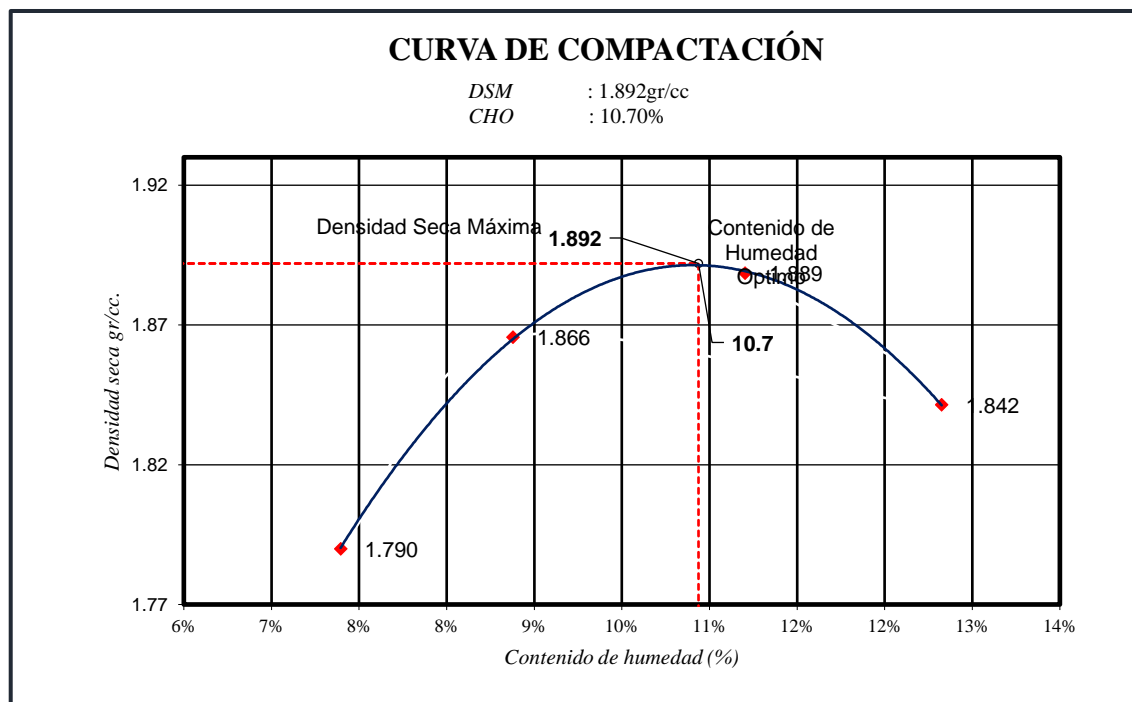
$$\text{peso del suelo seco} = 448.57 - 37.48 = 411.09\text{gr}$$

$$\% \text{humedad} = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo seco}} \times 100 = \left(\frac{30.55}{411.09} \right) * 100 = 7.43\%$$

$$\text{Densidad del suelo seco} = \frac{\text{densidad del suelo humedo}}{1 + \frac{\text{promedio de humedad}}{100}} = \frac{1.92}{1 + \frac{7.43}{100}} = 1.79\text{gr/cc}$$

Figura 38

Curva de Compactación de Proctor.



Acotación: Se realiza la gráfica de los datos calculados de contenido de humedad vs densidad seca, números obtenidos de laboratorio, se establece la DSM y el CHO, para nuestro estudio. Que además estos datos nos ayudaran para el procedimiento experimental del ensayo de CBR. Así de esta manera controlar la cantidad de agua que se va añadir a la muestra, con el CHO calculada en el gráfico de la curva de compactación, siendo mezclado la muestra de suelo en estudio con la cantidad de agua

necesaria, y con la DSM se controlara al momento de compactar el espécimen de CBR, con estos dos datos podemos ya estimar si está llegando a la densidad necesaria con un CHO., para cada espécimen, para diferentes energías de compactación para dicho test.

3.8.2. Ensayo de Compactación CBR.

Tabla 40

Datos de Condición Inicial para el Cálculo de DSH, del CBR.

Código de molde		D-4		K-21		K-30	
N° de capas		5		5		5	
N° de Golpes por capa		56		25		12	
Condiciones		S/SAT	SAT	S/SAT	SAT	S/SAT	SAT
Peso Suelo Húmedo + Molde (1)	gr.	11483	11538	11060	11207	12154	12438
Peso del Molde (2)	gr.	7057	7057	6704	6704	8025	8025
Peso del Suelo Húmedo	gr.	4426	4481	4356	4503	4129	4413
Volumen del Suelo	cc.	2108	2108	2105	2105	2112	2112
Densidad del Suelo húmedo	gr/cc	2.100	2.126	2.070	2.140	1.955	2.090

Acotación: Con vernier se mide, el diámetro (cm), 15.184, 15.174, 15.199, altura (cm), 11.640, 11.635, 11.638 y peso (gr), 7057. Además el espesor del disco espaciador 6.09cm, son medidas del molde D-4, 56 golpes, con estos datos se calcula:

$$\text{Peso del suelo humedo} = (1) - (2) = 11483 - 7057 = 4426.00\text{gr}$$

$$\text{volumen} = \pi D^2 \frac{h}{4} = 3.1416 * (15.186)^2 * \frac{11.638}{4} = 2108.00\text{cc}$$

$$\text{Densidad de suelo Humedo} = \frac{\text{peso del suelo humedo}}{\text{volumen del suelo(molde)}} = \frac{4426}{2108} = 2.100\text{gr/cc}$$

Tabla 41

Datos de Contenido de Humedad - CBR.

Capsula N°		D-02	M-11	S-002	S-003	S-05	D-02
Suelo húmedo + Tara (1)	gr.	230.43	352.43	239.92	317.70	267.26	302.09
Suelo Seco + Tara (2)	gr.	211.97	322.93	221.06	284.91	244.23	269.34
Peso del Agua	gr.	18.46	29.50	18.86	32.79	23.03	32.75
Peso de la Tara (3)	gr.	37.49	61.47	37.43	37.41	39.96	48.48
Peso del Suelo Seco	gr.	174.48	261.46	183.63	247.50	204.27	220.86
% de Humedad	%	10.58%	11.28%	10.27%	13.25%	11.27%	14.83%
Promedio de Humedad	%	10.58	11.28	10.27	13.25	11.27	14.83
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.899	1.910	1.877	1.889	1.757	1.820

Acotación: Extraídos del ensayo de CBR 56 golpes, de la muestra sin saturar antes de sumergir, saturado después de sumergir, dentro de los 96h, de ambos de toma la muestra para humedades, estos cálculos son iguales para todos, como referencia para D-02, es:

$$\text{peso del agua} = (1) - (2) = 230.43 - 211.97 = 18.46\text{gr}$$

$$\text{peso del suelo seco} = (2) - (3) = 211.97 - 37.49 = 174.48\text{gr}$$

$$\% \text{humedad} = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo seco}} \times 100 = \left(\frac{18.46}{174.48} \right) * 100 = 10.58\%$$

$$\text{Densidad del suelo seco} = \frac{\text{densidad del suelo humedo}}{1 + \frac{\text{promedio de humedad}}{100}} = \frac{2.100}{1 + \frac{10.58}{100}} = 1.899\text{gr/cc}$$

Tabla 42

Datos de Expansión del ensayo de CBR.

Hora	Tiempo	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
			mm	%		mm	%		mm	%
10:40am	24h	6.272	0.00	0.00	17.929	0.00	0.00	15.425	0.00	0.00
12:50pm	48h	6.529	0.26	0.22	17.930	0.00	0.00	16.041	0.62	0.53
12:30pm	72h	7.802	1.53	1.31	19.435	1.51	1.30	17.161	1.74	1.49
10:40am	96h	8.000	1.73	1.480	19.703	1.77	1.53	17.341	1.92	1.64

Acotación: Se realiza la lectura con deformímetro cada 24h, para controlar la expansión del espécimen sumergido, del molde D-4, 56 golpes, del ensayo de CBR.

$$E\% = \frac{D_f - D_i}{\text{altura de la muestra}} \times 100$$

$$E\% \text{ 56golpes} = \left(\frac{6.272 - 8.000}{116.1} \right) * 100 = 1.48\%$$

Tabla 43

Cómputo de Numero de CBR.

Penet. (mm)	t (seg)	Pat. Kg/cm ²	Molde D-4			Molde K-21			Molde K-30		
			dial kn	carga kg	Pres. kg/cm ²	dial kn	carga kg	Pres. kg/cm ²	dial kn	carga kg	Pres. kg/cm ²
0	00:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.63	00:30		0.40	40.79	2.16	0.27	27.53	1.39	0.25	25.49	1.29
1.27	01:00		0.82	83.62	4.43	0.48	48.95	2.47	0.45	45.89	2.32
1.91	01:30		1.18	120.33	6.38	0.60	61.18	3.09	0.51	52.01	2.63
2.54	02:00	70.31	1.42	144.80	7.68	0.69	70.36	3.56	0.55	56.08	2.83
3.17	02:30		1.63	166.21	8.81	0.77	78.52	3.97	0.60	61.18	3.09
3.81	03:00		1.78	181.51	9.63	0.83	84.64	4.28	0.63	64.24	3.25
5.09	04:00	105.00	2.01	204.96	10.87	0.96	97.89	4.95	0.69	70.36	3.56
6.35	05:00		2.25	229.44	12.17	1.08	110.13	5.57	0.72	73.42	3.71
7.62	06:00		2.47	251.87	13.36	1.18	120.33	6.08	0.80	81.58	4.12
8.89	07:00		2.64	269.21	14.28	1.29	131.54	6.65	0.90	91.77	4.64
10.16	08:00										
12.7	10:00										

Acotación: Se determina el valor de CBR, para el molde D-4, 56 golpes, detalle, penetración (penet.), tiempo (t), carga unitaria patrón (pat.), presión (pres.). Datos lectura dos de la prensa hidráulica de CBR sin corrección, además área de pistón, 19.35cm³.

$$CBR \text{ 56 golpes } \% = \left(\frac{7.60}{70.31} \right) * 100 = 10.80\%$$



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – UNA Puno, que cumplan las especificaciones generales, (EG-2013), según la MTC, se realiza los ensayos según los procedimientos de las normas para cada ensayo requerido como es el ASTM, manual de ensayos de materiales - MTC, Se demuestra e interpreta los efectos de la muestra de suelo en estado natural seleccionado para nuestra investigación proveniente de la cantera Pampagrande y Misk'iuño – Wilakunka, el NaCl proveniente de la laguna salar de San Juan de Salinas y las composición de las mismas en proporciones de 0%, 2%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10%. Del señalado suelo se ha extraído espécimen siguiendo el medio conforme a la normativa NTP 339.151 (ASTM D4220), se ha escarificado la materia orgánica, la cual se localiza en la zona. Se realiza ensayos a la muestra en condición virgen y modificada con NaCl.

4.1.1. Fase Natural.

1. *Contenido de humedad.*

Denominado además humedad o contenido de agua. Se establece tomando de manera de concluir un espécimen específico, de esto se halla el peso de agua, sometiendo el espécimen en un horno controlado a una temperatura de 110 ± 5 °C. Del cual se alcanza el resultado de contenido de humedad, como se evidencia:

Tabla 44

Contenido de Humedad del Especimen de Suelo en Investigación.

Contenido de Humedad		
Promedio cont. Humedad (W%)	Cantera Pampagrande	Cantera Misk'iuño-Wilakunka
	5.38 %	5.16%

De la muestra de suelo, se toma tres muestras representativas, para obtener un dato certero, de las tres datos, se calcula un promedio, en la tabla 44, se muestra que el suelo natural tiene un contenido de humedad del 5.38% cantera Pampagrande, 5.16% cantera Misk'iuno- Wilakunkad.

4.1.1.1. Resultado de la clasificación de suelos.

2. Granulometría - propiedades límites de atterberg – índice plástico.

De las observaciones granulométricas-límite de atterberg que se desarrollaron según norma MTC E107 – 2000, ASTM D-422, MTC E110, E111y ASTM D4318. Se toma una muestra representativa, cumpliendo los procedimientos de la norma.

Tabla 45

Características de Clasificación de Suelo Natural.

Descripción	Clasificación del Suelo	
	Cant. Pampagrande	Cant. Misk'iuno- Wilakunka
SUCS:	GM	CL
AASHTO:	A – 4 (1)	A – 4 (6)
% Grava:	57.36%	7.44%
% Arena:	4.92%	26.80%
% Pasa-N°200:	37.72%	65.36%
Limite Liquido:	30.65%	24.78%
Limite Plástico:	23.86%	15.37%
Indicé de Plasticidad:	6.80%	9.41%

Acotación: *Información obtenida de los ensayo de granulometría y plasticidad del suelo en estado natural, además se analiza según su características.*

Figura 39

Curva de Distribución Granulométrica, Cantera Pampagrande en Estudio.

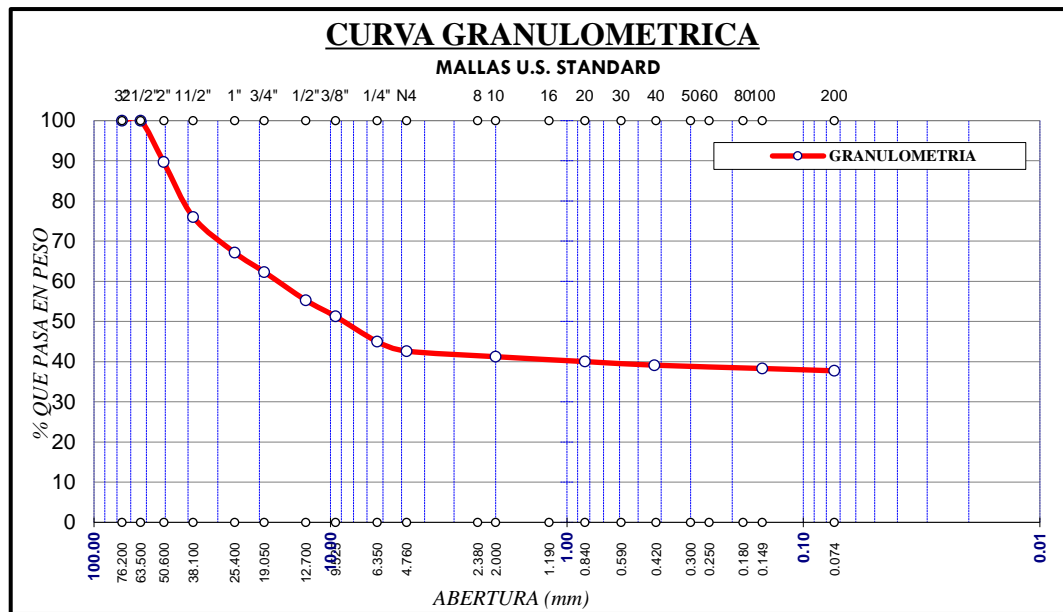
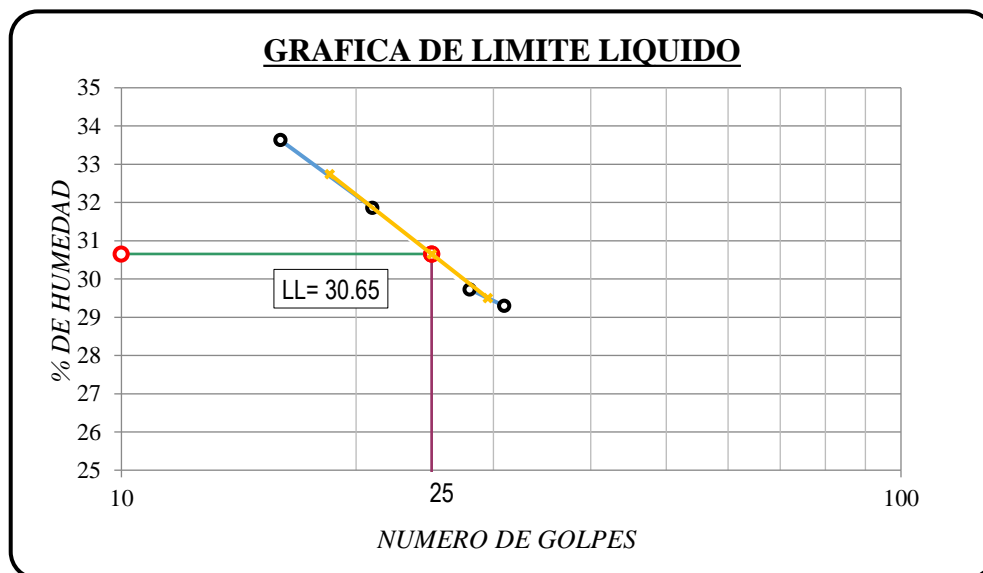


Figura 40

Gráfica del Ensayo de LL Cantera Pampagrande, Suelo Natural.



Acotación: dichas gráficas y resultados son tomados de la prueba de granulometría y LL, así de esta manera se determinara IP, junto con LP.

límite líquido de nuestra muestra natural, se realiza cuatro puntos en la copa, y en la gráfica se calcula 25 golpes, para saber el límite líquido del suelo en porcentaje de humedad. Por lo tanto $IP > 10 > IP > 4$ Suelos poco arcillosos.

4.1.1.2. Resultados de las propiedades densidad seca máxima y valor de soporte relativo.

3. Ensayo de Compactación (Proctor Modificado).

Prosiguiendo con lo mencionado en la norma, MTC-E115 y ASTM D-1557. Se muestra el producto del Ensayo de Compactación (Proctor Modificado) donde se visualiza valores como MDS y el CHO, para el suelo natural.

Tabla 46

Características Mercancías del Suelos en Investigación.

Propiedades Físico - Mecánicas del Suelo		
Descripción	Cantera Pampagrande	Cantera Misk'iuño-Wilakunka
Densidad Seca Máxima	2.005 gr/cc	1.892 gr/cc
Contenido de Humedad Optimo	7.20 %	10.70%
Método aplicado	C	B

Acotación: Resultados obtenidos del prueba de compactación proctor modificado.

La gráfica 43 y 44, de la curva de proctor, se ejecuta con los fundamentos de densidad seca vs contenido de humedad, para poder visualizar así de esta manera la DSM y el CHO. Que estos datos son necesarios para realizar el CBR, y para los demás ensayos necesarios para nuestra investigación, tanto en la fase natural y la fase modificada de la mezcla de suelo más NaCl.

Figura 43

Curva de Compactación Cantera Pampagrande del Suelo Natural.

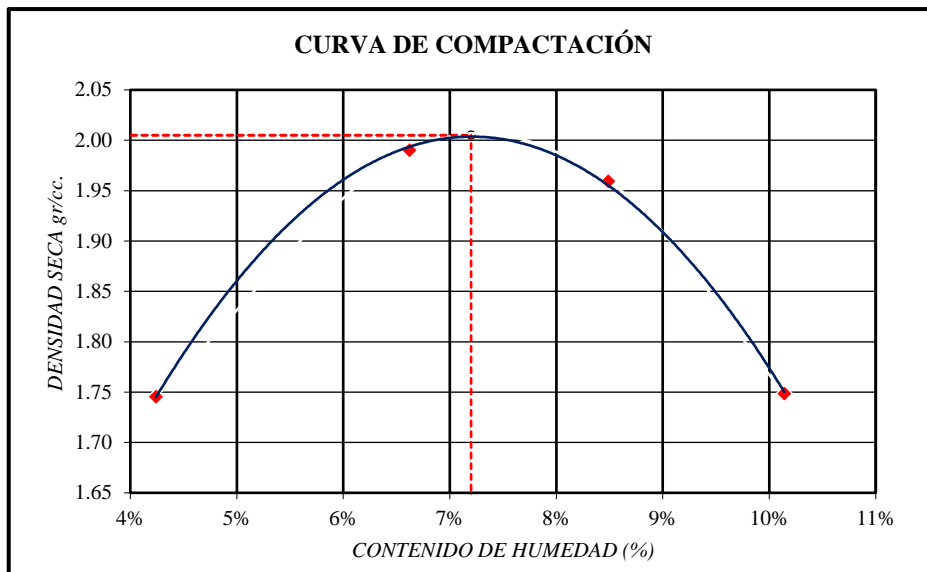
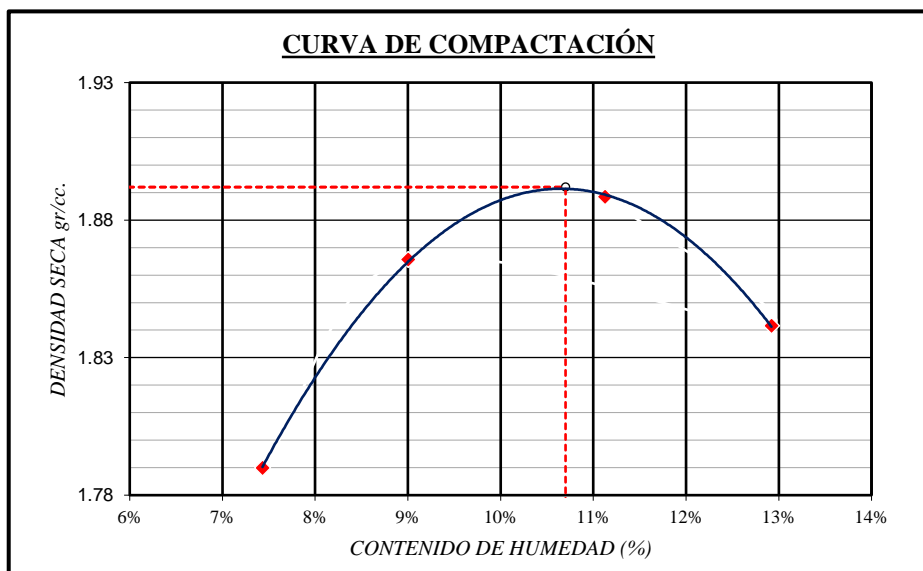


Figura 44

Curva de Compactación Cantera Misk'iuno -Wilakunka del Suelo Natural.



Acotación: se ha realizado cuatro puntos como mínimo, con energía de compactación para los métodos B (25golpes) y D (56golpes), para los cuatro puntos, luego se procesa los datos de densidad seca y contenido de humedad, para luego sacar del grafico la DSM y el CHO.

4. Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

La elaboración es con mucho cuidado, porque los resultados que obtengamos dependerá nuestra investigación (MTC-E132 ASTM D-1883). De los datos de penetración para 56, 25, 12 golpes, evaluar los valores de CBR para las presiones de 2.54 y 5.08mm (0.1 y 0.2 pulgadas).

Tabla 47

Resultados de la Prueba de CBR en Condición Natural Cantera Pampagrande.

Ensayo Natural	DSM ($\delta_{dm\acute{a}x}$) (g/cm ³)	CHO (%)	Energ. Comp. (N° golpes)	CBR (%)	Densid. seca (g/cm ³)	PROM. CBR 100%	CBR al (100% MDS)
1°	2.005	7.20	12	21.88	1.882	12 golp.	33.50
			25	31.09	1.965	30.1	
			56	33.50	1.998		
2°	2.005	7.20	12	17.60	1.856	25 golp.	30.43
			25	26.78	1.940	20.9	
			56	30.43	1.981		
3°	2.005	7.20	12	23.32	1.889	56 golp.	34.20
			25	32.53	1.980	32.7	
			56	34.20	2.005		

Acotación: Los nombres de cada cuadro detallan cómo sigue; contenido de humedad óptimo, energía de compactación, densidad seca, promedio de CBR, respectivamente. Los resultados mostrados son del ensayo de CBR en laboratorio. Donde el promedio del CBR al 100%MDS es 32.70% de la muestra natural sin NaCl.

Tabla 48

Resultados del Ensayo de CBR Cantera Misk'iuno - Wilakunka Muestra Natural.

Ensayo Natural	DSM ($\delta_{dm\acute{a}x}$) (g/cm ³)	CHO (%)	Energía de Compact. (N° golpes)	Densid. seca (g/cm ³)	CBR al (100%MDS)
1°	1.892	10.70	12	1.757	4.03
			25	1.877	5.06
			56	1.899	11.06

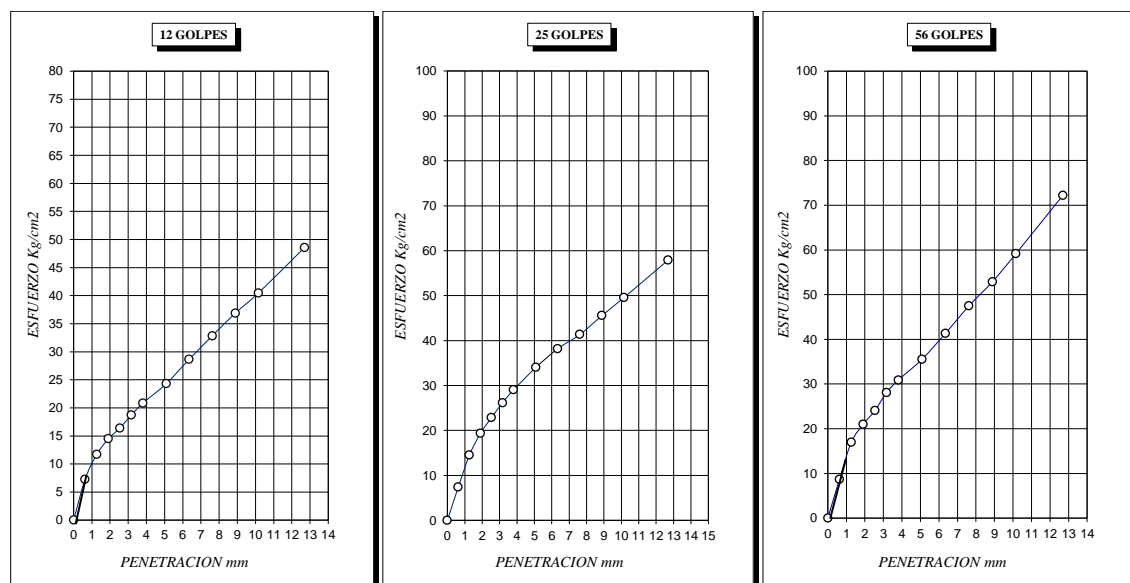
Acotación: Datos tomados del ensayo realizado en laboratorio

De la tabla 47, se analiza que el CBR del suelo en investigación en su estado natural al 100% MDS ($\delta_{m\acute{a}x}$) y a una penetraci3n de 0.1" (2.5mm) es 32.7 %. Por consiguiente, no es apto para Sub base enfocando al reglamento que pide como (CBR m3nimo 40%) y no cumple para Base (CBR m3nimo 80%), de la misma manera de la tabla 49 tiene un CBR de 11.06%, no cumple, seg3n las especificaciones requeridas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones "EG", 2013).

Prosiguiendo, donde se evidencia en las figuras 45, 46, 47, 48, las graficas de CBR para 12, 25, 56 golpes y la gr3fica de CBR- Densidad seca, respectivamente de la muestra de suelo en estudio en su estado natural. Curvas CBR de la Muestra de Suelo en Estudio a 12, 25 y 56 Golpes.

Figura 45

Curvas CBR de la Cantera Pampagrande a 12, 25 y 56 Golpes.



Acotaci3n: *esfuerzo vs penetraci3n tomados del ensayo de CBR.*

Figura 46

Curva CBR-Densidad Seca Cantera Pampagrande Natural en Estudio.

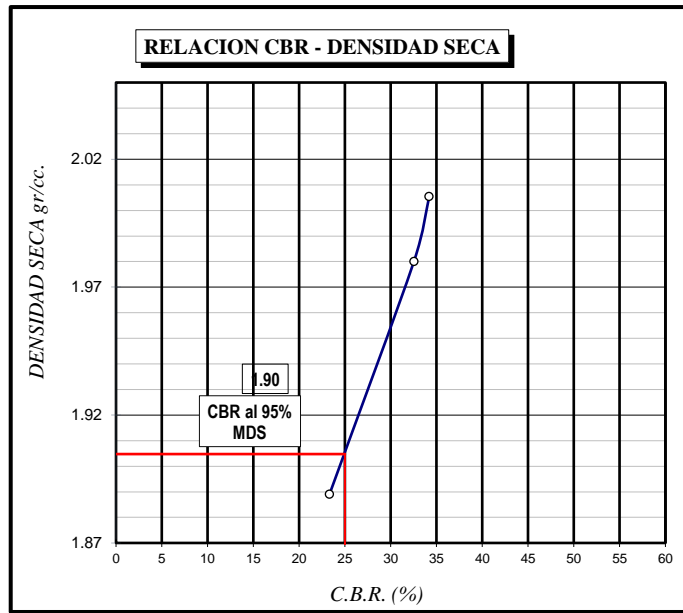
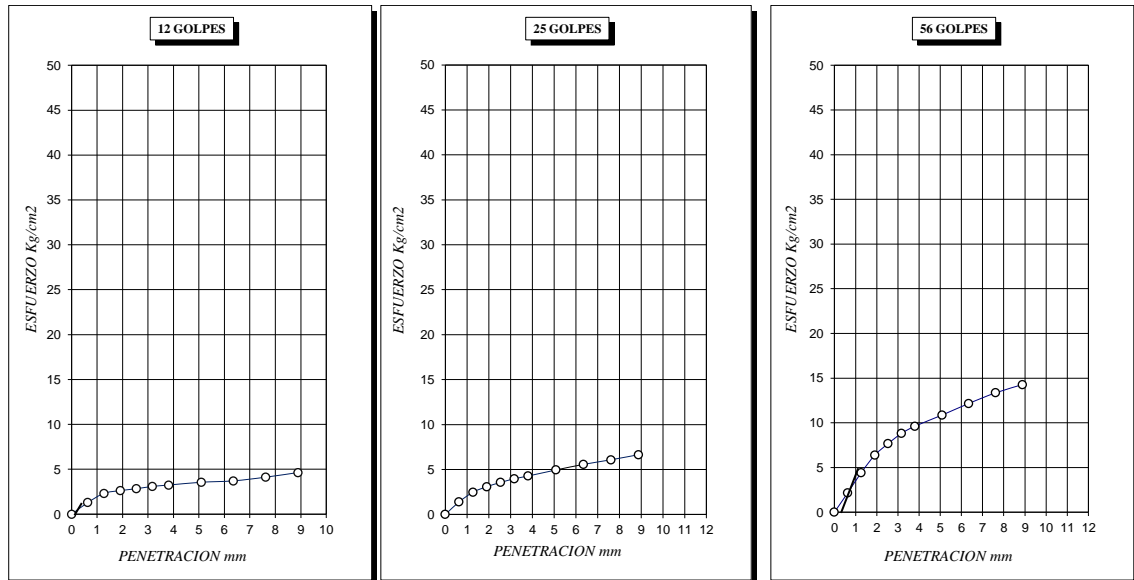


Figura 47

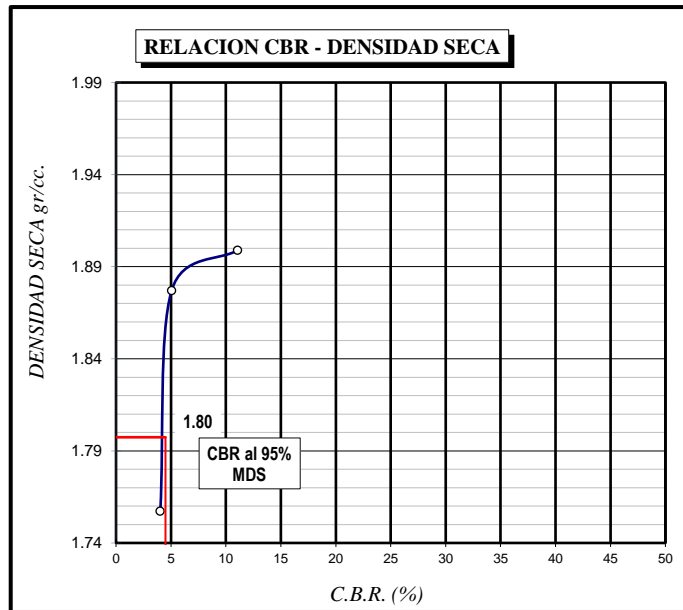
Curvas CBR de la Cantera Misk'uno - Wilakunka a 12, 25 y 56 Golpes.



Acotación: *esfuerzo vs penetración tomados del ensayo de CBR.*

Figura 48

Curva CBR-Densidad Seca Cantera Misk'iuno - Wilakunka Natural en Estudio.



5. Expansión en deformímetro (dial) – CBR

Los resultados se han adquirido en el periodo sumergido en la poza de agua, realizando lecturas cada 24 horas, durante 4 días (96h), de la prueba (CBR).

Tabla 49

Expansión de la Cantera Pampagrande Muestra en Investigación -CBR

Ensayo Natural	Energía de Compactación	Expansión (%)	Promedio
1°	12	0.0020	12 golp.
	25	0.0500	0.0320
	56	0.0300	
2°	12	0.0340	25 golp.
	25	0.0500	0.0470
	56	0.0030	
3°	12	0.0310	56 golp.
	25	0.0400	0.0020
	56	0.0010	

Acotación: Datos recabados del ensayo de CBR.

Tabla 50

Expansión de la Cantera Misk'iuno – Wilakunka Muestra en Investigación -CBR.

Ensayo Natural	Energía de Compactación	Expansión (%)
	12	1.640
1°	25	1.530
	56	1.480

Acotación: Datos recabados suelo natural del ensayo de CBR.

6. Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados < de 37,5 mm (1 ½”).

Una vez sometido al equipo de ensayo (molino, tambor), se sustrae y se zarandea por la malla N°12, luego se pesa el peso retenido para calcular el desgaste, en la tabla 51, Se muestra.

Tabla 51

Resultado de Ensayo de Abrasión los Ángeles Cantera Pampagrande.

Peso de Muestra Sometido a Ensayo de Abrasión los Ángeles	
Peso Inicial de la Muestra	(g) 5009.00
Peso Mat. Retenido (malla n°12)	(g) 2980.00
Peso Mat. que Pasa (malla n°12)	(g) 2029.00
% de Desgaste	% 40.51

En la tabla 51, señala para la cantera Pampagrande, después de realizar el ensayo, con el procedimiento como nos indica la norma, se tiene los resultados de abrasión sometido la espécimen resulta un %desgaste 40.51%. Para la cantera Misk'iuno – Wilakunka no se realiza el ensayo debido que es un suelo fino, de nuestra de suelo en condición natural.

7. Ensayo de Durabilidad Método Humedecimiento y Secado de Mezclas.

Determinar las pérdidas del suelo-NaCl, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secado repetido de especímenes endurecidos de suelo-NaCl. Realizado con la cantera de Pampagrande.

Tabla 52

Durabilidad de Probetas Suelo Natural.

Descripción	0% NaCl	
	1° C	2° C
Masa seca	833.80	564.30
Diámetro 2 (cm)	7.22	5.61
Altura 2 (cm)	9.98	7.18
Volumen (cm ³)	408.88	177.76
Cambio de Volumen (%)	0.25	1.04
Masa seca corregida	832.61	562.19
Perdida (%)	32.57	

En la tabla 52, nos muestra el porcentaje de pérdida del suelo natural de la cantera de pampagrande mostrando que del total se perdió un 32.57 %, de muestra del espécimen preparado. Esto supera a las expectativas según el cuadro de evaluación para un suelo A-4 el porcentaje de pérdida es 10%, siendo superior la condición inicial evaluada.

4.2. DISCUSIONES

4.2.1. Fase Modificada Añadido NaCl.

Se examinaron las consiguientes peculiaridades físicas mecánicas que presenta el suelo con porcentajes de **2%, 4%, 6%, 8%, 10% y 5%**, como complementaria.

- Límites atterberg (Límite líquido y límite plástico)
- Proctor modificado (DSM, CHO).
- Relación de soporte de california CBR- expansión (Parámetros de resistencia al corte del suelo).

1. *Limites atterberg (Límite líquido y límite plástico)*

Los resultados obtenidos de LL, LP; diferenciando ambos resultados es igual al IP, con adiciones de NaCl en cada espécimen de suelo.

Tabla 53

Características de Plasticidad de la Cantera Pampagrande más el Cloruro de Sodio.

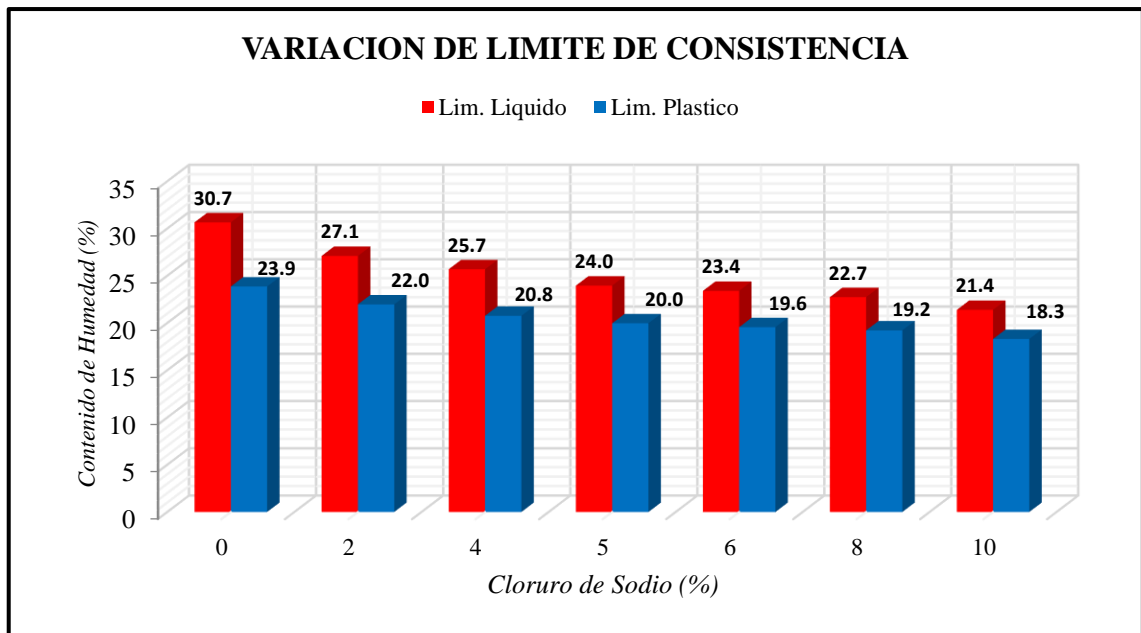
Suelo / NaCl	Límites de Consistencia		
	LL	LP	IP
Suelo + 0%NaCl	30.65	23.85	6.80
Suelo + 2%NaCl	27.10	21.97	5.13
Suelo + 4%NaCl	25.69	20.76	4.93
Suelo + 5%NaCl	23.96	19.97	3.99
Suelo + 6%NaCl	23.40	19.56	3.84
Suelo + 8%NaCl	22.74	19.22	3.52
Suelo + 10%NaCl	21.39	18.31	3.09

Acotación: LL. Límite líquido, LP. Límite plástico. IP. Índice plástico.

Para las características de comportamiento de suelo de la cantera de Pampagrande, tiene un límite líquido de 30.65%, pero a medida que aumentamos NaCl, disminuye en proporcionalmente hasta 21.39 % en 10%NaCl, de la misma manera se visualiza que en el límite plástico baja la plasticidad del suelo respecto a la inicial, de 23.85% a 18.31% en 10%NaCl, en el IP de la muestra de suelo disminuye, mostrando una plasticidad baja, un suelo poco arcilloso como los resultados alcanzados en las investigaciones realizados en el laboratorio.

Figura 49

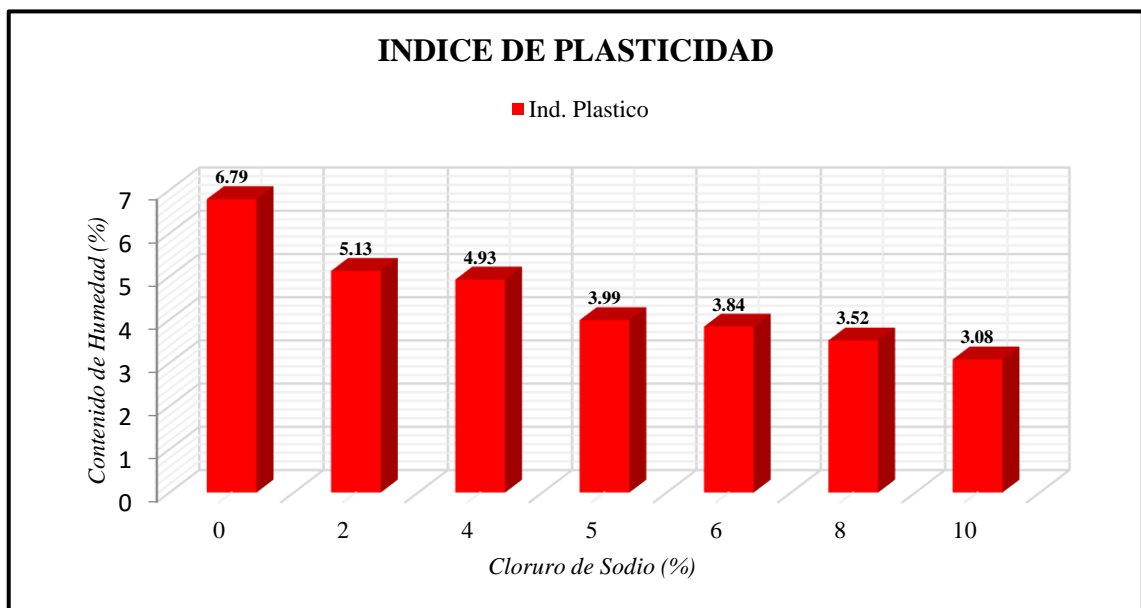
Variación de Límites de Consistencia Cantera Pampagrande Añadiendo NaCl.



Acotación: *Se visualiza en la figura 49, que la primera varianza que los valores decrecen mientras se incremente el NaCl, en las propiedades de límite líquido y límite plástico del suelo, en porcentajes que se muestran en la gráfica.*

Figura 50

Variación de Índice de Plasticidad Cantera Pampagrande añadiendo NaCl.



Acotación: En la figura 50, se la toma la diferencia de $LL - LP = IP$, los datos de los dos ensayos ejecutados en laboratorio en condición natural y modificada.

Tabla 54

Comparación del LL, LP, IP Respecto a los Antecedentes de la Investigación.

Suelo / NaCl	Investig. N° 1			Investig. N° 2			Investig. N° 3			Investig. N° 4		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
0%	37.4	20.5	16.9	64.5	26.3	38.1	86	66.7	19.3	59.4	25.4	34.0
2%	-	-	-	52.3	25.5	25.2	-	-	-	-	-	-
3%	-	-	-	-	-	-	45.5	31.8	13.8	-	-	-
4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	-	-	-	46.3	28.7	18.5	-	-	-	54.4	25.9	28.4
6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8%	36.9	20.3	16.6	-	-	-	39.7	29.5	10.2	-	-	-
10%	-	-	-	41.2	21.2	19.8	-	-	-	48.8	22.4	26.4
12.5%	36.2	20	16.2	-	-	-	36.7	30.2	6.5	-	-	-
16%	35.4	19.7	15.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20%	-	-	-	36.6	26.4	10.5	-	-	-	-	-	-
30%	-	-	-	36.7	26.6	9.7	-	-	-	-	-	-
50%	-	-	-	29.5	20.1	9.4	-	-	-	-	-	-

A nivel regional, Mamani, 2022, (Investig. N° 1), en tesis de pregrado determino la influencia en las propiedades físicas de un suelo, arcilla inorgánica de baja compresibilidad (CL, A-7-6(9)), los resultados de índice de plasticidad, mostraron resultados positivos de que a medida a que se incrementa el NaCl, decrecen los valores de IP, en un 1.13% de la muestra patrón, mejorando así las propiedades físicas.

A nivel Nacional, Fernández 2016, (Investig. N° 2), Analiza el comportamiento físico de los suelos con NaCl, del tipo arcilla de alta plasticidad (CH), siendo es positiva, ya que el IP que a medida que se proporciona más NaCl, decrece su IP, en un 28.7% respecto a la muestra.

A nivel Internacional, Guamán 2016, (Investig. N° 3), Identifica las propiedades de índice del suelo natural índice de suelo, de tipo de arcilla de alta plasticidad (CH, A-7), disminuye el IP en un 12.8% de la muestra natural; que NaCl cumple con lo señalado

por las Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del Ministerio de Obras Públicas de la república del Ecuador de la sección 402 (Mejoramiento de la subrasante), el cuál dice que el Índice de plasticidad tiene que ser máximo 9, por tanto que se comportaría de mejor manera el suelo estabilizado con Cloruro de Sodio que con Cal utilizando todos los porcentajes

A nivel Internacional, Garnica, Pérez et. Al 2002, (Investig. N° 4), determino que a medida que se incrementa el contenido de sal, a los materiales disminuyen su IP y Cuando ambos suelos tienen 10% de sal, pasan de arcillas de alta compresibilidad (CH), a arcillas de baja compresibilidad (CL).

Tabla 55

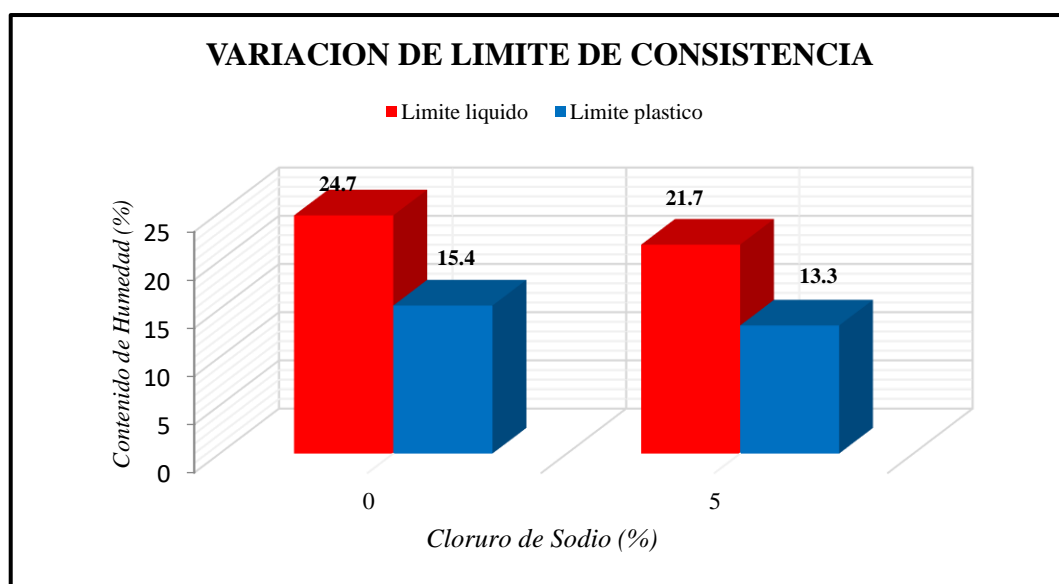
Características de Plasticidad de la Cantera Misk'uno – Wilakunka más el NaCl.

Material / NaCl	Límites de Consistencia		
	LL	LP	IP
Suelo + 0%NaCl	24.78	15.37	9.41
Suelo + 5%NaCl	21.67	13.28	8.39

Acotación: valores tomados del ensayo de consistencia.

Figura 51

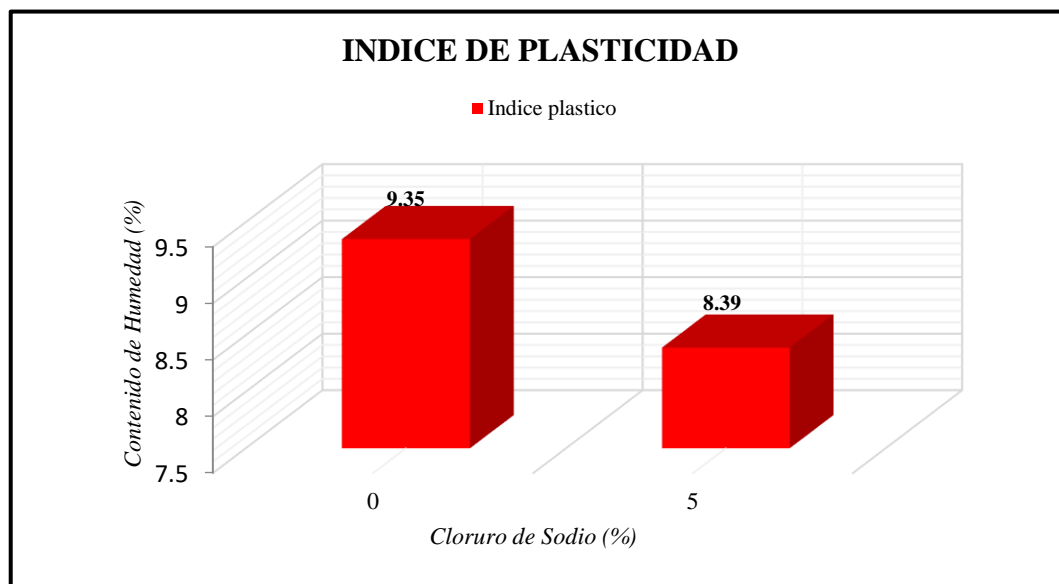
Variación de Límites de Consistencia Cantera Misk'uno - Wilakunka Añadiendo NaCl.



Acotación: Se visualiza en la figura 51, al incorporar NaCl a la muestra de suelo en un porcentaje de 5%, los valores decrecen mientras se incrementa NaCl, en las propiedades de límite líquido y límite plástico del suelo, en porcentajes que se muestran luego en la gráfica en un tipo de suelos CL.

Figura 52

Variación de Índice de Plasticidad Cantera Misk'iuno – Wilakunka añadiendo NaCl.



Acotación: Datos tomados de la diferencia del ensayo de LL, LP, en laboratorio.

La imagen 51, muestra la varianza de límite líquido que descendió, de 24.7% virgen y 21.7% modificada, y límite plástico 15.4% virgen a 13.3% modificada, de igual manera en la imagen 52, variación del índice de plasticidad virgen de 9.35% y una modificada de 8.39%, en los dos graficas descienden los valores, debido al agregar NaCl por su comportamiento como arena en el suelo, es por eso que reduce los valores como se visualiza. El efecto de realizar para porcentaje de 0%, 5% de cloruro de sodio.

2. Proctor modificado (Densidad seca máxima, Contenido de humedad óptimo).

Se obtiene densidad seca máxima y del Contenido de humedad óptimo.



En la tabla 56, nos proporciona el valor del contenido de humedad apropiado del suelo en estudio para que alcance su densidad seca máxima y a su vez obtenga su resistencia máxima. Se deduce que al disminuir el contenido de agua tiende a subir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. Y que el cloruro de sodio se comporta como arena dentro del molde de proctor.

Tabla 56

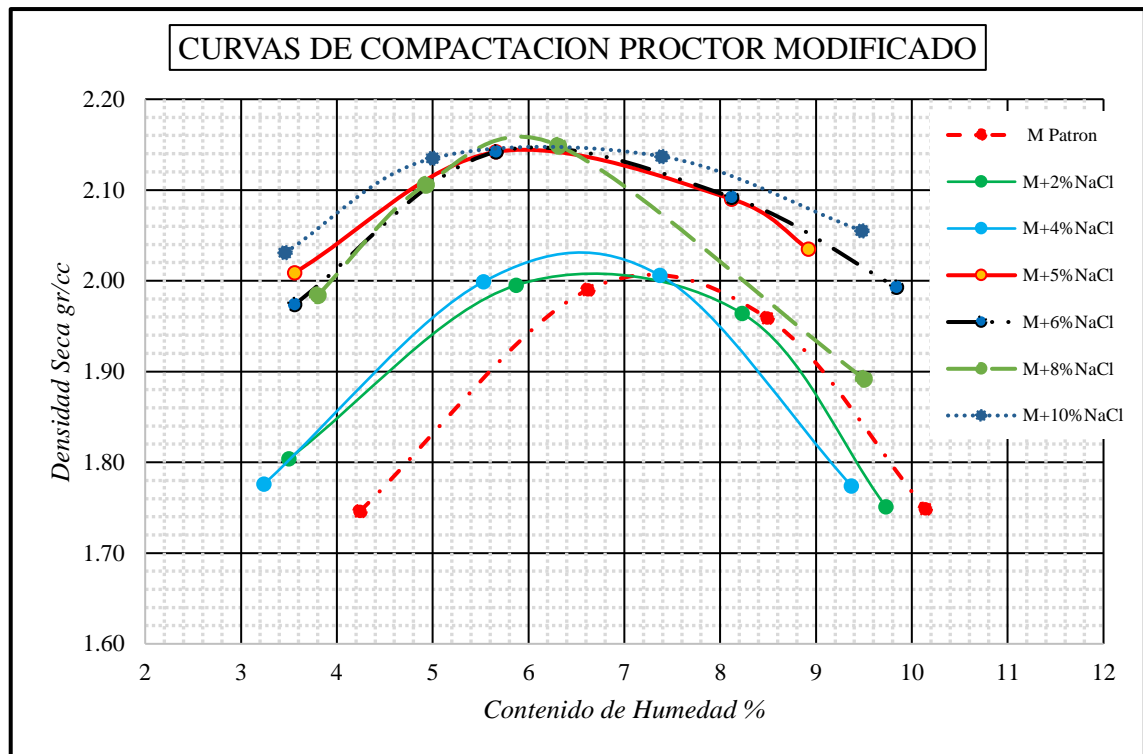
DSM – CHO de la Cantera Pampagrande - NaCl.

Material / NaCl	DSM ($\delta_{\text{máx.}}$) (g/cm³)	CHO (%)
Suelo + 0%NaCl	2.005	7.20
Suelo + 2%NaCl	2.018	6.90
Suelo + 4%NaCl	2.027	6.60
Suelo + 5%NaCl	2.149	6.30
Suelo + 6%NaCl	2.150	6.20
Suelo + 8%NaCl	2.152	6.10
Suelo + 10%NaCl	2.154	6.10

Acotación: *Se agregó NaCl en proporciones planteadas, también se tuvo que hacer complementarias para su cálculo de la dosificación óptima necesario. Estas densidades son obtenidas del proceso de compactación de suelo natural y modificado con NaCl, para cumplir con uno de nuestros objetivos de determinar la influencia en la densidad seca máxima incorporando NaCl, al suelo en estudio.*

Figura 53

Curvas de Compactación a Distintos Porcentajes de NaCl, Cantera Pampagrande.



Acotación: *Es el resumen total de la graficas del proctor modificado, para los porcentajes añadidos de cloruro de sodio en la muestra virgen.*

Como se puede apreciar, en la figura 53, la adición de NaCl contribuye al aumento del peso volumétrico seco máximo y a la disminución del correspondiente contenido de agua de compactación. Debido al comportamiento del cloruro de sodio como arena fina, grava, dentro del espécimen de suelo. Todos los gráficos de la composición de suelo más cloruro de sodio en porcentajes propuestos de compactación del sondeo de proctor modificado se mostrara en los anexos.

Tabla 57*Comparación del MDS y CHO Respecto a los Antecedentes de la Investigación*

Suelo / NaCl	Investig. N° 1		Investig. N° 2		Investig. N° 3		Investig. N° 4	
	$\delta_{\text{máx.}}$	CHO	$\delta_{\text{máx.}}$	CHO	$\delta_{\text{máx.}}$	CHO	$\delta_{\text{máx.}}$	CHO
0%	1.585	11.69	1.717	18.3	1.208	21.8	2.13	7.0
2%	-	-	1.777	14.8	1.211	14.1	2.21	7.2
4%	-	-	-	-	1.214	11.7	2.17	6.4
5%	-	-	1.803	12.9	-	-	-	-
6%	-	-	-	-	1.219	9.5	2.22	5.9
8%	1.592	11.65	-	-	-	-	2.18	5.8
10%	-	-	1.834	10.9	-	-	2.19	5.3
12.5%	1.603	11.62	-	-	-	-	2.22	5.2
16%	1.633	11.54	-	-	-	-	2.23	4.8
20%	-	-	1.875	8.8	-	-	-	-
30%	-	-	1.913	7.2	-	-	-	-
50%	-	-	1.914	6.8	-	-	-	-

A nivel regional, Mamani, 2022, (Investig. N° 1), en su tesis de pregrado, determino la influencia en la propiedad mecánica del suelo (CL, A-7-6(9)), que debido al aumento de NaCl, disminuye el contenido de humedad óptima en un 0.15% de la muestra patrón y de esta manera se incrementa la densidad máxima seca.

A nivel Nacional, Fernández 2016, (Investig. N° 2), en su tesis de pregrado, Analiza el comportamiento mecánico de los suelos con NaCl, (CH), tal como se muestra el incremento en la densidad seca máxima mientras se proporcione más NaCl, y esto favorece al contenido de humedad óptima por que disminuye en un 11.5% de la muestra patrón, se deben al incremento de los cristales de NaCl que se suman a los minerales de los suelos.

A nivel Internacional, Roldan de Paz, 2010, (Investig. N° 3), Analiza el comportamiento mecánico de los suelos para capa base y sub base de un suelo de tipo, arena limosa (SM), que la densidad seca máxima aumenta y el contenido de humedad óptima de compactación reducen con cada adición en porcentaje NaCl.

A nivel Internacional, Reyes, Camacho et. Al 2006. (Investig. N° 4), el efecto en las propiedades mecánicas que tiene introducir NaCl industrial en bases granulares, en un suelo granular, cuando más es el contenido NaCl como reemplazo de material granular, el contenido de humedad óptima decrece en un 2.2% de la muestra patrón, con relación a la densidad seca máxima con proporciones variables de NaCl las desviaciones con imperceptibles.

Tabla 58

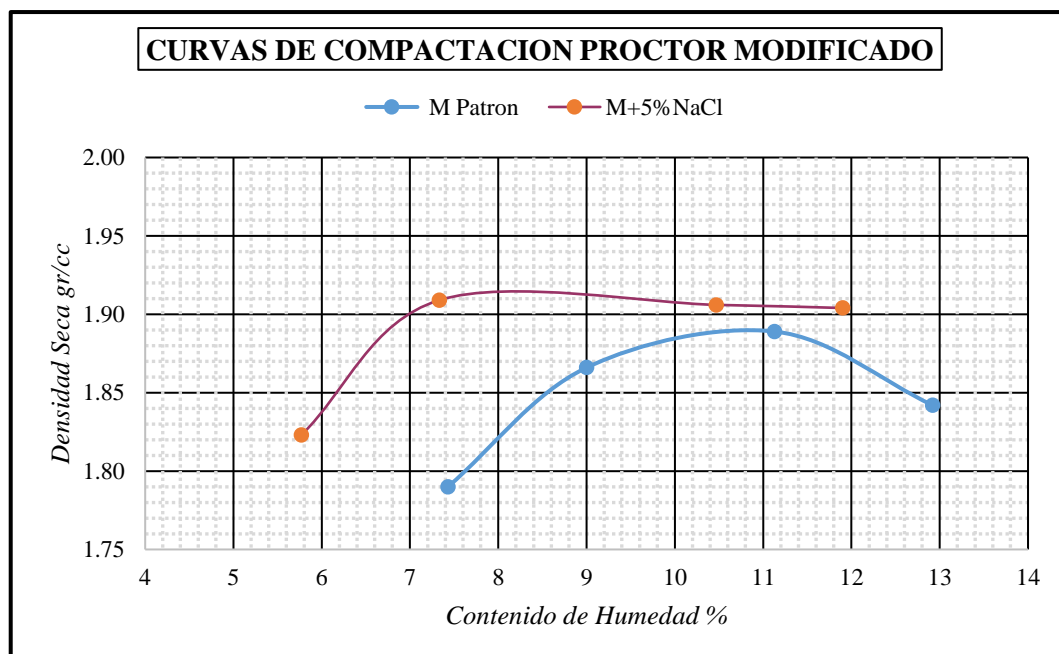
DSM – CHO de la Cantera Misk’iuno-Wilakunka para 0%y5% NaCl.

Material / NaCl	DSM ($\delta_{m\acute{a}x.}$)(g/cm ³)	CHO (%)
Suelo + 0%NaCl	1.892	10.70
Suelo + 5%NaCl	1.923	8.60

Acotación: *Valores del ensayo de compactación de método B.*

Figura 54

Curvas de Compactación de la Cantera Misk’iuno-Wilakunka al 0% y 5% NaCl.



Acotación: *La imagen detalla como asciende la MDS y desciende el CHO, debido a que al aumentar sal se disminuye la cantidad de agua.*

4. CBR - Expansión (Parámetros de resistencia al corte del suelo).

a. Relación de Soporte de California - CBR.

Considerando el modo de procedimiento del ensayo según las normas, con las proporciones propuesta de NaCl, luego de compactación, nivelado y reconocimiento de peso de la muestra en prueba, para su resistencia con el suelo y cumplido el tiempo se hace la lectura del trípode (deformímetro) y fue inmerso en la poza de agua durante 96 horas (4 días embebido), para luego ser sometido a la experimento de carga.

Tabla 59

Síntesis de Efectos en el Prueba CBR Cantera Pampagrande con NaCl.

Material / NaCl	CBR al 100% M.D.S. (%)	CBR al 95% M.D.S. (%)
Suelo + 0%NaCl	32.7	24.1
Suelo + 2%NaCl	39.5	26.0
Suelo + 4%NaCl	45.3	31.0
Suelo + 5%NaCl	73.5	50.3
Suelo + 6%NaCl	64.6	39.0
Suelo + 8%NaCl	52.3	31.7
Suelo + 10%NaCl	48.2	33.7

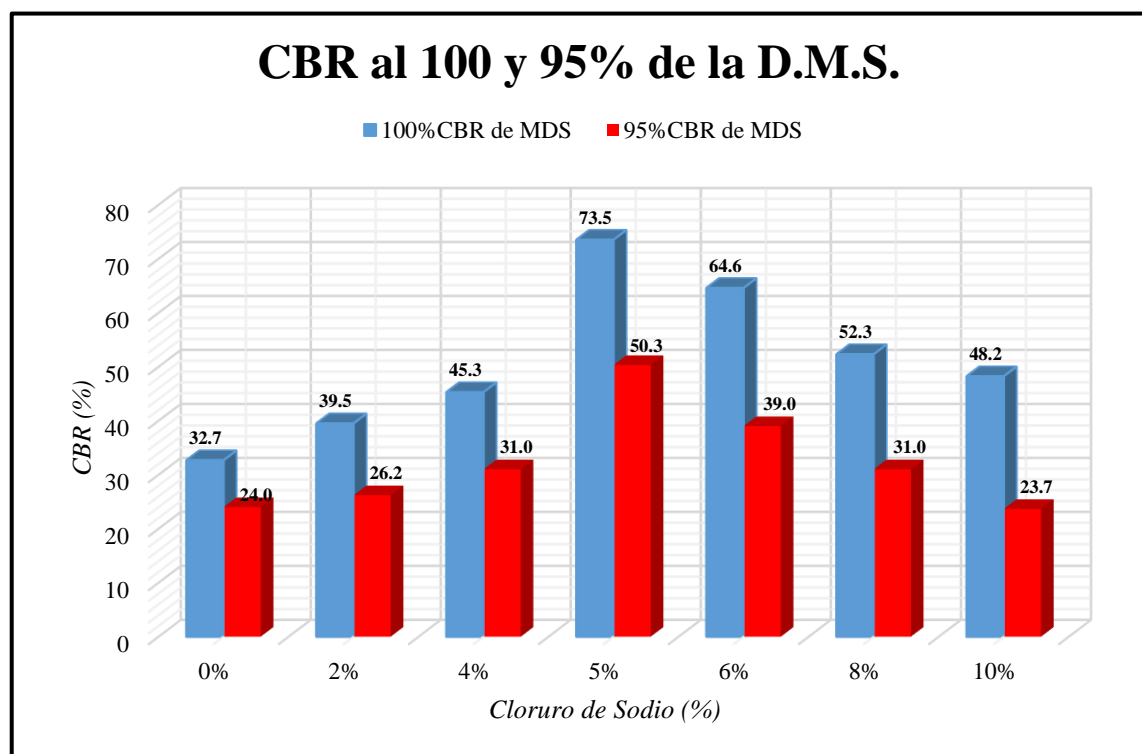
Acotación: *Se desarrolló tres ensayos en cada porcentaje de NaCl, las deducciones alcanzadas son el promedio de los ensayos realizados para nuestras combinaciones requeridas. Tanto para las energías de compactación de 56, 25, 12 golpes.*

Se observa en la tabla 59, para la energía de compactación de 56 golpes hay un incremento progresivo incorporando NaCl, quedan más “densas” cubriendo y distribuyendo uniformemente la muestra, es por ello, que el cloruro de sodio al actuar como una arena distribuyen de manera uniforme los esfuerzos al suelo dándole una mejor resistencia a la penetración. Sin embargo, en los porcentajes de cloruro de sodio al 6%, 8% y 10% el CBR disminuye lo cual nos hace deducir que a mayor cantidad de NaCl, ser diluyente y que ocupe más espacio en la muestra, y por su poca resistencia a la penetración,

se va avasallando así su CBR. Por lo tanto, *Para una energía de compactación de 56 golpes, referida al 100% MDS ($\delta_{dm\acute{a}x}$) y a una penetración de 0.1" (2.5mm) se observa que el CBR del suelo en estudio adicionando NaCl al 5% se incrementa considerablemente.*

Figura 55

Variación de CBR al 100% - 95% MDS – Cantera Pampagrande con NaCl.



Acotación: *Resultados del CBR del suelo virgen y modificado con cloruro de sodio, al energía de compactación de 56 golpes.*

En la figura 55, se visualiza como aumente el valor de CBR al 100% MDS, en proporciones 2%,4%,5%, para así llegar al contenido óptimo de NaCl, también en la tabla se ve claramente que en suelo más 5%NaCl, aumenta a un 73.5% de CBR, que resulta ser la más indicada, con esto podemos estar determinando la dosificación óptima para esta investigación. De esta manera satisface las especificaciones generales de la MTC.

Tabla 60

Comparación de resultados de CBR, con Antecedentes.

Suelo / NaCl	Investig. N° 1		Investig. N° 2		Investig. N° 3		Investig. N° 4	
	CBR 100%	CBR 95%	CBR 100%	CBR 95%	CBR 100%	CBR 95%	CBR 100%	CBR 95%
0%	5.33	4.00	2.00	1.70	99.70	94.70	83.00	78.80
2%	-	-	3.40	2.70	100.50	95.40	85.10	80.80
4%	-	-	-	-	97.43	92.56	86.60	82.27
5%	-	-	4.10	2.90	-	-	-	-
6%	-	-	-	-	98.02	93.12	88.60	84.17
8%	6.60	4.60	-	-	-	-	88.60	84.17
10%	-	-	4.90	4.00	-	-	85.10	80.80
12.5%	8.17	5.97	-	-	-	-	87.70	83.31
16%	10.93	7.27	-	-	-	-	88.30	83.40
20%	-	-	5.90	4.60	-	-	-	-
30%	-	-	8.10	6.00	-	-	-	-
50%	-	-	16.90	11.40	-	-	-	-

A nivel regional, Mamani, 2022, (Investig. N° 1), determino la influencia en la propiedad mecánica del suelo (CL, A-7-6(9)), dando resultados positivos en el CBR del 100% de su MDS, a medida que se incrementa el NaCl, los valores crecen de esta forma alcanzan a una categoría buena, incrementando en un 5,60% de la muestra patrón.

A nivel Nacional, Fernández 2016, (Investig. N° 2), Analiza el comportamiento mecánico de los suelos con NaCl, (CH), se aprecia el incremento de CBR respecto a la 100% de su MDS, en un 9.70% de valor de CBR, el crecimiento es positivo.

A nivel Internacional, Roldan de Paz, 2010, (Investig. N° 3), Analiza el comportamiento mecánico de los suelos para capa base y sub base de un suelo de tipo, arena limosa (SM), con la adición de NaCl, con una cantidad de NaCl el valor de CBR acrecienta y al adicionar más NaCl, el porcentaje de CBR permanece reduciendo, lo que muestra que el incluido más de NaCl perturba negativamente el porcentaje de CBR en la muestra.

A nivel Internacional, Reyes, Camacho et. Al 2006. (Investig. N° 4), el efecto en las propiedades mecánicas que tiene introducir NaCl industrial en bases granulares, en un



suelo granular, para una adición del 8% de NaCl y un incremento porcentual con respecto al material virgen del 23%. El incremento resulta en la proporciones en un 7 a 9 veces de la muestra patrón.

Elmer C. CH., 2018, donde determina la influencia del NaCl en la sub rasantes, se realiza 12 calicatas, donde se agrega NaCl, al 1%,2%,3%, por metro cubico del material, donde la densidad seca máxima en gr/cc varía desde 1.439, 1.454, 1.453 y el contenido óptimo de humedad en % 23.20, 21.40, 21.10 respectivamente, además los valores para el 100% de la DSM (%), 2.65, 4.16, 5.15, los valores son de la calicata 1, donde realizado los estudios se determina que el CBR del suelo acrecienta hasta en un 11% con respecto al patrón.

Tabla 61

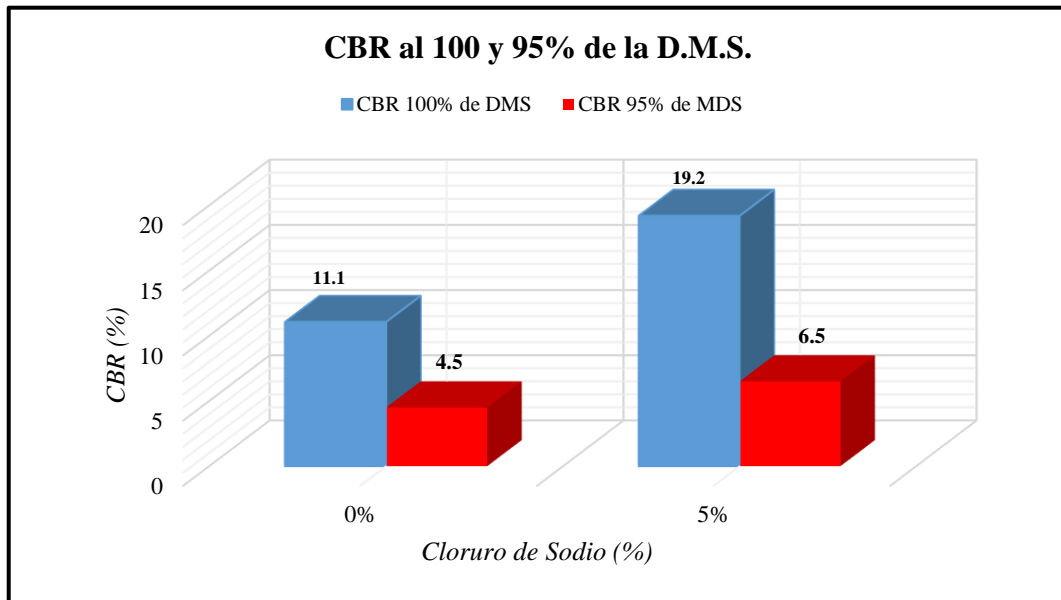
Resumen de Resultados del Ensayo CBR Cantera Misk'iuno - Wilakunka - NaCl

Material / NaCl	CBR al 100% MDS. (%)	CBR al 95% MDS. (%)
Suelo + 0%NaCl	11.1	4.50
Suelo + 5%NaCl	19.2	6.50

Acotación: *Adaptado del ensayo de CBR, se realiza con el resultado de la dosificación optima de NaCl para la muestra de suelo GM, siendo en 5%NaCl, con este dato se hace pruebas complementarias para el suelo CL, para un 0% y 5% NaCl, para ver cómo se comporta el NaCl en este tipo de suelos.*

Figura 56

Variación de CBR al 100%, 95% de la MDS – Cantera Misk'uno - Wilakunka con NaCl.



En la imagen 56, se visualiza como aumenta el valor de CBR al 100%, en proporciones 0%,5%, se experimenta el contenido óptimo de 5%, NaCl, también en la tabla 54, se ve claramente que en suelo más 5%NaCl, aumenta a un 19.2% de CBR, con este resultado estamos valorando que en este tipo de suelo CL asciende, pero aun así no cumple con especificaciones generales de la MTC.

Con respecto, a discusiones sobre el tema comparando los antecedentes:

b. Expansión.

La medida de expansión se efectuó intrínsecamente de la prueba de CBR, aplicando el deformímetro junto con el trípode y tratando de realizar lecturas de la muestra en ensayo cada 24 horas, durante 96horas (4días).

Tabla 62

Resultados de Expansión de la Cantera Pampagrande de la Muestra en Estudio.

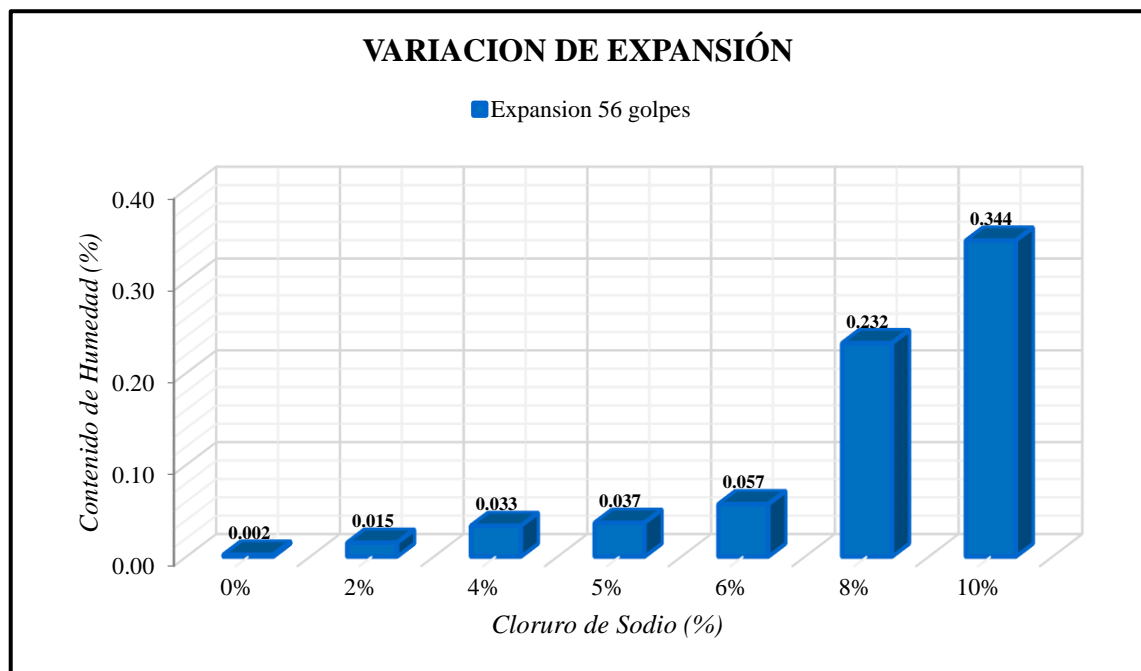
Material/NaCl	Símbolo	Expansión		
		56	25	12
Suelo + 0%NaCl	S/0NaCl	0.002	0.047	0.032
Suelo + 2%NaCl	S/2NaCl	0.015	0.140	0.163
Suelo + 4%NaCl	S/4NaCl	0.033	0.093	0.043
Suelo + 5%NaCl	S/5NaCl	0.037	0.047	0.247
Suelo + 6%NaCl	S/6NaCl	0.057	0.067	0.043
Suelo + 8%NaCl	S/8NaCl	0.232	0.053	0.817
Suelo + 10%NaCl	S/10NaCl	0.344	0.813	0.030

Acotación: Se visualiza en la tabla que S/5NaCl, se denomina suelo natural más 5% de cloruro de sodio, se va agregando en proporcionalmente según lo planteado.

Los valores de expansión son exhibidos en las Tabla 62, en las que se aprecia la muestra mezclado con suelo en proporciones propuestas, plasmamos una observación de aumento mínimo de la expansión por lo que el material puede ser una alternativa.

Figura 57

Variación de Expansión vs Dosificación Cantera Pampagrande - NaCl.





Acotación: Datos tomados del CBR, sumergidos en una poza de agua y con lectura cada 24 horas.

De la figura 57, tabla 62, se observa la expansión del suelo con adición de NaCl en sus diferentes compensaciones formuladas. La expansión al 100% de la MDS ($\delta_{dm\acute{a}x}$) y a una penetración de 0.1” (2.5mm) con adición de del cloruro de sodio al 2%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10% los porcentajes óptimos de cloruro de sodio que mejora la resistencia al suelo, son desde 0.002%,0.015%,0.033%, 0.037%, 0.057%, 0.232% y 0.344%. Debido a que las especificaciones implantan que los materiales de préstamo para: “**Sub Base deben tener expansiones menores de 2% y para Base deben tener expansiones menores de 1%** .Lo cual nos indicaría que la expansión de nuestro suelo con adición al 2%, 4%,5%,6%,8%,10% de cloruro de sodio se acercan o están dentro de esta condición, (Universidad Nacional de Ingeniería, FIC CISMID, CBR)”. (Chang, 2005, pág. 4)

Tabla 63

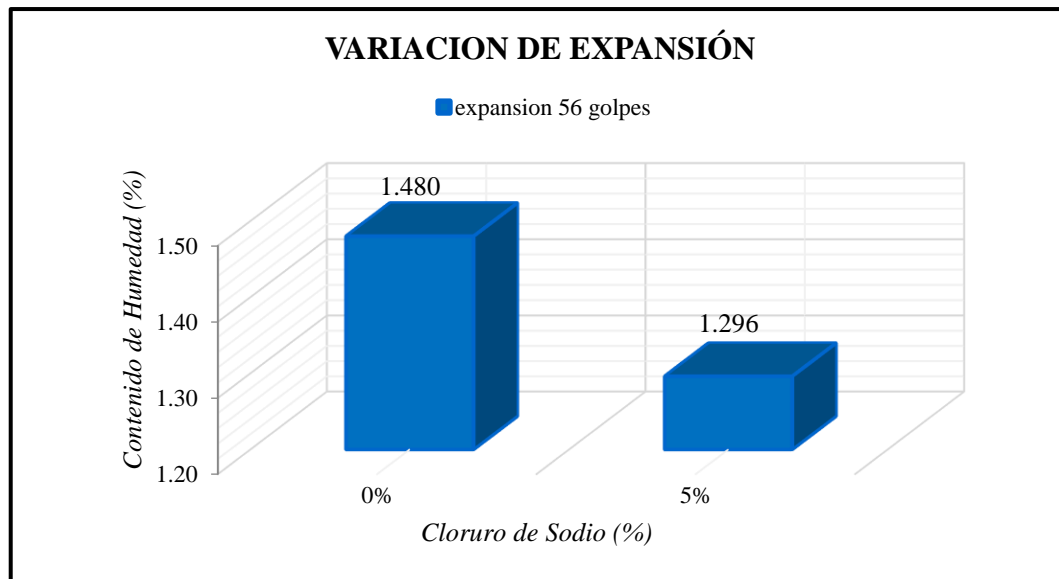
Variación Expansión de la Cantera Misk’iuno-Wilakunka - NaCl.

Material/NaCl	Símbolo	Expansión		
		56	25	12
Suelo + 0%NaCl	S/0NaCl	1.480	1.530	1.640
Suelo + 5%NaCl	S/2NaCl	1.292	1.370	1.450

Acotación: Extraído del ensayo de CBR.

Figura 58

Variación de Expansión vs Dosificación Cantera Pampagrande con Aditivo NaCl.



Acotación: *referenciado del sondeo de CBR.*

En la tabla 63, la expansión descende respecto a la inicial en los tres especímenes tanto, de 56, 25, 12golpes de nuestro ensayo en estado virgen (0% NaCl) es, 1.48%,1.53%, 1.64%, y la modificada (5%NaCl) es, 1.292%, 1.37%, 1.45%, respectivamente, y la imagen muestra claramente para una energía de compactación de 56 golpes.

5. Ensayo de Durabilidad Suelo-Cloruro de Sodio Compactadas.

Se analiza los resultados obtenidos de 2 ciclos, según la norma se debe de realizar 12 ciclos pero nuestros especímenes no soportaron apenas llagaron, quedando desplomados.



Tabla 64

Cambios de Volumen de Mezcla Suelo- NaCl.

Ensayo	Material	Volumen Inicial (cc)	Volumen Final (cc)
Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo – NaCl	S/0NaCl	408.88	177.76
	S/2NaCl	402.59	158.01
	S/4NaCl	345.02	262.99
	S/5NaCl	401.72	207.64
	S/6NaCl	403.96	186.46
	S/8NaCl	365.55	168.34
	S/10NaCl	279.38	NP

Acotación: *Dicha prueba se ejecuta para la conformidad de la investigación, siendo que estos ensayos se realizan en estabilizaciones con materiales puzolanicos (cemento – cal- MTC- EG2013), es por ello que quiero indicar que ninguno de los especímenes ha cumplido con los 12 ciclos indicados por la norma, llegaron hasta 1° Ciclo y otros apenas al 2° Ciclo.*

En el estudio se observó la varianza de volúmenes de los especímenes, aun estos siendo mezclados con NaCl, este suelo tampoco soporto los cambios de volumen hasta los 12 ciclos. Se nota que en las dosificaciones NaCl el suelo se expande en todo los porcentajes.

Tabla 65

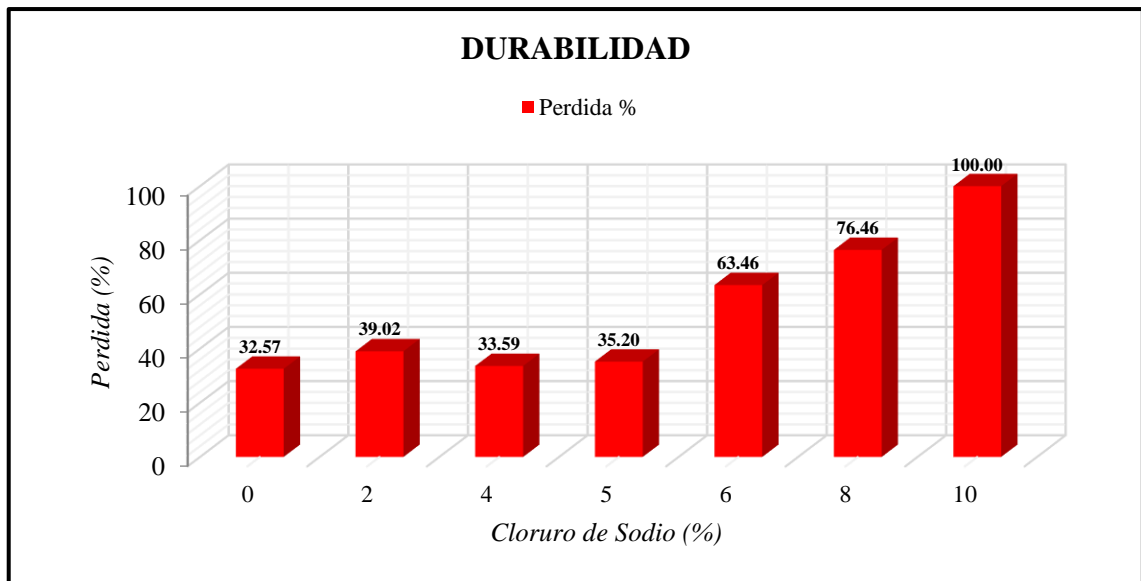
Durabilidad de Probetas Suelo - NaCl Modificada.

Ensayo	Símbolo	Perdida %	Observaciones
Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo – NaCl	S/0NaCl	32.57	No terminaron los 12 ciclos, llegaron al 1° y apenas al 2° ciclo.
	S/2NaCl	39.02	
	S/4NaCl	33.59	
	S/5NaCl	35.20	
	S/6NaCl	63.46	
	S/8NaCl	76.46	
	S/10NaCl	100.00	

Acotación: *Porcentaje de pérdidas para especímenes sometidos a desgaste, datos obtenidos del ensayo de durabilidad para mezcla suelo –NaCl.*

Figura 59

Evolución del Porcentaje de Perdida de Material.



En la tabla 65, fig. 59, se observa que el porcentaje de pérdidas en cada de los especímenes disminuyen a pesar que no cumplieron los 12 ciclos, en los porcentajes del 4%, 5% de NaCl, paralelamente se evidencio que los especímenes del 2%,6%, 8%, 10% de cemento tuvieron baja durabilidad. El porcentaje de pérdidas se calculó, por medio de dividir la diferencia entre la masa original seca al horno calculada y la masa seca al horno final corregida, sobre la masa original seca al horno calculada; para poder realizar la corrección de la masa seca al horno final, se tuvo en cuenta los valores promedios de agua retenida.

4.2.2. Cotejo del Suelo sin Estabilizar y Estabilizado

En la tabla 60, se visualiza el valor de CBR de nuestro suelo sin estabilizar es 32.70% resultando este no idóneo para la disposición de nuestra sub-base o base. La adición de cloruro de sodio en porcentajes de 2%, 4%, 5%, podemos observar un incremento en el CBR siendo este idóneo con excepción del 2%, para la colocación de la sub base o base de nuestro asfalto; en el CBR se adiciona NaCl en porcentajes de 6%,

8%, y 10%, disminuye el CBR siendo aún idóneo para la colocación de nuestro sub base, y no cumple para la base. Se analiza también en la expansión, que mientras más se aumenta la expansión aumenta de forma progresiva, entonces tener cuidado, al momento de elegir el porcentaje adecuado para utilizar, cada proporción dependerá del tipo de suelo. De la misma manera obtenida el porcentaje de dosificación óptima de 5% NaCl, se pone en prueba en otro tipo de suelo, en la tabla 45, resultando un CBR inicial 11.1% e incorporando %5 NaCl es de 19.1%, de esa manera aumenta el valor de soporte relativo en las dos canteras de Pampagrande y Misk'iuno – Wilakunka.

4.2.2.1. Verificación de Resultados con la Norma.

Los requerimientos de la EG-2013, en su SECCIÓN 402 Sub bases granulares para materiales que van a satisfacer la capa de Sub Base del pavimento, detallamos los efectos en los resultados ejecutados en laboratorio para nuestra investigación en las tablas detallaremos los resultados realizando una comparación respecto a las especificaciones generales 2013. Se ara la comprobación con los exigencias de la EG-2013 para la capa sub base de un pavimento.

Tabla 66

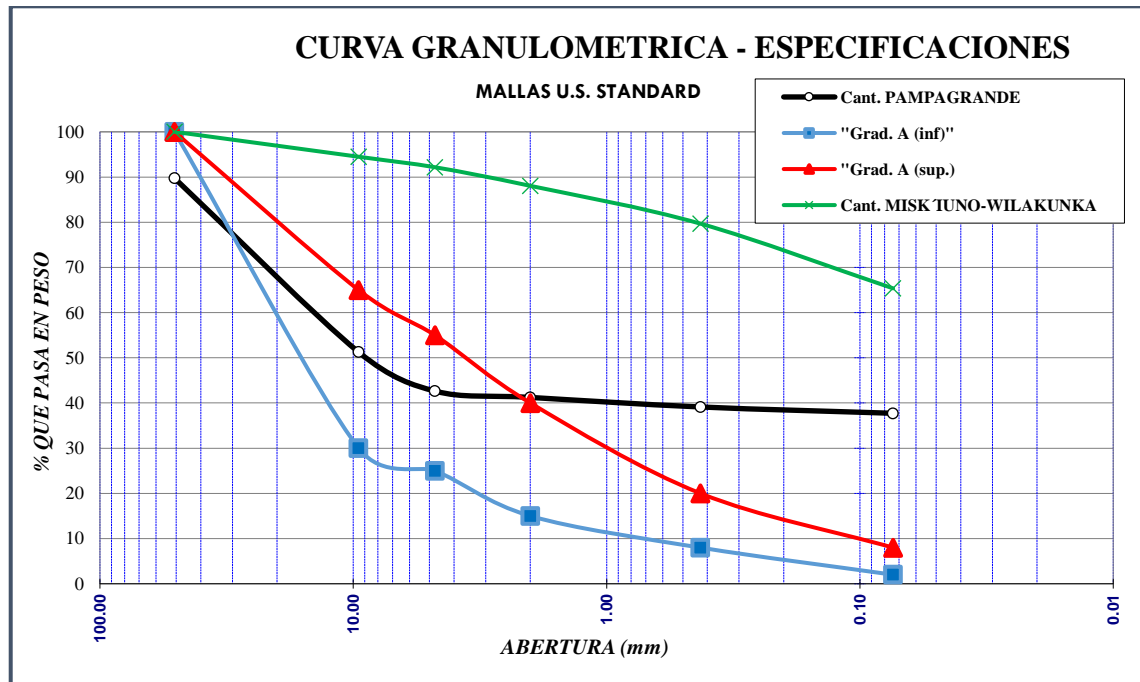
Contrastación de la Granulometría de Sub Base Granular, Según la EG-2013.

N° de mallas	Abert. de Mall. (mm)	Cantera Pampagrande % Que pasa	Cantera Misk'iuno-Wilakunka % Que pasa	Especif. EG-2013 Gradación A
2"	50.80mm	89.75	100.00	100
1"	25.00mm	-	-	-
3/8"	9.525mm	51.26	94.49	30 – 65
N° 4	4.760mm	42.64	92.16	25 – 55
N° 10	2.000mm	41.23	88.04	15 – 40
N°40	425um	39.12	79.68	8 – 20
N°200	75um	37.72	65.37	2 – 8

Acotación: según la EG-2013, indica que la gradación "A" para zonas cuya altitud sea ≥ 3000 msnm. La zona donde se investiga está a 3840 msnm.

Figura 60

Curva Granulométrico según EG-2013 para Sub Base.



En la tabla 66, se muestra el resultado del ensayo de granulometría de la cantera de Pampagrande muestra de estudio, los porcentajes que pasa las mallas, se asemeja algunos datos que están dentro de la curva granulométrica, y la cantera Misk'ituno-Wilakunka se aleja de la curva, para las dos caos se utiliza la gradación A, en cada malla nos indica que porcentaje debe de pasar, dichos resultados están dentro y fuera de los límites de la franja especificada según la EG-2013, como se está ilustrando en la figura 60.

4.2.2.2. La Elección del Porcentaje de Cloruro de Sodio.

Para nuestro proyecto la elección ideal será en función de nuestros resultados de nuestros ensayos realizados para este tipo de suelo GM, de la cantera en estudio:



Nos basaremos a la proporción mínima de sal que al menos que satisfaga las especificaciones de EG 2013 para climas mayores de 3000msnm analizamos el 5% NaCl, según los requerimientos el CBR min 40%, nuestro resultado es mayor de 73.50%, es necesario que nuestro CBR sea lo mayor posible ya que esto nos ayudara a reducir costos en la conformación de base y carpeta rodadura. (una de las Funciones de la sub base reducir el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la base, (Fonseca), analizando el limite liquido según las especificaciones al agregar 5%NaCl, LL=23.96% que es inferior a lo requerido 25% max, nos vamos a analizar el índice plástico es de IP=3.99%, que está dentro de lo requerido que es 4% max, analizando las condiciones climatológicas de nuestro estudio obteniendo resultados desfavorables en todas las proporciones, siendo no muy malo el porcentaje de perdida basado en 35.20% la perdida de material es casi inferior a los demás excediendo 25.2% de lo requerido que $\%P=10\%$ para este tipo de suelos, es uno de los motivos que se opta por la proporción de suelo + 5%NaCl, además siendo la dosificación optima de NaCl en la muestra de suelo.

Tabla 67

Contrastación de Resultados del Porcentaje Combinado con Cloruro de Sodio de la Investigación, Frente a la EG-2013

CANTERA PAMPAGRANDE	REQUERIMIENTO EG-2013	PORCENTAJE DE CLORURO DE SODIO (solo para CBR, Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1”(2.5 mm))								
		≥ 3000msnm	0%	2%	4%	5%	6%	8%	10%	
Abrasión los Ángeles	50% máx.		40.51	--	--	--	--	--	--	--
CBR	40% min		32.7	39.50	45.30	73.50	64.60	52.30	48.20	
Limite líquido	25% máx.		30.65	27.10	25.69	23.96	23.40	22.74	21.39	
Índice de plasticidad	4% máx.		6.80	5.13	4.93	3.99	3.84	3.52	3.09	
Sales solubles	1% máx.		0.0016	--	--	--	--	--	--	--
Durabilidad	A-4, 10% (inv.)		32.57%	39.02%	33.59%	35.20%	63.46%	76.46%	100%	

Acotación: Varios investigadores (Dubey y Jain, 2015; Guttikonda y Abhilash, 2018) han investigado los efectos de las sales populares en el índice, las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en lugar de los suelos semiáridos como los suelos de algodón negro, los suelos expansivos (Durotoye et al. 2016), suelos arcillosos (Peddaiah y Suresh, 2017; Afrin, 2017), suelos arcillosos limosos (Abood et al. 2007). Ambos estudios previos han demostrado que la adición de diferentes porcentajes de aditivos de sal condujo al aumento de la densidad seca máxima y la disminución del contenido óptimo de agua y el incremento en el CBR. Además, a medida que aumentaba el contenido de sales, disminuían los límites de Atterberg y el índice de plasticidad.



La tabla 67, Se realiza los ensayos según los requerimientos para sub base granular EG-2013, como se muestra, para la prueba de abrasión los ángeles 40.41% de deterioro de muestra natural que está dentro lo establecido que máximo 50% ($40.41\% < 50\%$), para el CBR indica mínimo 40%, la EG2013, en nuestros resultados para proporciones propuestas de NaCl, en 0%, 2%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10%, al 100% de la MDS, y una penetración de carga de 0.1”(2.5mm), nos da como resultados de 32.70%, 39.50%, 45.30%, 73.50%, 64.60%, 52.30%, 48.20%, de la misma manera los resultados de limite liquido máximo es 25%, mientras más cloruro de sodio se aumente, baja su estado líquido de nuestra, se realizó para las 7 proporciones de mezcla dando resultados de 30.65%, 27.40%, 25.69%, 23.96%, 23.40%, 22.74%, 21.39%, son los resultados están dentro del parámetro establecidos, de (5%, 6%, 8%, 10%), de la misma manera para el índice de plasticidad como máximo es 4%, de la misma manera va de forma descendiente nuestros resultados debido al aumento de cloruro de sodio, los resultados son 6.80%, 5.13%, 4.93%, 3.99%, 3.84%, 3.52%, 3.09%, están dentro del indicador desde el porcentaje de 5%, 6%, 8%, 10% de NaCl, que cumple lo establecido en la norma, de la misma manera para sales solubles máximo 1%, se refiere a los cloruros y nitratos que contiene en la muestra de suelo, el tanteo es de 0.001622%, está dentro de lo establecido por la norma. Como se muestra en nuestros resultados la mayor parte de los datos se arriman a la norma EG-2013, sub base granulares, con estos datos podemos decir que el porcentaje óptimo de NaCl para esta cantera es de 5%.

4.2.3. Análisis Estadístico.

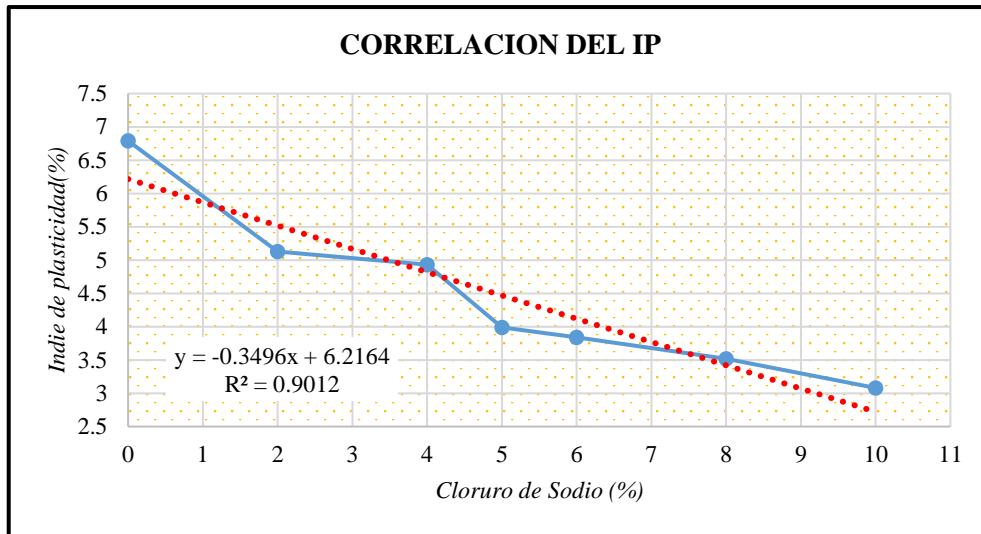
4.2.3.1. Correlación de la Cantera Pampagrande.

El Valor de significancia es mínimo que 0.05 (horizonte de significancia elegido).

a) Correlación del Índice de Plasticidad.

Figura 61

Similitud de IP.

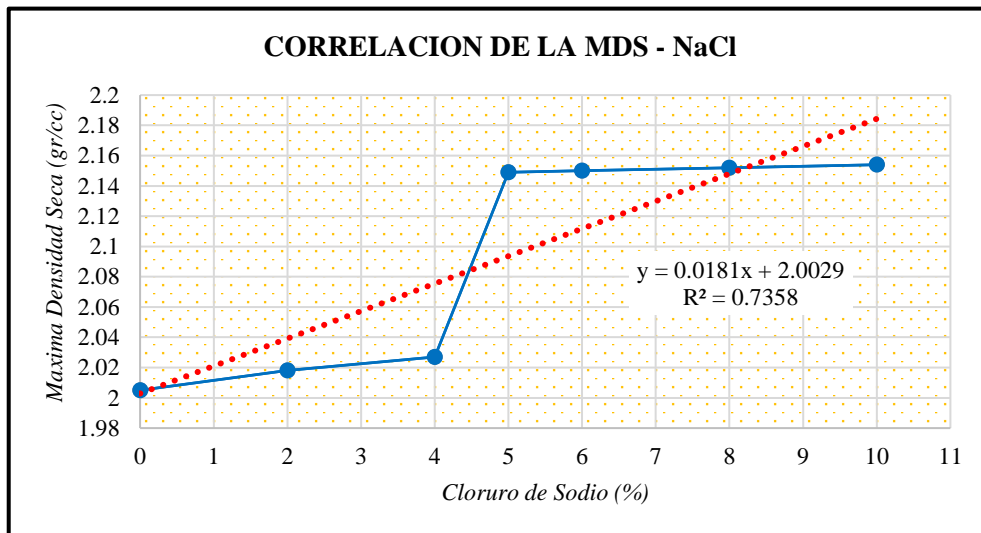


Acotación: *Correlación de índice de plasticidad de 0% al 10% de NaCl.*

b) Correlación para la Máxima densidad seca y contenido de humedad óptimo

Figura 62

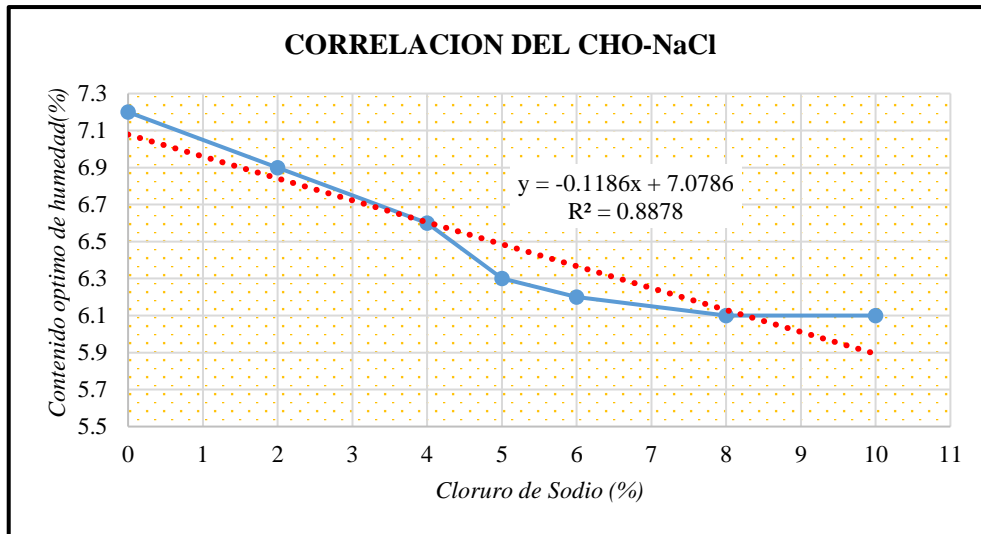
Similitud de la MDS respecto al CHO.



Acotación: *el análisis de Correlación su estado de suelo virgen y modificado con NaCl en proporciones de 2%,4%,5%,6%,8%,10%, planteados.*

Figura 63

Similitud del CHO respecto a MDS.

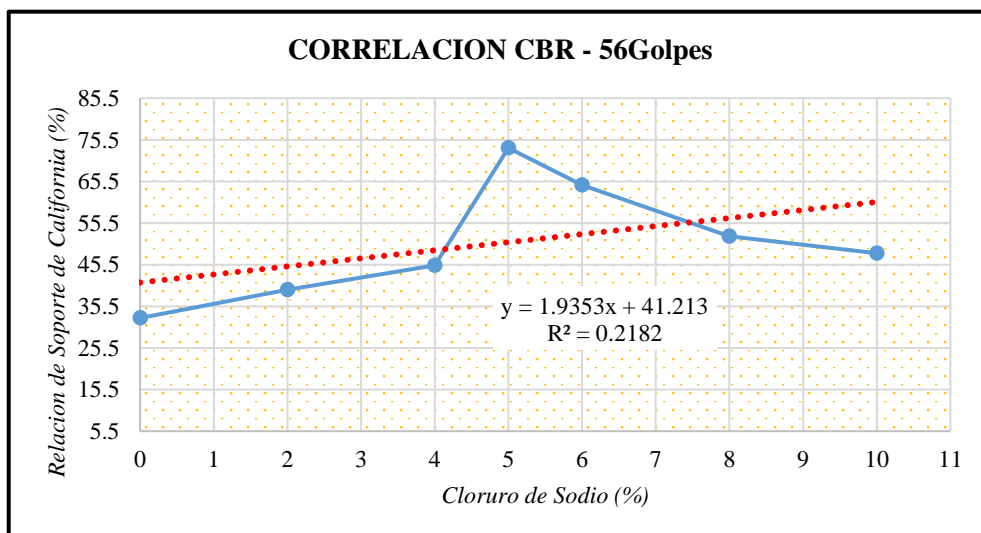


Acotación: con suelos natural e incorporado NaCl, para la cantera de Pampagrande, que se realizaron cuidadosamente.

c) **Correlación para california bearing ratio CBR – expansión.**

Figura 64

Relación de CBR a los 56 Golpes.

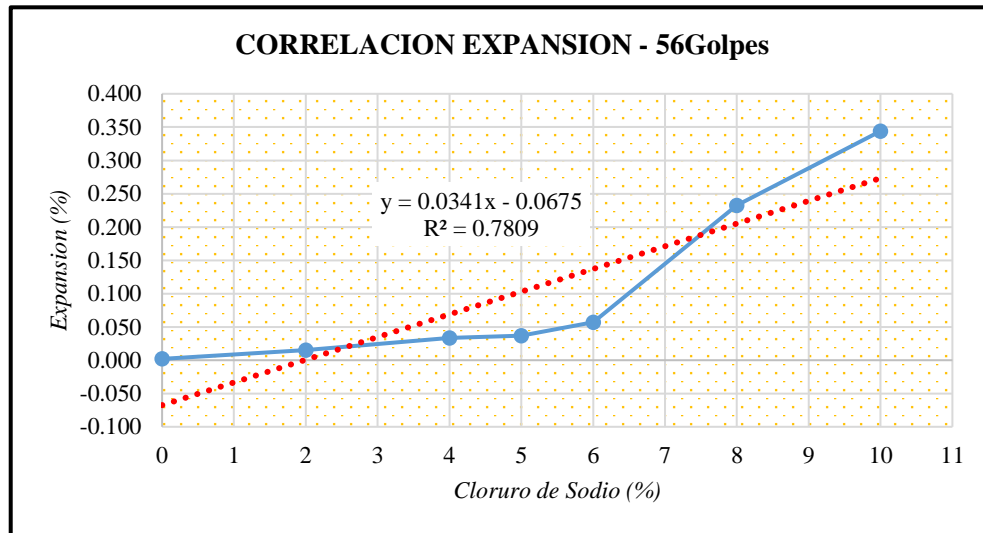


Acotación: El análisis realizado para dicho fin del ensayo de CBR a los 56 golpes se realiza para cada prueba tres especímenes de donde se saca el promedio de CBR, y

son los datos que están representados, del suelo natural e incorporado de cloruro de sodio en sus respectivos porcentajes.

Figura 65

Similitud de la Expansión a los 56 Golpes.



Acotación: Análisis de la similitud de expansión con energía de compactación de 56 golpes, para la cantera de Pampagrande, en estado de suelo natural y al 0%, 2%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10%, de incorporaciones NaCl.

4.2.3.2. Prueba de Hipótesis para la Cantera de Pampagrande.

a) Prueba presunción de índice de plasticidad

Se calcula el factor de similitud Pearson con el método:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2] [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2]}} = 0.9433$$

El resultado y de la tabla valor significancia se determina que tiene una **correlación negativa muy alta**, por lo tanto, se observa que consta una correspondencia inmediata entre las variables de IP respecto al porcentaje de NaCl incorporando a la muestra natural.

Calculamos los valores experimentales: r^2 , gl, t, p:



$$r^2 = 0.9012$$

$$G1 = 6$$

$$t = 6.7545$$

$$p = 0.009$$

Se visualiza a que el experimento tiene un ajuste admisible del 90.12% de la diferencia con el IP con la adición del NaCl a la muestra de suelo natural. Puesto que el IP en el suelo natural es de 6.80%.

a) Ensayo de suposición para $p \neq 0$, teniendo la suposición esquema:

$$H_0: p = p_0$$

$$H_a: p \neq p_0$$

H_0 : La influencia en las propiedades de *índice de plasticidad no son aceptables* (*Disminución del índice de plasticidad*) estabilizado con cloruro de sodio, no tornando idóneo para su aplicación en la conformación de la sub base.

H_a : La influencia en las propiedades de *índice de plasticidad son aceptables* (*Disminución del índice de plasticidad*) estabilizado con cloruro de sodio, tornando idóneo para su aplicación en la conformación de la sub base.

Dónde:

H_0 : Suposición Nula

H_a : Suposición Alterna

b) nivel de significación “ α ”: $\alpha = 0.05$

c) la norma de disposición es:

Si: $p > \alpha$: admitimos H_0 y refutamos la H_a

Si: $p < \alpha$: refutamos H_0 y admitimos la H_a

$$p < \alpha$$

$$0.009 < 0.05$$

- d) **Conclusión:** Puesto que, $p < \alpha$, consta suficiente certeza que $p \neq 0$, por tanto la semejanza es disímil de cero. Esto aprueba las consecuencias de la correspondencia encontrada. Por tal atribución se admite la suposición alterna H_a : La influencia en las propiedades de *índice de plasticidad son aceptables (Disminución del índice de plasticidad)* estabilizado con cloruro de sodio, tornando idóneo para su aplicación en la conformación de la sub base.
- e) De la situación determinada de prueba guía H_a idónea, se puede confirmar mostrando por consiguientes efectos:

Tabla 68

Corroboración de calidad del Experimento Estadística Diseñada para IP.

Cantera Pampagrande	Cloruro de Sodio (%)						
	0%	2%	4%	5%	6%	8%	10%
Índice de Plasticidad	6.80%	5.13%	4.93%	3.99%	3.84%	3.52%	3.09%

Acotación: Cuadro de resumen de índice de plasticidad incorporando cloruro de sodio en porcentajes planteados.

b) Prueba presunción de la Máxima Densidad Seca y el porcentaje de NaCl.

Se calcula el factor de correspondencia Pearson con el método:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2] [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2]}} = 0.8577$$

El resultado y de la tabla valor significancia se establece que tiene una **Correlación positiva alta**, por lo tanto, se observa que consta una correspondencia inmediata entre las variables de MDS, esta se da cuando una variable se acrecienta acorde la otra se amplía respecto al porcentaje de cloruro de sodio incorporando a la muestra natural.

Calculamos los valores experimentales: r^2 , gl, t, p:

$$r^2 = 0.7358$$



$$Gf = 6$$

$$t = -3.7313$$

$$p = -0.016$$

Se visualiza a que el experimento tiene un ajuste admisible del 73.58% de la diferencia con la máxima densidad seca con la adición del NaCl a la espécimen de suelo natural. Por tanto, la densidad seca máxima en el suelo natural es de 2.005gr/cc.

a) Ensayo de suposición para $p \neq 0$, obteniendo la suposición estadística:

$$H_0: p = p_0$$

$$H_a: p \neq p_0$$

H_0 : La influencia en las propiedades de *densidad seca máxima no mejora* con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía, justificado mediante el sondeo de Proctor Modificado.

H_a : La influencia en las propiedades de *densidad seca máxima mejora* con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía, justificado mediante el sondeo de Proctor Modificado.

Dónde:

H_0 : Suposición Nula

H_a : Suposición Alterna

b) horizonte de consideración " α ": $\alpha = 0.05$

c) La norma de disposición es:

Si: $p > \alpha$: admitimos H_0 y refutamos la H_a

Si: $p < \alpha$: refutamos H_0 y admitimos la H_a

$$p < \alpha$$

$$-0.016 < 0.05$$

- d) **Conclusión:** Puesto que, $p < \alpha$, consta suficiente certeza que $p \neq 0$, por tanto la semejanza es disímil de cero. Esto aprueba las consecuencias de la correspondencia encontrada. Por tal atribución se admite la suposición alterna H_a : La influencia en las propiedades de *densidad seca máxima mejora* con la adición del cloruro de sodio de la sub base para vía, justificado mediante el sondeo de Proctor Modificado.
- e) De condición específica de ensayo guía H_a aprobada, se puede confirmar exponiendo los siguientes efectos:

Tabla 69

Corroboración de calidad del Experimento Estadística Diseñada para MDS.

Cantera Pampagrande	Cloruro de Sodio (%)						
	0%	2%	4%	5%	6%	8%	10%
M.D.S. (gr/cc)	2.005	2.018	2.027	2.149	2.150	2.152	2.154

Acotación: Cuadro de resumen del máximo densidad seca realizado del sondeo de proctor modificado, incorporando cloruro de sodio en porcentajes planteados.

c) Prueba presunción de CBR a 56 golpes. Con porcentaje de NaCl.

Se calcula el factor de semejanza Pearson con el método:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2][\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n\bar{Y}^2]}} = 0.4671$$

El resultado y de la tabla valor significancia se determina que tiene una *correlación positiva moderada*, por lo tanto, se observa que existe una correspondencia directa entre las variables del valor de CBR, esta se da cuando una variable reduce acorde la nueva se acrecienta respecto al porcentaje de NaCl incorporando a la prototipo original.

Calculamos los valores experimentales: r^2 , gl, t, p:

$$r^2 = 0.2182$$

$$Gl = 6$$

$$t = -1.1814$$



$$p = -0.051$$

Se visualiza a que el experimento tiene un ajuste admisible del 21.82% de la diferencia con el valor de CBR con la adición del NaCl al prototipo de suelo natural. Puesto que, valor relativo de soporte en el suelo natural es de 32.7%.

a) Ensayo de suposición para $p \neq 0$, teniendo la suposición estadística:

$$H_0: p = p_0$$

$$H_a: p \neq p_0$$

H_0 : La influencia en las propiedades de *valor de soporte relativo no mejoran* con la adición del cloruro de sodio de la sub base para vía, justificado mediante el sondeo de CBR.

H_a : La influencia en las propiedades de *valor de soporte relativo mejora* con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía, justificado mediante el sondeo de CBR.

Dónde:

H_0 : Hipótesis Nula

H_a : Hipótesis Alternativa

b) horizonte de consideración " α ": $\alpha = 0.05$

c) la norma de disposición es:

Si: $p > \alpha$: admitimos H_0 y contradecimos la H_a

Si: $p < \alpha$: impugnamos H_0 y admitimos la H_a

$$p < \alpha$$

$$-0.051 < 0.05$$

d) **Conclusión:** Dado que $p < \alpha$, consta suficiente certeza que $p \neq 0$, por tanto la semejanza es disímil de cero. Esto aprueba las consecuencias de la correspondencia encontrada. Por tal atribución se admite la suposición alterna H_a : La influencia en las

propiedades de *valor de soporte relativo mejoran* con la adición del cloruro de sodio de la sub base para la vía, justificado mediante en el sondeo de CBR.

- e) De condición específica de prueba guía H_a aprobada, se puede confirmar exponiendo los consiguientes efectos:

Tabla 70

Corroboración de calidad del Experimento Estadística Diseñada para CBR

Cantera Pampagrande	Cloruro de Sodio (%)						
	0%	2%	4%	5%	6%	8%	10%
CBR (%)	32.7%	39.5%	45.3%	73.5%	64.6%	52.3%	48.2%

Acotación: Cuadro de resumen los valores de la prueba de CBR, incorporando NaCl en porcentajes planteados. Los resultados son el promedio de las 3 pruebas realizadas para cada porcentaje añadiendo el NaCl.

4.2.4. Análisis de Costo Unitario Suelo - NaCl.

El ACU de material - NaCl por ($1m^3$) metro cubico para la cantera Pampagrande.

I. Las observaciones se realizan para 5 Kg de Material de Yacimiento.

Los resultados son detallados en anexos 2 de la investigación, se muestra como se ha calculado cada uno de ellos para nuestros cálculos necesarios.

Tabla 71

Dosis de los Materiales para un $1m^3$

Proporciones por $1 m^3$	
Mat. cantera Pampagrande	$0.8468 m^3$
Cloruro de sodio	89.3700kg
Agua	$0.1118 m^3$

Acotación: Los datos obtenidos es la cantidad de proporciones por cada material que se utilizara en la estabilización de la superficie incorporando cloruro de sodio al 5%, para la sub base en investigación.

Se calcula la cantidad de materiales por m^2 :



$$\text{Mat. cantera Pampagrande} = 0.9061 \text{ m}^3 * 0.20 = \mathbf{0.1812 \text{ m}^3}$$

$$\text{Cloruro de sodio} = 95.63 \text{ kg} * 0.20 = \mathbf{19.126 \text{ kg}}$$

$$\text{Agua} = 0.1196 \text{ m}^3 * 0.20 = \mathbf{0.0239 \text{ m}^3}$$

II. Teniendo las proporciones de contribuciones de cada elemento (Material de cantera, NaCl y H₂O) con estos resultados se realiza el análisis de costo unitario para nuestra investigación:

Tabla 72

ACU para la Estabilización de la Sub base.

PARTIDA: <i>Extendido, riego y compactación de material de cantera con agente estabilizante de cloruro de sodio</i>	
Descripción	Total s/
Mano de obra	280.40
Materiales	12.32
Equipos y herramientas	3416.47
TOTAL S/	3709.13

Acotación: *Resultando un costo unitario directo por m² de 15.01 soles, el análisis se ha desarrollado con algunos reajustes a la realidad tanto como el costo del material de cantera, se debería considerar sin un costo alguno pero debido a conflictos sociales, que se considera un costo asignado que en varios lugares de la región remuneran el monto aproximado, respecto al cloruro de sodio se estima un costo real, y el agua se trasladara desde el rio teniendo mucha en cuenta los principios de impacto ambiental, ya será por medio de cisternas, la destreza de labor son requeridos del círculo, de igual manera respecto a los equipos y herramientas son los más indispensables que deberán estar en condiciones óptimas.*



V. CONCLUSIONES

La investigación realizados a nivel de laboratorio mejoran las características, del tipo de suelo, grava limosas y arcillosas limosas, con simbología; GM A-4(1) (Cantera Pampagrande), CL A-4 (Cantera Misk'iuno - Wilakunka), según la clasificación SUCS y AASHTO respectivamente. Las modificaciones para el suelo GM, es en, 0%, 2%; 4%, 5%, 6%, 8% y 10%, y en 0% y 5% para CL, de cloruro de sodio; siendo las conclusiones:

- Con la incorporación del cloruro de sodio, influye en la propiedad de índice de plasticidad, de este modo se logró mejorar, (reduciendo su índice de plasticidad (IP)), reduciendo en un 3.70% de IP, GM, y 1.02% de IP, CL. Con las proporciones dadas para este agente estabilizador, la disminución del índice de plasticidad se dedujo a proporción de la muestra natural patrón.
- El efecto que produce el Cloruro de Sodio como agente estabilizador en la densidad seca máxima es positiva ya que incrementa progresivamente al adicionar NaCl, realizado mediante el ensayo de proctor modificado, y reduce el contenido de humedad óptima.
- La influencia del NaCl en el valor de soporte relativo (CBR), referido al 100% de la densidad seca máxima es ecuánime, ya que incrementa el valor de CBR del tipo del suelo, cumpliendo así con las especificaciones generales, para la conformación de la capa sub base, de la estructura del pavimento. Según MTC-EG2013.
- La elección del cloruro de sodio para la dosificación óptima, como un medio de mejoramiento del suelo natural adicionado con el 5%, ha dado mayores y mejores resultados; concernientes al CBR al 100% MDS , índice de plasticidad (IP), de su peso seco.



VI. RECOMENDACIONES

- Los efectos climatológicos en la región de Puno son demasiados severos y con cambios bruscos de temperatura (lluvia, viento, sol, helada), esto limita el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y es por ello se evalúa la durabilidad de suelo- NaCl, siendo el resultado pernicioso en estas condiciones, de esta forma el porcentaje de pérdida es alto. Esto nos indica que es muy importante los factores ambientales donde se va aplicar la estabilización con NaCl, por experiencias en la región de Puno, con tramos de prueba ejecutadas estos resultando desfavorables, pero si es muy beneficio en las zonas costeras. Tal como se ha tratado de inducir con la prueba de porcentaje de perdidas (durabilidad).
- Que la estabilización de suelo con cloruro de sodio no es recomendable en la región de Puno, debido a los factores de las precipitaciones fluviales que perjudican el desempeño de la capa mejorada.
- Ejecutar las pruebas en situaciones climatológicas para los periodos de lluvia, sol, helada, tal como es el caso de nuestra realidad de la zona de investigación, cada una estas pruebas se simularan para condiciones reales, para efectos de confiabilidad.
- La estabilización de NaCl, en el proceso constructivo de la sub base con la metodología de mejoramiento de NaCl, refiero que se deberá colocar la siguiente capa de la estructura lo más antes posible (inmediata), y la imprimación asfáltica correspondiente, no debiendo ser expuesto a la intemperie por mucho tiempo y evitando en lo posible de las precipitaciones fluviales, esto dependerá de la estación del año que se está construyendo.



- Evitar la aplicación del NaCl , en lugares donde el nivel freático o en lugar donde tiene infiltración lateral, se tendrá precauciones necesarias para intersectar o drenar de la sub base mejorada , siendo este material soluble.
- Del estudio realizado se recomienda que la estabilidad es efectiva para mejorar las propiedades mecánicas evaluadas del suelo en estudio, realice pruebas en cada tipo de suelo para obtener un mejor resultado de estabilización, ya que los distintos tipos de suelo tienen reacciones variadas a los niveles de sal, incluso cuando son idénticos.
- Para determinar la calidad del suelo correspondiente, deben evaluarse minuciosamente las características físicas y mecánicas de los suelos de cantera a estabilizar y disminuir su impacto sobre el medio ambiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Braja M., Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson Learning.
- Consoli, Beck Saldanha (2018), *Short and Long-Term Effect of Sodium Chloride on Strength and Durability of Coal Fly Ash Stabilised with Carbide Lime*, *Canadian Geotechnical Journal*.
- Crespo, V. (2004). "*Mecánica De Suelos Y Cimentaciones*". Mexico: Limusa.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de Carreteras Mantenimiento o conservación vial*, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima.
- Gómez, M., Danglot Banck, C., & Vega Franco, L. (2013). *Cómo Seleccionar una Prueba Estadística*. México: Revista Mexicana de Pediatría.
- Hernández Sampieri, R., & Fernández Collado, C. (1998). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Ibáñez Quispe, V. (2009). *Análisis y diseño de Experimentos*. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Gonzales Boada, J. (2005). *Clasificación de Suelos de Acuerdo a SUCS Y AASHTO*. Barcelona: Universidad De Granadas. Universidad Católica Del Norte, C. (2013). *Mecánica de Suelos*
- Ibáñez, Walter (2011). *Costos y Tiempos en Carreteras, 2da Edic.*, Macro Editorial.
- Javier Pérez G. (2005). *Economía Regional, La Infraestructura del Transporte Vial y la Movilización de Carga*, Colombia.
- Lambe, W. (1996). *Mecánica de Suelos*. México, D.F.: Limusa.
- M. Das, B. (2015). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica (Vol. 4º edición)*. México D.F.-México: Cengage Learning.



- Manual de Carreteras, MTC (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción, Perú.*
- Mendoza Mendiola & Guadarrama Ramos, J. (2008). *Bases y SubBases. México: Unidad Zacatenco.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Suelos, Geología y Pavimentos. En Diseño Geométrico, Perú.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales Perú.*
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Bogotá, Colombia: Agora Editores.*
- Núñez, D. (2011). *Elección y dosificación del conglomerante en estabilización de suelos (Tesis de Grado). Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora.*
- Quispe Supo, F. (2014). *Estabilización de suelos no aptos con desechos de poli cloruro de vinilo para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano*
- Ravines, M. A. (2010). *Pruebas con un producto enzimático como Agente Estabilizador de Suelo para Carreteras (Tesis de Grado), Universidad de Piura, Perú. Villalaz,*
- Rico, A., y DEL CASTILLO, H. (1974). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. México: Limusa S.A.*
- Rodríguez Serquén, W. (2019). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Suelos y Cimentaciones.*
- Roldan de Paz, J. (2010). *Estabilización de Suelos con cloruro de sodio (Tesis de Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.*



ANEXOS

- Anexo 1:** PANEL FOTOGRÁFICO.
- Anexo 2:** TABLAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.
- Anexo 3:** CÁLCULO DE PROPORCIONES Y ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO.
- Anexo 4:** CERTIFICACIONES.
- Anexo 5:** ENSAYOS Y FICHAS DE OBSERVACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO- CANTERA PAMPAGRANDE.
- Anexo 6:** ENSAYOS Y FICHAS DE OBSERVACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO- CANTERA MISK'UNO – WILAKUNKA.
- Anexo 7:** COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.
- Anexo 8:** OBTENCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE LA VÍA POR MÉTODO - HCM.
- Anexo 9:** CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS.
- Anexo 10:** OBTENCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO POR INSPECCIÓN VISUAL.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo OMAR LUCIO JAVIER SUCARI
identificado con DNI 45926916 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

" INFLUENCIA DEL CLORURO DE SODIO COMO ESTABILIZANTE DE
LA SUBBASE PARA LA VIA DESVIO SDN JUAN DE SOLIMAS - ARDPA - PUNO
" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 06 de JULIO del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo OMAR LUCIO JAVIER SUCAKI
identificado con DNI 45926916 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

" INFLUENCIA DEL CLORURO DE SODIO COMO ESTABILIZANTE
DE LA SUBBASE PARA LA VIA DESVIO SAN JUAN DE SQUINAS - AROPA-PUNO"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 06 de JULIO del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella