



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



**MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DEL SUELO CON
EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PARA LA
CONFORMACIÓN DE SOLUCIÓN BÁSICA, TRAMO
HUANCANE-COTAPATA-HUARISANI, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JAVIER SAMUEL CONDORI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA D
EL SUELO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA
Y CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN
DE SOLUCIÓN BÁSICA, TRAMO HUANC
ANE-COTAPATA-HUARISANI, 2023**

AUTOR

JAVIER SAMUEL CONDORI MAMANI

RECuento DE PALABRAS

36223 Words

RECuento DE CARACTERES

191691 Characters

RECuento DE PÁGINAS

172 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 5, 2024 5:06 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 5, 2024 5:09 PM GMT-5

● **10% de similitud general**

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


- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 2% 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. Samuel Huanquiso Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007537



VOBO,
Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 810945
SUB DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
EPIC
05 junio 2024

Resumen



DEDICATORIA

*La presente tesis va dedicada para mis padres Aurora
y Samuel. quienes me dieron la vida y me apoyaron
incondicionalmente en los momentos más difíciles.*

JAVIER SAMUEL CONDORI MAMANI



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano por albergarnos en sus salones de clase durante la etapa de estudiante y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por haber contribuido para nuestra formación profesional.

Agradezco a mi Director y Asesor de Tesis. Dr. Ing. Samuel Huaquisto Cáceres por brindarme su tiempo y paciencia para desarrollar la presente investigación.

Agradezco a mis Jurados de Tesis Ing. José Luis Cutipa Arapa, Dr. Ing. Edwin Guerra Ramos, Msc. Samuel Laura Huanca. por el tiempo que se dieron para realizar las correcciones necesarias, para desarrollar la presente investigación.

JAVIER SAMUEL CONDORI MAMANI



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 20

ABSTRACT..... 21

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 22

1.2. JUSTIFICACIÓN..... 23

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN 24

1.3.1. Hipótesis general..... 24

1.3.2. Hipótesis específicas 24

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN..... 24

1.4.1. Objetivo general..... 24

1.4.2. Objetivo específicas 25

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 26

2.2. CARRETERAS..... 33

2.2.1. Clasificación de carreteras 34



| | |
|--|-----------|
| 2.2.1.1. Clasificación de carreteras según su función:..... | 34 |
| 2.2.1.1.1.Red vial nacional. | 34 |
| 2.2.1.1.2.Red vial departamental o regional. | 34 |
| 2.2.1.1.3.Red vial vecinal o rurales..... | 34 |
| 2.2.1.2. Clasificación de carreteras por demanda: | 34 |
| 2.2.1.2.1.Autopistas de primera clase. | 34 |
| 2.2.1.2.2.Autopistas de segunda clase. | 35 |
| 2.2.1.2.3.Carreteras de primera clase..... | 35 |
| 2.2.1.2.4.Carreteras de segunda clase. | 35 |
| 2.2.1.2.5.Carreteras de tercera clase. | 36 |
| 2.2.1.2.6.Trochas carrozables. | 36 |
| 2.2.1.3. Clasificación de carreteras por su orografía | 36 |
| 2.2.1.3.1.Terreno plano..... | 36 |
| 2.2.1.3.2.Terreno ondulado..... | 36 |
| 2.2.1.3.3.Terreno accidentado..... | 36 |
| 2.2.1.3.4.Terreno escarpado..... | 37 |
| 2.2.1.4. Clasificación de carreteras según el tipo de superficie de rodadura | 37 |
| 2.2.1.4.1.Carreteras no pavimentadas. | 37 |
| 2.2.1.4.2.Carreteras Pavimentadas..... | 37 |
| 2.3. MEJORAMIENTO DE SUELOS | 38 |
| 2.3.1. Clasificación de mejoramiento de suelos..... | 38 |
| 2.3.1.1. Mejoramiento involucrando el suelo existente | 38 |
| 2.3.1.2. Mejoramiento por sustitución de material | 38 |
| 2.3.1.3. Mejoramiento adicionando material manufacturado | 39 |
| 2.4. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS | 39 |



| | |
|---|-----------|
| 2.5. EMULSIÓN ASFÁLTICA | 39 |
| 2.5.1. Clasificación de emulsiones asfálticas..... | 40 |
| 2.5.1.1. Por el tipo de carga: | 40 |
| 2.5.1.2. Por su velocidad de rotura: | 41 |
| 2.5.2. Componentes de la emulsión asfáltica..... | 42 |
| 2.5.2.1. Cemento asfáltico | 43 |
| 2.5.2.2. Agua..... | 43 |
| 2.5.2.3. Emulsificante | 43 |
| 2.5.2.4. Polímeros | 44 |
| 2.5.3. Proceso de fabricación de la emulsión asfáltica | 44 |
| 2.5.4. Equipo de emulsificación..... | 44 |
| 2.5.5. Proceso de emulsificación | 45 |
| 2.5.5.1. Preparación de la solución jabonosa..... | 45 |
| 2.5.5.2. Preparación de asfalto | 45 |
| 2.5.5.3. Emulsificación | 46 |
| 2.5.6. Ventajas y desventajas de las emulsiones asfálticas..... | 47 |
| 2.5.6.1. Ventajas de las emulsiones asfálticas | 47 |
| 2.5.6.2. Desventajas de las emulsiones asfálticas | 48 |
| 2.6. CEMENTO HIDRÁULICO | 48 |
| 2.6.1. Componentes del cemento | 48 |
| 2.6.1.1. Clinker | 48 |
| 2.6.1.2. Yeso | 49 |
| 2.6.2. Proceso de fabricación del cemento..... | 49 |
| 2.6.2.1. Extracción de la piedra caliza | 49 |
| 2.6.2.2. Trituración de la materia prima. | 49 |



| | |
|---|-----------|
| 2.6.2.3. Clinkerización..... | 49 |
| 2.6.2.4. Molienda de cemento..... | 50 |
| 2.6.2.5. Almacenamiento y distribución a granel..... | 50 |
| 2.6.3. Ventajas y Desventajas del Uso del Cemento | 50 |
| 2.6.3.1. Ventajas del uso del cemento..... | 50 |
| 2.6.3.2. Desventajas del uso del cemento | 50 |
| 2.7. FUENTES DE MATERIALES – CANTERAS | 50 |
| 2.8. MEJORAMIENTO DE SUELOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA | 51 |
| 2.8.1. Metodología de Diseño de mezcla..... | 55 |
| 2.8.1.1. Método Inmersión Compresión | 57 |
| 2.9. MEJORAMIENTO DE SUELOS CON CEMENTO | 57 |
| 2.9.1. Metodología de diseño de mezcla..... | 58 |
| 2.10.PAVIMENTOS | 62 |
| 2.10.1. Clasificación de Pavimentos..... | 62 |
| 2.10.1.1. Pavimentos Flexibles | 62 |
| 2.10.1.2. Pavimentos Semirrígidos | 62 |
| 2.10.1.3. Pavimentos Rígidos | 63 |
| 2.10.2. Estructura de Pavimentos..... | 63 |
| 2.10.2.1. Subrasante..... | 63 |
| 2.10.2.2. Subbases..... | 63 |
| 2.10.2.3. Bases | 64 |
| 2.10.2.4. Superficie de Rodadura..... | 66 |
| 2.11.AFIRMADOS..... | 67 |
| 2.12.SOLUCIÓN BÁSICA | 67 |
| 2.13.MODULO RESILIENTE..... | 69 |



| | |
|--|-----------|
| 2.14.EVALUACIÓN DE COSTOS | 71 |
| 2.14.1. Análisis de costo unitario..... | 71 |
| 2.14.2. Recursos..... | 71 |
| CAPÍTULO III | |
| MATERIALES Y MÉTODOS | |
| 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO | 72 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA | 73 |
| 3.2.1. Población | 73 |
| 3.2.2. Muestra | 73 |
| 3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN | 75 |
| 3.3.1. Nivel de investigación | 75 |
| 3.3.2. Tipo de investigación..... | 76 |
| 3.4. MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN | 76 |
| 3.4.1. Fuentes de material o canteras | 76 |
| 3.4.1.1. Cantera Pecosani..... | 76 |
| 3.4.1.2. Cantera Samán..... | 78 |
| 3.4.2. Emulsión asfáltica..... | 79 |
| 3.4.3. Cemento | 80 |
| 3.5. PROCEDIMIENTO | 81 |
| 3.5.1. Reconocimiento de la Vía..... | 81 |
| 3.5.2. Muestreo de Cantera | 82 |
| 3.5.2.1. Muestreo de Cantera Pecosani..... | 82 |
| 3.5.2.2. Muestreo de Cantera Samán | 83 |
| 3.5.3. Análisis granulométrico por tamizado..... | 83 |
| 3.5.4. Limite liquido | 86 |



| | |
|---|------------|
| 3.5.5. Limite plástico | 87 |
| 3.5.6. Índice de plasticidad | 87 |
| 3.5.7. Clasificación de suelos | 88 |
| 3.5.7.1. Clasificación AASHTO | 88 |
| 3.5.7.2. Clasificación SUCS | 90 |
| 3.5.8. Equivalente arena..... | 92 |
| 3.5.9. Abrasión de los Ángeles | 93 |
| 3.5.10. Proctor Modificado | 95 |
| 3.5.11. CBR | 97 |
| 3.5.12. Mejoramiento de suelos con emulsión asfáltica | 99 |
| 3.5.13. Diseño de mezcla de suelo con emulsión asfáltica..... | 99 |
| 3.5.13.1. Contenido teórico de emulsión asfáltica..... | 99 |
| 3.5.13.2. Cantera Pecosani..... | 99 |
| 3.5.13.3. Cantera suelo combinado..... | 100 |
| 3.5.13.4. Recubrimiento y adherencia | 101 |
| 3.5.13.5. Compresión simple | 104 |
| 3.5.14. Mejoramiento de suelos con cemento..... | 106 |
| 3.5.15. Diseño de mezcla de suelo con cemento | 107 |
| 3.5.15.1. Compresión simple saturado..... | 108 |
| 3.5.15.2. Humedecimiento y secado..... | 109 |
| 3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO..... | 112 |
| 3.6.1. Coeficiente de Correlación Pearson..... | 112 |
| 3.6.2. Prueba de Hipótesis | 113 |



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|--|-----|
| 4.1. HIPÓTESIS ESPECIFICA 1 | 114 |
| 4.1.1. Cantera Pecosani..... | 114 |
| 4.1.1.1. Clasificación de Suelos..... | 114 |
| 4.1.1.2. Equivalente Arena y Abrasión..... | 115 |
| 4.1.1.3. Ensayo CBR..... | 115 |
| 4.1.2. Característica Cantera Pecosani..... | 117 |
| 4.1.3. Cantera Combinada | 118 |
| 4.1.3.1. Clasificación de Suelos..... | 118 |
| 4.1.3.2. Equivalente Arena y Abrasión..... | 119 |
| 4.1.3.3. Ensayo CBR..... | 119 |
| 4.1.4. Característica Cantera Combinada..... | 120 |
| 4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA 2 y 3 | 121 |
| 4.2.1. Límites de Consistencia y CBR..... | 121 |
| 4.2.2. Densidad seca máxima con CSS-1h | 123 |
| 4.2.2.1. Cantera Pecosani..... | 123 |
| 4.2.2.2. Cantera combinada | 125 |
| 4.2.3. Densidad Seca Máxima con Cemento | 126 |
| 4.2.3.1. Cantera Pecosani..... | 127 |
| 4.2.3.2. Cantera combinada | 128 |
| 4.2.4. Resistencia a compresión suelo cemento..... | 130 |
| 4.2.4.1. Cantera Pecosani..... | 132 |
| 4.2.4.2. Cantera combinada | 134 |
| 4.2.5. Resistencia al humedecimiento y secado..... | 135 |



| | |
|--|------------|
| 4.2.5.1. Cantera Pecosani..... | 136 |
| 4.2.5.2. Cantera Combinada | 137 |
| 4.2.6. Resistencia a Compresión con emulsión asfáltica | 139 |
| 4.2.6.1. Cantera Pecosani..... | 139 |
| 4.2.6.2. Cantera Combinada | 144 |
| 4.2.6.3. Estabilidad al agua..... | 148 |
| 4.3. HIPÓTESIS ESPECIFICA 4 | 149 |
| 4.3.1. Evaluación de Costo | 151 |
| 4.3.1.1. Rendimiento de Maquinaria: | 153 |
| 4.3.1.1.1. Transporte de Agua..... | 153 |
| 4.3.1.1.2. Transporte de Material..... | 153 |
| 4.3.1.2. Recursos..... | 155 |
| 4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 156 |
| V. CONCLUSIONES | 163 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 165 |
| VII. REFERENCIAS..... | 166 |
| ANEXOS..... | 170 |

ÁREA: Geotecnia

TEMA: Mejoramiento de suelos en carreteras no pavimentadas

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Geotecnia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 13 de junio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 2.5.1 Tabla de clasificación de emulsiones asfálticas..... | 41 |
| Tabla 2.5.2 Porcentaje de tamaño promedio de partículas de asfalto en la emulsión.... | 46 |
| Tabla 2.8.1 Especificaciones para granulometría. | 53 |
| Tabla 2.8.2 Franjas Granulométricas de los agregados para bases estabilizadas con emulsión asfáltica | 53 |
| Tabla 2.8.3 Gradación de suelos granulares para bases estabilizadas con emulsión asfáltica | 53 |
| Tabla 2.8.4 Criterios de resistencia para la determinación de la dosificación optima de mezcla asfáltica natural..... | 54 |
| Tabla 2.9.1 Rango de cemento en Estabilización de Suelo Cemento..... | 59 |
| Tabla 2.9.2 Factores de Corrección para la Resistencia a Compresión | 61 |
| Tabla 2.9.3 Propiedades comunes a la mezcla suelo cemento..... | 61 |
| Tabla 2.9.4 Pérdida de peso de la mezcla compactada | 61 |
| Tabla 2.10.1 Uso granulométrico para subbase granular..... | 64 |
| Tabla 2.10.2 Subbase granular: Requerimiento de ensayos especiales | 64 |
| Tabla 2.10.3 CBR Valor Relativo de Soporte..... | 65 |
| Tabla 2.10.4 Requerimientos de agregado grueso | 65 |
| Tabla 2.10.5 Requerimientos de agregado fino | 66 |
| Tabla 2.12.1 Parámetro y especificación técnica de estabilizadores | 68 |
| Tabla 2.12.2 Especificaciones técnicas de estabilizadores y la aplicación según región. | 69 |
| Tabla 3.1.1 Resumen de Accesibilidad..... | 73 |
| Tabla 3.2.1 Numero de ensayos para caracterizar los materiales de Cantera. | 74 |
| Tabla 3.2.2 Numero de ensayos grupo experimental..... | 75 |
| Tabla 3.5.1 Peso específico de material suelto. | 85 |
| Tabla 3.5.2 Clasificación de materiales granulares para carreteras | 89 |
| Tabla 3.5.3 Clasificación de materiales granulares para carreteras | 90 |
| Tabla 3.5.4 Granulometría de Canteras | 91 |
| Tabla 3.5.5 Peso del agregado y N° de esferas por gradación hasta 1 ½”..... | 94 |
| Tabla 3.5.6 Peso del agregado y el N° de esferas por tipo de gradación mayor a 3/4” . | 95 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 3.5.7 Índice Resistente de CBR | 97 |
| Tabla 3.5.8 Superficie Específica del material Cantera Pecosani..... | 100 |
| Tabla 3.5.9 Superficie Especifica del Suelo Combinado..... | 101 |
| Tabla 3.5.10 Recubrimiento y Humedad Teórica Cantera Pecosani | 103 |
| Tabla 3.5.11 Recubrimiento y Humedad Teórica Suelo Combinado | 103 |
| Tabla 3.5.12 Ensayo de Recubrimiento 6.8% de Emulsión Asfáltica Cantera Pecosani. | 103 |
| Tabla 3.5.13 Ensayo de Recubrimiento 6.4% de Emulsión Asfáltica Suelo Combinado. | 104 |
| Tabla 3.5.14 Porcentaje de Agua para mezcla Emulsión Asfáltica Cantera Pecosani. | 104 |
| Tabla 3.5.15 Porcentaje de Agua para mezcla Emulsión Asfáltica Suelo Combinado | 104 |
| Tabla 3.5.16 Resumen de Ensayos a Compresión Simple Cantera Pecosani. | 105 |
| Tabla 3.5.17 Resumen de Ensayos a Compresión Simple Suelo Combinado..... | 106 |
| Tabla 3.5.18 Resistencia a compresión condición saturada..... | 108 |
| Tabla 3.5.19 Resistencia a compresión condición saturada Combinado | 109 |
| Tabla 3.5.20 Valores promedio de agua retenida | 110 |
| Tabla 3.5.21 Resumen de pérdida de peso Cantera Pecosani | 112 |
| Tabla 3.5.22 Pérdida de peso Cantera Combinado | 112 |
| Tabla 3.6.1 Coeficiente de correlación de Pearson..... | 113 |
| Tabla 4.1.1 Cuadro de análisis de resultados Cantera Pecosani | 117 |
| Tabla 4.1.2 Cuadro de análisis de resultados de la Cantera Combinada | 121 |
| Tabla 4.2.1 Resumen de IP y CBR Cantera Pecosani..... | 122 |
| Tabla 4.2.2 Resumen de IP y CBR Cantera Combinada | 122 |
| Tabla 4.2.3 Densidad seca máxima para la Cantera Pecosani y Combinada con CSS-1h | 123 |
| Tabla 4.2.4 Prueba de Normalidad γ_d máx. y el porcentaje de CSS-1h | 124 |
| Tabla 4.2.5 Análisis estadístico de correlación de % de CSS-1h y la densidad máxima seca..... | 124 |
| Tabla 4.2.6 Prueba de Normalidad γ_d máx. y % de Emulsión de Emulsión | 125 |
| Tabla 4.2.7 Análisis estadístico de correlación de % de CSS-1h y γ_d máx. | 126 |
| Tabla 4.2.8 Densidad seca máxima para la Cantera Pecosani y Combinada con Cemento | 126 |
| Tabla 4.2.9 Prueba de Normalidad γ_d máx. y el % de Cemento | 127 |



| | | |
|---------------------|--|-----|
| Tabla 4.2.10 | Análisis estadístico de correlación de % de cemento y la γ_d máx..... | 128 |
| Tabla 4.2.11 | Prueba de Normalidad máxima densidad seca y el porcentaje de cemento | 129 |
| Tabla 4.2.12 | Análisis estadístico de correlación de % de cemento y la densidad máxima seca..... | 130 |
| Tabla 4.2.13 | Resumen de resistencia a compresión suelo cemento | 130 |
| Tabla 4.2.14 | Correlación de resistencia | 131 |
| Tabla 4.2.15 | Correlación de resistencia | 131 |
| Tabla 4.2.16 | Prueba de Normalidad f'_{sc} y el % cemento..... | 133 |
| Tabla 4.2.17 | Análisis estadístico de correlación de % de cemento y resistencia a compresión..... | 133 |
| Tabla 4.2.18 | Prueba de Normalidad f'_{sc} y el % de cemento | 134 |
| Tabla 4.2.19 | Análisis estadístico de correlación de % de cemento y resistencia a etálican | 135 |
| Tabla 4.2.20 | Resumen de pérdida de peso..... | 135 |
| Tabla 4.2.21 | Prueba de Normalidad resistencia a compresión y el % de cemento..... | 136 |
| Tabla 4.2.22 | Análisis estadístico de correlación de % de cemento y resistencia a etálican | 137 |
| Tabla 4.2.23 | Prueba de Normalidad resistencia a compresión y el % de cemento..... | 138 |
| Tabla 4.2.24 | Análisis estadístico de correlación de % de cemento y resistencia a etálican | 139 |
| Tabla 4.2.25 | Resistencia a compresión con emulsión asfáltica | 139 |
| Tabla 4.2.26 | Correlación de resistencia CSS-1h | 140 |
| Tabla 4.2.27 | Prueba de Normalidad f'_{se} y % de emulsión..... | 141 |
| Tabla 4.2.28 | Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y resistencia a compresión..... | 142 |
| Tabla 4.2.29 | Prueba de Normalidad f'_{se} y % de emulsión..... | 143 |
| Tabla 4.2.30 | Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y f'_{se} | 143 |
| Tabla 4.2.31 | Resistencia a compresión con emulsión asfáltica | 144 |
| Tabla 4.2.32 | Correlación de resistencia CSS-1h | 144 |
| Tabla 4.2.33 | Prueba de Normalidad resistencia a compresión y % de emulsión | 145 |
| Tabla 4.2.34 | Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y f'_{se} | 146 |
| Tabla 4.2.35 | Prueba de Normalidad resistencia a compresión y % de emulsión | 147 |



| | |
|--|-----|
| Tabla 4.2.36 Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y resistencia a compresión..... | 147 |
| Tabla 4.2.37 Resistencia conservada Cantera Pecosani..... | 148 |
| Tabla 4.2.38 Resistencia conservada Cantera Combinada | 149 |
| Tabla 4.3.1 Tabla resumen para diseño de emulsiones asfálticas..... | 150 |
| Tabla 4.3.2 Distancia Media Fuente de Agua..... | 152 |
| Tabla 4.3.3 Distancia Media Cantera Pecosani | 152 |
| Tabla 4.3.4 Distancia Media Cantera Samán..... | 153 |
| Tabla 4.3.5 Recursos Utilizados para la elaboración de presupuestos. | 155 |
| Tabla 4.3.6 Materiales Utilizados para la elaboración de Presupuestos..... | 155 |
| Tabla 4.3.7 Equipos para la elaboración de presupuesto. | 155 |
| Tabla 4.4.1 Comparación de resultados Cantera Pecosani | 156 |
| Tabla 4.4.2 Comparación de resultados Cantera Pecosani | 157 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 2.5.1 Esquema de la emulsión asfáltica..... | 40 |
| Figura 2.5.2 Representación esquemática de emulsión catiónica y aniónica. | 40 |
| Figura 2.5.3 Producción de emulsión asfáltica | 47 |
| Figura 2.8.1 Guía para seleccionar el agente estabilizador..... | 52 |
| Figura 2.13.1 Numero estructural de la capa base (a2) con diferentes parámetros de resistencia..... | 70 |
| Figura 2.13.2 Variación de a2 Bases tratadas con los parámetros de resistencia | 71 |
| Figura 3.1.1 Ubicación y tramo de afirmado | 72 |
| Figura 3.2.1 Representación gráfica del grupo de control y experimental | 74 |
| Figura 3.4.1 Ubicación geográfica de cantera Alto Miraflores | 77 |
| Figura 3.4.2 Acceso a la cantera y muestreo de suelo | 77 |
| Figura 3.4.3 Muestreo de Hormigón y acopio | 78 |
| Figura 3.5.1 Vía afirmada tramo Huancané – Cotapata – Huarisani | 82 |
| Figura 3.5.2 Tamizado de Suelo | 84 |
| Figura 3.5.3 Curva Granulométrica de Canteras | 85 |
| Figura 3.5.4 Limite liquido | 86 |
| Figura 3.5.5 Limite plástico..... | 87 |
| Figura 3.5.6 Carta de Plasticidad | 88 |
| Figura 3.5.7 Equivalente arena | 92 |
| Figura 3.5.8 Abrasión de Los Ángeles | 95 |
| Figura 3.5.9 Moldeo y compactación de suelos | 96 |
| Figura 3.5.10 CBR medida y moldeo | 98 |
| Figura 3.5.11 Saturación (04 días) y curva esfuerzo deformación las Curvas de Esfuerzo – Deformación | 98 |
| Figura 3.5.12 Prueba de recubrimiento Cantera Pecosani y Cantera Combinada | 102 |
| Figura 3.5.13 Elaboracion de briquetas y su etálican en agua..... | 106 |
| Figura 3.5.14 Ensayo a Compresión de las briquetas de suelo cemento | 109 |
| Figura 3.5.15 Perdida de material y cepillado de briqueta S/C | 111 |
| Figura 3.5.16 Saturación y Ecurrimiento de briquetas S/ | 111 |
| Figura 3.6.1 Región de Rechazo de una prueba de hipótesis Bilateral..... | 113 |



| | | |
|----------------------|---|-----|
| Figura 4.1.1 | Granulometría de la Cantera Pecosani | 114 |
| Figura 4.1.2 | Densidad seca máxima Cantera Pecosani | 116 |
| Figura 4.1.3 | CBR Cantera Pecosani | 116 |
| Figura 4.1.4 | Granulometría de la Cantera Combinada. | 118 |
| Figura 4.1.5 | Densidad máxima Cantera Combinada | 119 |
| Figura 4.1.6 | CBR Cantera Combinada | 120 |
| Figura 4.2.1 | Correlación de densidad seca máxima y % de CSS-1h..... | 124 |
| Figura 4.2.2 | Correlación máxima densidad seca y Emulsión asfáltica | 125 |
| Figura 4.2.3 | Correlación máxima densidad seca y cemento | 127 |
| Figura 4.2.4 | Correlación máxima densidad seca y cemento | 129 |
| Figura 4.2.5 | Correlación resistencia a compresión y % de cemento | 132 |
| Figura 4.2.6 | Correlación resistencia a compresión y % de cemento | 134 |
| Figura 4.2.7 | Correlación % de pérdida de peso y % de cemento | 136 |
| Figura 4.2.8 | Correlación resistencia a compresión y % de cemento | 138 |
| Figura 4.2.9 | Correlación de resistencia a compresión y % de emulsión | 141 |
| Figura 4.2.10 | Correlación de resistencia a compresión y % de emulsión | 142 |
| Figura 4.2.11 | Correlación de resistencia a compresión y % de emulsió | 145 |
| Figura 4.2.12 | Correlación de resistencia a compresión y % de emulsión | 146 |
| Figura 4.2.13 | Perdida de estabilidad Cantera Pecosani | 148 |
| Figura 4.2.14 | Perdida de estabilidad Cantera Combinada..... | 149 |
| Figura 4.3.1 | Resistencia Cantera Pecosani | 150 |
| Figura 4.3.2 | Resistencia de Cantera Combinada | 151 |
| Figura 4.3.3 | Diagrama de Distancias Medias | 152 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | | |
|-----------------|---|--|
| AASHTO | : | American Association Of State Highway And Transportation Officials |
| SUCS | : | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos |
| IP | : | Índice de Plasticidad |
| LL | : | Limite Liquido |
| IG | : | Índice de Grupo |
| LP | : | Limite Plástico |
| PCA | : | Portland Cement Association |
| MTC | : | Ministerio de Transportes y Comunicaciones |
| EG2013 | : | Especificaciones Generales 2013 |
| INVIAS | : | Instituto Nacional de Vías |
| UNAP | : | Universidad Nacional del Altiplano |
| FICA | : | Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura |
| EPIC | : | Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| MDS | : | Máxima Densidad Seca |
| ASTM | : | American Society for Testing and Materials |
| CBR | : | California Bearing Ratio |
| MTC | : | Ministerio de Transporte y Comunicaciones |
| CHO | : | Contenido de humedad optima |
| F _{sc} | : | Resistencia a compresión suelo cemento |
| F _{se} | : | Resistencia a compresión suelo emulsión |
| MR | : | Modulo Resiliente |



RESUMEN

La presente investigación busca mejorar la red vial vecinal no pavimentada (afirmado) Tramo Huancané - Cotapata - Huarisani PU-904, 2023 con soluciones básicas utilizando el cemento o emulsión asfáltica CSS-1h y un tratamiento superficial para aumentar la vida útil, el Nivel de servicio y las condiciones socioeconómica de los usuarios, son muy importantes para el desarrollo del país así promover el turismo, comercio y potenciar las actividades locales. Siendo el objetivo principal mejorar la resistencia del suelo Cantera Pecosani y Cantera Combinada con CSS-1h y cemento para su uso como solución básica con $e=0.10$ m, $L=12.54$ km, ancho de 4.20 m, empleándose la metodología de diseño por resistencia a compresión de 30 briquetas para suelo cemento y 54 briquetas de inmersión-compresión para suelos con emulsiones asfálticas, el nivel de investigación es correlacional con un enfoque cuantitativo. Se clasifica la Cantera Pecosani según SUCS como SP-SM (arena mal graduada con limo y grava) y Cantera Combinada SW (arena bien graduada con grava) con un desgaste de los ángeles de 76% y 49% respectivamente. La resistencia para suelos SP-SM con 8% de cemento mejora 268.20% y para suelos SW con 5.50% de cemento mejora 178.89% , la resistencia de suelos SP-SM con 6.8% de CSS-1h mejora 44.22% y para suelos SW con 6.4% de CSS-1h mejora 97.27%, para el tramo en estudio no se recomienda el uso de emulsiones asfálticas, por tener una pérdida de estabilidad más de 25%. El costo de suelo SP-SM por medio de combinación de suelos incrementa en 11.11%, si se mejora con 8% de cemento el costo incrementa 42.11%, el suelo SW se mejora con 5.5% de cemento a un costo de 27.47%, con emulsión asfáltica se incrementa en un 63.10%.

Palabras Clave: Emulsión asfáltica, Cemento, Solución básica, Mejoramiento de suelos, Pavimentos.



ABSTRACT

The present investigation seeks to improve the unpaved road network (paved) Huancane-Cotapata-Huarisani PU-904 section, 2023 with basic solutions using cement or asphalt emulsion CSS-1h and a surface treatment to increase the useful life, the level of service and the socioeconomic conditions of the users, are very important for the development of the country and promote tourism, trade and enhance local activities. Being the main objective to improve the resistance of the soil Cantera Pecosani and Cantera Combined with CSS-1h and cement for its use as basic solution with $e=0.10$ m, $L=12.54$ km, width of 4.20 m, using the design methodology by compressive strength of 30 briquettes for soil cement and 54 briquettes of immersion-compression for soils with asphalt emulsions, the level of research is correlational and the quantitative approach. Translated with DeepL.com (free version). The Pecosani Quarry is classified according to SUCS as SP-SM (poorly graded sand with silt and gravel) and Combined Quarry SW (well graded sand with gravel) with angel wear of 76% and 49% respectively. The resistance for SP-SM soils with 8% cement improves 268.20% and for SW soils with 5.50% cement improves 178.89% , the resistance of SP-SM soils with 6.8% CSS-1h improves 44.22% and for SW soils with 6.4% CSS-1h improves 97.27%, for the section under study the use of asphalt emulsions is not recommended, for having a loss of stability more than 25%. The cost of SP-SM soil by means of soil combination increases by 11.11%, if it is improved with 8% cement the cost increases 42.11%, the SW soil is improved with 5.5% cement at a cost of 27.47%, with asphalt emulsion it increases by 63.10%.

Keywords: Asphalt emulsion, Cement, Basic solution, Soil improvement, Pavements.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La infraestructura vial en el Perú es muy importante para el desarrollo de nuestro país mejorándose el transporte de las personas, traslado de mercancías y productos, promover el turismo. Para construir afirmados se buscan y transportan material de otras zonas como Vilquechico está a 15 km o Samán que están a 32 km. Por ello nos planteamos utilizar el material más cercano al tramo Huancané - Cotapata - Huarisani, Cantera Pecosani que está a 2km del tramo, en caso no cumpliera las exigencias del EG 2013 mejorar su resistencia con cemento o emulsión asfáltica. El afirmado es intervenido en el año 2020 por el Programa Arranca Perú con un espesor de 20 cm, en el transcurso del tiempo se manifiesta varias deficiencias y problemas ejemplo; erosión de plataforma, presencia de baches, encalaminados puntuales, desprendimiento de material, ahuellamientos causados por las precipitaciones pluviales, tráfico y variaciones de temperaturas que influyen en el desempeño de la vía (carretera pavimentada o afirmado). La mala calidad de materiales de Cantera, principalmente cuando no cumplen con las exigencias de la norma EG 2013 no se puede conformar la base o afirmado siendo muy importante el CBR y la consistencia de los suelos deformación (la deformación es directamente relacionada con la resistencia del suelo). Por otra parte, los pobladores y/o beneficiarios de la zona, manifiestan su preocupación por el abandono de la vía, ya que en la vía presentan desgastes, deformaciones o hundimientos, de ahí nace la necesidad de construir una Capa Estructural mejorada adicionando Emulsión Asfáltica o Cemento para aumentar su capacidad de soporte, así mismo reducir el desgaste de la superficie de rodadura.



1.2. JUSTIFICACIÓN

En el tramo Huancané - Cotapata - Huarisani en el año 2020 con el programa Arranca Perú para la construcción del afirmado tuvieron que utilizar material de otra jurisdicción (Samán), para ello se busca mejorar el material granular cercano al tramo mediante la estabilización con productos químicos es una de las técnicas más abordadas. Conociéndose el suelo cemento como una estabilización más económica y comercial de fácil proceso constructivo y duradera que se puede aplicar en cualquier tipo de suelo excepto en suelos con presencia de materia orgánica o turbas, la emulsión asfáltica no es muy frecuente su aplicación para la estabilización en nuestra región de Puno, si es útil para reciclado de pavimento, la emulsión es aplicable para suelos no cohesivos, siendo su función principal de aumentar la resistencia e impermeabilizar.

En el tramo de Huancané-Cotapata-Huarisani, se intervino con el Programa Arranca Perú, 2020 una capa de afirmado de 20 cm, el deterioro de la vía es superficial y la erosión de plataforma son puntuales por ello se plantea colocar una solución básica que vendría ser un suelo granular estabilizado con emulsión asfáltica o cemento que sea resistente al agua con un espesor de 10 cm y una superficie de rodadura con recubrimiento bituminoso otta seal.

La presente investigación se realiza para mejorar la vida útil de la carretera, Nivel de servicio y las condiciones socioeconómicas de los usuarios, para mejorar la compactación y la resistencia del suelo, las cuales están expuestas a las heladas en nuestra región. La aplicación del mejoramiento de suelos con cemento forma una capa estructural semirrígida generando problemas con la variación de temperatura y la emulsión asfáltica es amigables con el medio ambiente, tiene mayor resistencia a la acción de las heladas debido a que tiene un comportamiento flexible.



1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Se mejora la resistencia del suelo de la cantera Pecosani y cantera Combinada con emulsión asfáltica y cemento para la conformación de solución básica en carreteras no pavimentadas tramo de Huancané - Cotapata – Huarisani.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Es adecuado el material de proveniente de la cantera Pecosani y cantera Combinada para la conformación de solución básica en carreteras no pavimentadas.
- Mejora la resistencia a compresión con el uso emulsión asfáltica en suelos provenientes de la Cantera Pecosani y Cantera Combinada.
- Mejora la resistencia a compresión con el uso del cemento para suelos provenientes de la Cantera Pecosani y Cantera Combinada.
- Comparar el costo de mejoramiento de suelos con emulsión asfáltica y el cemento para conformación de solución básica, tramo Huancané -Cotapata-Huarisani.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Mejorar la resistencia del suelo de la cantera Pecosani y cantera Combinada con emulsión asfáltica y cemento para la conformación de solución básica en el tramo Huancané - Cotapata - Huarisani,2023



1.4.2. Objetivo específicas

- Caracterizar el material proveniente de la cantera Pecosani y cantera Combinada para conformar soluciones básicas en carreteras no pavimentadas.
- Mejorar la resistencia a compresión simple con emulsión asfáltica empleando suelo proveniente de la cantera Pecosani y cantera Combinada.
- Mejorar la resistencia a compresión simple con cemento empleando suelo proveniente de la cantera Pecosani y cantera Combinada.
- Evaluar el costo de mejoramiento de suelos para conformar la solución básica en carreteras no pavimentadas tramo Huancane-Cotapata-Huarisani.



CAPÍTULO II.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Castro Gonzales & Navarro Pereyra (2020), “mencionan que la selva central de nuestro país abunda los suelos arcillosos de alta plasticidad de baja capacidad portante para ello se busca mejorar su plasticidad a nivel de subrasante con la adición de cemento para reducir el cambio volumétrico ocasionado por las condiciones climáticas en la Av. Padre Salas Villa Rica , Oxampampa, Pasco. Evalúa tres muestras inalteradas con un índice de plasticidad de 39.20% clasificándose el suelo como CH o A-7-6(45), la humedad natural del suelo es 29.37%, el CBR natural es de 2.30%; la densidad máxima seca es 1.827 gr/cm³ y la humedad óptima es 14.30%. El CBR al 100% de compactación es de 3.30% (0.1in), inchamiento de 8.12% . Se mejora el suelo con 10%, 15% y 20% de cemento obteniéndose los siguientes resultados: con 10% de cemento la densidad máxima de cemento es de 1.831 gr/cm³ y la humedad óptima es de 14.60% y el CBR es de 130.80% hinchamiento de 2.96%; para 15% de cemento la densidad seca máxima es de 1.832 gr/cm³ y la humedad óptima es de 15% y el CBR es 116.70% inchamiento de 4.24%; para 20% de cemento la humedad óptima es de 15.20% y su densidad seca máxima es de 1.833 gr/cm³ el CBR es 153.6% y el inchamiento es de 3.54%; la actividad de la arcilla es 0.5 se concluye que es una arcilla caolinita de expansividad baja. La expansión de la arcilla reduce hasta 7.18% al adicionarse cemento, mejora su CBR desde 91.90% para 95% de compactación con 10% de cemento. Recomienda evaluar con menor porcentaje de cemento con la finalidad de lograr CBR de 30% y 40%”.



De la Torre Illesca (2018), “busca que las carreteras y obras viales en el peru mejoren el nivel de pavimentacion , desde el punto de vista tecnico y economico se propone mejorar con emulsiones asfalticas y cemento el diseño de pavimentos para el proyecto de conservacion vial Puno-Tacna tramo Tarata-Capazo-Mazocruz. Para ello plantea caracterizar los agregados de las canteras y de la plataforma , determinar las dosificaciones del estabilizador y evaluar su aporte estructural de suelos estabilizados , analizar el costo unitario. El enfoque que desarrolla es el cuantitativo y su nivel de investigacion es nivel descriptivo -explicativa , para tal estudio se realizo la investigacion en 04 canteras: Cantera Poma se clasifico como suelo A-1-b(0) y según SUCS GM , es un material no plastico con un equivalente de arena de 26.3% , su maxima densidad seca es 2.054 gr/cm³ y la humedad optima resulta ser 9.6% , el CBR de 51.4% es evaluado al 100% de su compactacion, la abrasion de los angeles vendria a ser 27.2%, volumen estimado para explotar 179 190m³;Cantera Liwini el volumen estimado para explotar es de 33658 m³, es un materia A-1-a(0) y según SUCS GO-GM, siendo su limite liquido 21 es un material NP el equivalente de arena es de 56%. La densidad seca maxima 2.061 gr/cm³ la humedad optima de 9.6% y su CBR es de 86.5% la abrasion de los angeles es de 33.1%;Cantera Calachaca volumen estimado para explotar es de 117 032m³, A-1-a y según SUCS GP-GM es un material no plastico un equivalente de arena de 41% y una densidad seca maxima de 1.925 gr/cm³ humedad optima de 7.6% un CBR de 68.2% y una abrasion de 22.6%; Cantera de Mazocruz el material es A-1-a GP material NP, un equivalente de arena de 73%, maxima densidad seca de 1.978 gr/cm³ y la humedad optima es 9.3% con un CBR de 83.1% ,una abrasion de los angeles de 26.4%. Finalmente se concluye que si se aplica porcentajes menores a 1% de cemento o emulsion asfaltica no altera las propiedades fisicas y mecanicas del suelo; dota mejores propiedades al suelo tratado , genera un alto costo, disminuye la suceptibilidad al agua y mejora la adherencia



de partículas, los suelos estabilizados con cemento portland en climas fríos se contraen generando fisuras y grietas en la estructura del pavimento. Las propuestas en cuanto al costo una base integral es de 26 315, 192.56 soles, mientras que una base estabilizada con cemento es de 28 670,040.85 soles y la propuesta de una base estabilizada con emulsión asfáltica es de 29 931,961.26 soles. En términos porcentuales la propuesta N°2 y N°3 es 8.95% y 13.74% más costosa que la propuesta 1”.

Castillo Alcazar (2021), “escogió las canteras Río Tambo y Tallamolle porque son las únicas que abastecen agregados en la zona, además la carencia de pavimentos en la zona ha motivado la investigación de estabilización o mejoramiento. La vía se analizó a nivel de trocha carrozable que está deteriorada y presenta fallas como ahuellamiento, enclaminado y baches. Para ello busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, una dosificación adecuada de emulsiones asfálticas en función al CBR y Estabilidad, Diseñar el pavimento y comparar los costos. Para el mejoramiento de base emplea emulsión asfáltica CSS-1h el desgaste de la cantera de Talamolle es de 10.2% y el río Tambo de 12.7%, el equivalente arena es de 81.59% y 77.56% respectivamente, las partículas de chatas y alargadas es 11% y 3%. Los resultados que se obtienen por la compactación de la cantera Talamolle es la siguiente con un 0% de emulsión su densidad máxima seca es de 2.065 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo es de 8.30%, a medida que se aumenta el porcentaje de emulsión asfáltica la densidad máxima de compactación disminuye para 6% de emulsión su densidad seca es de 1.997 gr/cm³, mientras que el CBR en la cantera Talamolle es de 80.6% al 100% de compactación si se agrega la emulsión asfáltica incrementa el valor de CBR hasta llegar a un valor de 143% para 6% de emulsión, si se agrega más de 6% de emulsión asfáltica el CBR empieza a disminuir. Los Resultados de compactación del río Tambo es 2.190 gr/cm³ y la humedad óptima es de 7% la densidad disminuye hasta 2.153 gr/cm³ para 8% de emulsión asfáltica, los CBR



del Rio Tambo es 86.10%, llegando un máximo de 125.8% para 6% de emulsión asfáltica. Para poder seleccionar el porcentaje de emulsión asfáltica realiza por el método de inmersión y compresión se cumple con las especificaciones de caras fracturadas que la norma exige. Concluyéndose que el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica CSS-1h es de 6.3% y 6.7% mejora CBR, disminuye la densidad máxima seca. Finalmente se proponen dos paquetes estructurales (MAC y BEE) a fin de escoger la mejor alternativa técnica y económica, el paquete estructural N° 02 la Base Estabilizada con slurry seal resulta ser la más viable para un camino con bajo volumen de tránsito y 18.50% más económico que una carretera con características convencionales”.

Caparo Chavez & Escalante Otazu (2015), “evalúan un proyecto de rehabilitación lo cual implica escarificar la carpeta asfáltica existente, eliminarlas el material de base y carpeta asfáltica, explotar una nueva cantera, implica gastos al emplear maquinarias, mano de obra y muchas veces no se abastecen los botaderos. Para ello busca mejorar la base granular del pavimento existente con emulsión asfáltica, además debe caracterizar las propiedades de la base granular existente, para rehabilitar la vía utiliza la emulsión asfáltica CSS-1h, se realiza 03 calicatas para la base granular y subrasante. Los instrumentos utilizados son Ensayos de laboratorio, Exploración en campo. Se tiene como resultado para la base granular una gradación D suelo SC-SM (A-1-b) CBR de 94% y a-SC-CM(A-2-4) con CBR 87%, para la subrasante suelo SM(A-2-4) CBR 26%, GW-GM(A-1-a) CBR de 62%, SM(A-1-b) CBR 39%, los suelos son no plásticos tienen una abrasión de 34.91%. el contenido óptimo de emulsión es de 6.5%, con lo que se llega a un valor de CBR de 106%, disminuyendo el contenido de emulsión a un 4% el valor de CBR disminuye a un 99%. sin embargo, al utilizar la emulsión asfáltica como estabilizador los valores obtenidos de CBR son de 106%, 105% y 101%, superando el requerido. Las emulsiones catiónicas logran mezclas estables y se emplean generalmente



para bases de granulometría cerrada. El CBR de una base granular estabilizada con emulsión asfáltica incrementa su valor en un 15% en promedio sobre la base granular existente sin estabilizar. El costo de una base estabilizada con emulsión asfáltica de 20cm de espesor es de S/. 72.50 por m² y el costo de una base convencional del mismo espesor es de S/. 21.58 por m². La base convencional es 30% más económica que la estabilizada”.

Zambrano Meza, Tejeda Piusseaut, & Alonso Aaenlle (2019), “Mencionan que las experiencias referentes al manejo de emulsiones asfálticas son muy pocas en la región para mejorar las propiedades de bases granulares, el porcentaje de emulsión que se seleccionara es acorde a los materiales en obra, muchas veces los materiales para base y subbase no satisfacen los requerimientos para la construcción de carreteras. Planteándose como objetivo Evaluar la efectividad del tratamiento con emulsión asfáltica, caracterizar material de canteras. Utilizo 02 canteras : Cantera San Jose con LL=44.9% un IP de 19.7% densidad seca de maxima 1.64 gr/cm³; Cantera Megarok LL 35.4% un IP 10.8% densidad maxima de 1.78 gr/cm³ tiene una resistencia conservada de 11.8% y 12.6% el porcentaje de emulsión añadida es 5%, 7% y 9%. El desgaste de los angeles es 32% cantera San Jose y 19% cantera Megarock desarrolla un ensayo CBR en seco y Humedo. concluyéndose que con la incorporación de emulsión asfáltica de tipo catiónica ha mejorado significativamente la resistencia, lográndose elevadas resistencias en seco, aunque después de inmersión la resistencia decrece aproximadamente en un 40%. Sin embargo, con los tres porcentajes de emulsión utilizados en las pruebas se supera el 50% de resistencia conservada, mientras que el CBR no supera el 80% con ningun porcentaje de emulsion”.

Suxe Carrasco (2018), “Identifico la presencia de suelos inestables y trata de estabilizar afirmado con emulsion asfaltica, planteandose como objetivo caracterizar el material de afirmado y seleccionar el porcentaje optimo de emulsion asfaltica.El diseño



de la investigación es un diseño experimental con un enfoque cuantitativo la emulsión asfáltica que utiliza es CSS-1hp con una variación de 3%, 5%, 7% haciendo un total de 12 especímenes se realizaron 07 calicatas, obteniéndose un CBR representativo de 35.97 para suelos A-1-b. Se realiza el análisis de una cantera nueva cumpliendo con el uso granulométrico clasificación de suelo A-2-4(0), límite líquido de 24.17%, IP 6.61%, abrasión de 32.54% , el CBR mejora de 37.79% a 87.20% para 5% de emulsión asfáltica. se concluye que el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica es de 5%, también mejora la resistencia porcentajes mayores 7% , sin embargo el incremento de resistencia ya no es significativo lo cual resulta ser antieconómico. El costo es mayor pero se garantiza una mayor durabilidad”.

Mamani Laiza & Medina Cerna (2022), “Manifiestan que en la zona existe bastante presencia de lluvias, convirtiéndolos los suelos en lodos y en ciertos tramos hay presencia de baches profundos, al estar expuesta al tránsito de vehículos estas se comportan de manera inestable ante ello se busca evaluar la influencia del cemento en suelos arenosos para ello caracterizar y clasificar las muestras de suelo, determinar la densidad seca máxima, el CBR y el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica. Población de estudio carretera Cajabamba y Trujillo, Diseño de investigación experimental con muestreo no probabilístico, se realizará una calicata por km, porcentaje de cemento es 2%, 4%, 6% para suelo arenoso SP (A-3) densidad seca máxima 1.757 gr/cm³ y un CBR de 206.84% para 6% de cemento y suelo arcilloso CL(A-6) densidad seca máxima de 2.020 gr/cm³ y un CBR de 141.30% para 6% de cemento. La resistencia a compresión para el suelo arenoso de 18.98 kg/cm², mientras que para el suelo arcilloso llega a 47.32 kg/cm² se usó 6% de cemento. Se concluye que el cemento mejora la resistencia , aumenta la densidad seca, el % óptimo de cemento Viaforte es 2%, debido a que con este porcentaje se supera los parámetros que son exigidos por el MTC”.



Galarreta Rodriguez & Llenque Quispe (2019), "En la zona se identifican la presencia de limos y arcillas como parte del terreno de fundación para lo cual se busca mejorar las características y propiedades, compactación, CBR y determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica. El diseño es experimental. La Población corresponde a Suelos arenosos SP-SM con una densidad máxima de 1.66 gr/cm³ El CBR de la subrasante es 3.51% y la resistencia a compresión del suelo natural es de 1.64 kg/cm² se adiciona emulsión CRS 3% y se llega a una resistencia de 2.13 kg/cm² en conclusión no es recomendable para suelos finos la emulsión CRS, mejora muy poco el CBR y resulta ser antieconómica".

Sanchez Nuñez & Shoji Hirano (2020), "En la red vial Puno-Tacna, tramo Capazo-Tarata, La carretera en el tramo de estudio se deterioraba con el tiempo ocasionando un nivel bajo de servicio y malestar a la población que se moviliza por cuestiones de trabajo y comercio, existe un abandono de la vía por parte de las autoridades, además existe un bajo nivel de Gestión de Conservación. Siendo el objetivo mejorar la capa granular del pavimento incorporando emulsión asfáltica dejando de usar el asfalto espumado planteado en el proyecto, para ello se caracteriza los materiales de la estructura de pavimento. El nivel de investigación corresponde a la correlacional, áridos; la presencia de finos que pasan el tamiz N°200 es mayor al 5% se determinó que es un material no plástico. Filler; el árido al no tener plasticidad se recomienda incorporar 1% de cemento portland. Cemento asfáltico; Se utilizó un Pen 85/100 porcentaje de agua varía de 1.5 al 3% respecto al peso del asfalto. El óptimo contenido de agua es 2% a una temperatura de asfalto 160°C. Se elaboró 06 moldes de briquetas con una variación de asfalto de 1.5%, 2% y 2.5% se elige un contenido de asfalto ideal a 2%. Finalmente se concluye que la propuesta para estabilizar el pavimento flexible se reemplaza y se sustituye la capa granular con asfalto espumado y la emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1H.



La técnica de espumado presenta dificultades en los trabajos de campo, para lograr que el asfalto se disperse sobre la fracción fina (arena, cemento portland, agua) se deben de calentar a temperaturas muy altas, estas en su lugar cayeron sobre otras partículas de asfalto, produciéndose una aglomeración de asfalto en forma de chicles perjudicándose la compactación de la capa del pavimento. Con el uso de emulsión asfáltica CSS-1h se logra dispersar la mezcla asfáltica en frío se pudo compactar. Se evaluó el aporte estructural de la emulsión como alternativa de solución siendo su valor de 0.30 pulg-1, este valor es mayor al coeficiente estructural de 0.26 pulg-1 que ofrece el asfalto espumado, la dosificación para estabilizar el material granular con 2% de asfalto residual en ambos casos. Referente a la metodología de diseño de la mezcla asfáltica en frío se utiliza como agente estabilizador la emulsión CSS-1h, se evalúan los resultados con la metodología Illinois para determinar el porcentaje óptimo de asfalto residual. Se elige 2% de residuo asfáltico ya que con ello se logra que la mezcla con asfalto residual cumpla con los valores permisibles de la Estabilidad Marshall mínima requerida de 230 kg y la pérdida de Estabilidad máximo permisible es 50%. Asimismo, se logra una Estabilidad húmeda máxima de 1052.5 kgf y una densidad seca mayor es de 2.162 g/cm³”.

2.2. CARRETERAS

Es una vía de transporte para la circulación de vehículos en donde se hace uso de la vía para el intercambio de productos; desplazamiento de personas con fines de turismo, comercio, trabajo, etc. Las carreteras sirven para conectar e integrar pueblos y comunidades con las grandes urbes. Promover la competitividad económica y el desarrollo del país. “Las características geométricas de una carretera comprenden: pendientes longitudinales, pendientes transversales; peraltes; superficie de rodadura y demás elementos que deben cumplirse de acuerdo a las normas técnicas vigentes”, (MTC, 2018)



2.2.1. Clasificación de carreteras

2.2.1.1. Clasificación de carreteras según su función:

2.2.1.1.1. Red vial nacional.

Principales ejes longitudinales y transversales unen principales ciudades del país. Código PE seguido de un numero de 01 al 99 impar(longitudinales) o par(transversales) seguido de ramales identificado con letras.

2.2.1.1.2. Red vial departamental o regional.

Carreteras circunscritas al ámbito de gobierno regional. Código con prefijo de 02 letras que identifican al departamento seguido de un numero de 100 al 499.

2.2.1.1.3. Red vial vecinal o rurales.

Carreteras circunscritas al ámbito local unen pequeñas poblaciones une aldeas y pequeños asentamientos con prefijo de 02 letras que identifica al departamento seguido de un numero de 500 para arriba.

2.2.1.2. Clasificación de carreteras por demanda:

2.2.1.2.1. Autopistas de primera clase.

“son carreteras con un IMDA (Indice Medio Diario Anual) mayor a 6000 veh/dia, de calzadas divididos por un separador central mínimo de 6.00 m; cada calzada debe tener 02 o más carriles con un ancho de 3.60m como mínimo. flujo vehicular continuo, sin cruces o pasos a nivel con



puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura es necesariamente pavimentada”, (MTC, 2018)

2.2.1.2.2. Autopistas de segunda clase.

“son carreteras con un IMDA de 4001 veh/día hasta 6000 veh/día, de calzada dividida por un separador central desde 1.00m hasta 6.00 m con un sistema de contención vehicular. Flujo vehicular continuo, pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura debe ser necesariamente pavimentada”, (MTC, 2018)

2.2.1.2.3. Carreteras de primera clase.

“son carreteras con un IMDA de 2001veh/día hasta 4000 veh/día con una calzada de 02 carriles de ancho 3.60m como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable los puentes peatonales en su defecto con dispositivos de seguridad vial”, (MTC, 2018)

2.2.1.2.4. Carreteras de segunda clase.

son carreteras con IMDA de 400veh/día hasta 2000 veh/día con una calzada de 02 carriles ancho 3.30m como mínimo, puede tener puentes peatonales en zonas urbanas o en su defecto dispositivos de seguridad vial. la superficie de rodadura debe ser necesariamente pavimentada, (MTC, 2018)



2.2.1.2.5. Carreteras de tercera clase.

“son carreteras con un IMDA menores a 400 veh/día con calzada de 02 carriles de 3.00 m de ancho mínimo y ancho mínimo de 2.50 m, puede funcionar con soluciones básicas, se pavimenta si cumple con las condiciones geométricas de una carretera de segunda clase”, (MTC, 2018)

2.2.1.2.6. Trochas carrozables.

“carreteras con un IMDA menores a 200 veh/día ancho mínimo de 4.00 m, caso contrario construir plazoletas cada 500 m, la superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar”, (MTC, 2018)

2.2.1.3. Clasificación de carreteras por su orografía

2.2.1.3.1. Terreno plano.

Requiere poco movimiento de tierra, no existe dificultades de trazo, su pendiente longitudinal es de 3.00% y la pendiente transversal es menor o igual al 10.00% respecto al eje de la vía, (MTC, 2018).

2.2.1.3.2. Terreno ondulado.

Requiere un moderado movimiento de tierra, no existe dificultades de trazo, su pendiente longitudinal es de 3.00% al 6.00% y la pendiente transversal es del 11.00% hasta 50.00% respecto al eje de la vía.

2.2.1.3.3. Terreno accidentado.

Requiere importantes movimientos de tierras, existe dificultades de trazo, su pendiente longitudinal es de 6.00% al 8.00% y la transversal varia de 51.00% hasta 100.00% respecto al eje de la vía, (MTC, 2018)



2.2.1.3.4. Terreno escarpado.

Requiere movimiento de tierra máximos, existe dificultades de trazo, su pendiente longitudinal excepcionalmente se considera superiores al 8.00% y la transversal son mayores al 100.00% respecto al eje de la vía.

2.2.1.4. Clasificación de carreteras según el tipo de superficie de rodadura

2.2.1.4.1. Carreteras no pavimentadas.

“Son aquellas carreteras cuya superficie de rodadura no tienen revestimiento y estas son fácilmente deterioradas por el tránsito, precipitaciones pluviales, erosión por pérdida de humedad, etc.”, (MTC, 2014). “Se considera caminos no pavimentados a los que están conformado por Caminos de tierra, Caminos de grava(lastrados), Caminos afirmados, Caminos afirmados estabilizados.

2.2.1.4.2. Carreteras Pavimentadas.

“Son aquellas vías que tienen un conjunto de capas que se construyen técnicamente con materiales apropiados y que se apoyan sobre una subrasante, tiene revestimiento la superficie de rodadura para el tránsito de vehículos”, (Montejo Fonseca, 2002).

“La clasificación de pavimentos son: pavimentos flexibles (riegos, sellos, tratamientos superficiales, emulsiones y mortero asfáltico, así como el uso de concreto asfáltico en caliente y en frío), rígidas (mezclas de concreto de cemento portland con o sin refuerzo) y semirrígidas (bases tratadas con su carpeta asfáltica)”, (MTC , 2013).



2.3. MEJORAMIENTO DE SUELOS

El mejoramiento de suelos de acuerdo a las especificaciones generales del año 2013 se refiere “a la subrasante o fundación de terraplenes mediante el remplazo parcial o total con materiales debidamente aprobadas, también se puede utilizar compuestos químicos o mediante el uso de geotextiles”, (MTC , 2013). Sin embargo, se puede mejorar el suelo para afirmado, subbase y base del pavimento, a estas se les denomina como bases o subbases tratadas. “Se conoce como mejoramiento de suelos al procedimiento al cual se somete al suelo para mejorar las propiedades físicas y mecánicas así obtener un terreno firme, estable, que sea capaz de soportar cargas de vehículos y las condiciones del ambiente”, (Doroteo Cid, 2014)

2.3.1. Clasificación de mejoramiento de suelos

2.3.1.1. Mejoramiento involucrando el suelo existente

Existe 02 posibilidades de mejoramiento mediante la estabilización mecánica o combinación de suelos utilizando como cemento, cal, etc. Se descartará partículas mayores a 7.5 cm. “Se compactarán hasta obtener la densidad requerida para conformar la corona del terraplén o de acuerdo a las especificaciones técnicas”, (MTC , 2013)

2.3.1.2. Mejoramiento por sustitución de material

Existen 02 posibilidades que sea construida directamente sobre el suelo existente o se haga una excavación del espesor que menciona el proyecto se puede utilizar compuestos químicos de acuerdo a las características del proyecto debiéndose conformar y compactar al nivel de densidad requerida.



2.3.1.3. Mejoramiento adicionando material manufacturado

Se refiere al mejoramiento de la subrasante con el uso de geotextiles que son materiales geos sintéticos manufacturados,

2.4. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

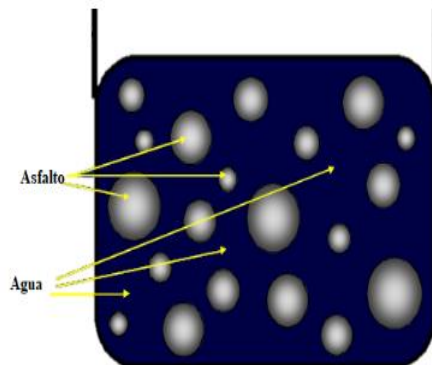
“La estabilización de suelos se refiere al mejoramiento de las propiedades físicas mediante procedimientos mecánicos con incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Se estabiliza suelos para subrasante, subbase o base con estabilizadores como cemento, cal, asfalto”, (MTC , 2013). Para mejorar las propiedades físicas-mecánicas en el tiempo y la resistencia mecánica cualquiera sea el mecanismo de estabilización. El Manual de Suelos y Pavimentos nos ilustra diferentes metodologías de estabilización tales como:” Mejoramiento por sustitución de suelos de la subrasante; Estabilización Mecánica de los suelos, Mejoramiento por combinación de suelos, Estabilización de suelos con (cemento, cal, etc.)”, Estabilización química del suelo, Estabilización con geo sintético (geotextil, geomallas), (MTC, 2014)

2.5. EMULSIÓN ASFÁLTICA

“Las emulsiones asfálticas se definen a la dispersión de pequeñas micro partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa., los cuales son no miscibles entre el asfalto y el agua. Por naturaleza el asfalto es hidrofóbico (repulsión al agua); Son unidas por emulsificantes, emulgentes o emulsionantes, formando junto con el agua y Ácido Clorhídrico una solución jabonosa”, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986). Las emulsiones son formadas por dos fases parcial o totalmente miscibles la fase continua (Dispersante) y la fase discreta (Dispersa), tal como se muestra en el dibujo esquemático.

Figura 2.5.1

Esquema de la emulsión asfáltica



2.5.1. Clasificación de emulsiones asfálticas

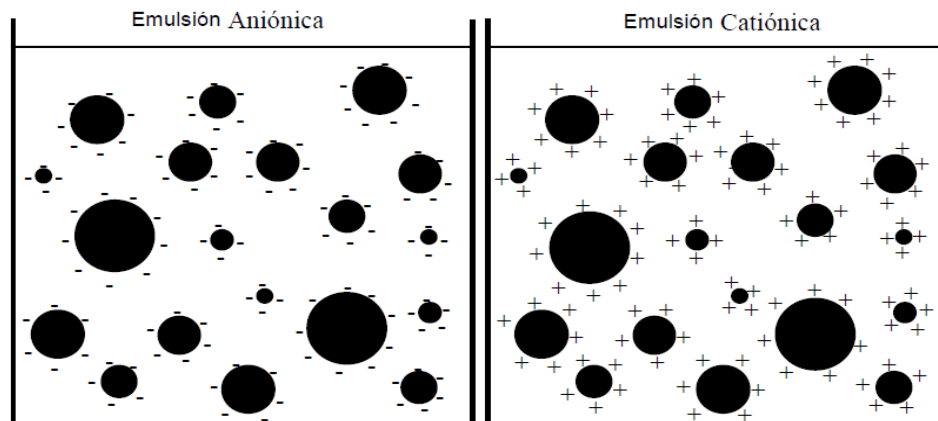
Según John Huffman, Brown, Salinas Cansas(1986), Se clasifica las emulsiones asfálticas, tomando en cuenta las siguientes características:

2.5.1.1. Por el tipo de carga:

- Emulsiones aniónicas: Las partículas de asfalto tienen una carga negativa.
- Emulsiones catiónicas: Las partículas de asfalto tienen una carga positiva.
- Emulsiones no iónicas: Las partículas de asfalto tienen una carga neutra.

Figura 2.5.2

Representación esquemática de emulsión catiónica y aniónica.



Fuente: Talavera Rodríguez, Castaño Meneses y Martínez Madrid (2001) del Instituto Mexicano del Transporte.

2.5.1.2. Por su velocidad de rotura:

- Rotura rápido (RS): “La emulsión rompe de manera rápida al estar en contacto con los agregados, se emplea para riegos de liga y tratamientos superficiales”.
- Rotura media (MS): “La emulsión rompe de manera no tan rápida al estar en contacto con los agregados, se mezclan con agregados de menor área superficial (Agregado grueso), se emplea para mezclas en frío elaborados en planta destinada para bacheo, parches, nivelación, etc”.
- Rotura lento (SS): “La emulsión rompe de manera lenta al estar en contacto con los agregados, se aplica en mezclas densas, mezclas en frío elaboradas en planta, lechadas y slurry seal, se realizan trabajos como morteros asfálticos, reciclado, mezclas de arena emulsión (sello de arena), etc.”
- Rotura controlada (QS): “Se les conoce como emulsiones de rotura controlada (rotura más rápida que las emulsiones SS), sirven para trabajos de slurry seal o micro pavimento”.

La nomenclatura de las emulsiones asfálticas de acuerdo al ASTM es:

Tabla 2.5.1

Tabla de clasificación de emulsiones asfálticas

| Emulsión Aniónica | Emulsión Catiónica |
|-------------------|--------------------|
| RS-1 | CRS-1 |
| RS-2 | CRS-2 |
| MS-1 | ----- |
| MS-2 | CMS-2 |
| MS-2h | CMS-2h |
| HFMS-1 | ----- |
| HFMS-2 | ----- |
| HFMS-2h | ----- |
| SS-1 | CSS-1 |
| SS-1h | CSS-1h |

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto (MS-19)



- RS: emulsión de rotura rápida y si tiene un prefijo C es catiónica.
- MS: emulsión de rotura media
- SS: emulsión de rotura lenta
- C: es la emulsión catiónica y si no tiene prefijo C es aniónica
- HF: emulsión de alta flotación
- 1 y 2: representan el porcentaje de asfalto el primero 57% y 65% respectivamente.
- h: Asfalto duro
- s: con solvente
- P: con polímeros.

En los últimos años se modificó las emulsiones asfálticas con solventes y polímeros como el HFMS-2s; CSS-1P.

2.5.2. Componentes de la emulsión asfáltica

“Una emulsión asfáltica comprende de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsivo, en algunas ocasiones la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento o agentes de control de rotura “, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986) .

Emulsión Asfáltica = Asfalto + Agua + Emulsificante y otros aditivos que mejoran ciertas características.

Una de las características de mucha importancia en las emulsiones asfálticas es la estabilidad, para producir emulsiones asfálticas estables, debe haber una compatibilidad química entre el emulsificante y el cemento asfáltico



2.5.2.1. Cemento asfáltico

“El elemento básico de la emulsión asfáltica que constituye entre un 50% y un 75% es el cemento asfáltico, es un hidrocarburo que se obtiene por destilación del petróleo crudo en su gran mayoría, las propiedades del asfalto dependen esencialmente del origen del crudo y del proceso de refinación”, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986)

2.5.2.2. Agua

El agua es el segundo componente de mucha importancia y puede contener minerales u otros elementos que afecten la producción de las emulsiones asfálticas estables; pueden ser perjudiciales la presencia de iones de calcio y magnesio en emulsiones aniónicas y bastante favorables en emulsiones catiónicas, El uso de aguas impuras puede originar un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar al performance o causar la rotura prematura. Por ese motivo, se debe de hacer “control estricto de la calidad del agua para un determinado tipo de emulsión, El agua potable puede no ser adecuada para las emulsiones asfálticas”, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986)

2.5.2.3. Emulsificante

También llamados emulgentes, su función es la de estabilizar a la emulsión. “El producto químico utilizado como emulsificante llamado surfactante, mantiene los glóbulos de asfalto en suspensión estable. Se caracterizan por la presencia de radicales hidrofóbicos y de componente hidrofílicos los cuales en el momento que entran en contacto con el agua, estos se disocian quedando cargas negativas, positivas o no – iónicas según



sea el tipo de emulsificante”, (Condori Quispe, 2022). Como el emulsificante para el uso vial es del tipo iónico” son los glóbulos cargados eléctricamente en su superficie con carga negativa o positiva; siendo esta carga del mismo signo para todos los glóbulos, que genera una repulsión electrostática y contribuye a impedir que los glóbulos se unan entre sí, y se pueda mantener estable la emulsión asfáltica”, (Gustavo Rivera, E, 1997)

2.5.2.4. Polímeros

El polímero es un elemento que va a modificar la emulsión dándole mayor flexibilidad al asfalto, retarda la oxidación del asfalto, aumentando la vida útil. “El polímero se agrega a la solución jabonosa antes de ingresar al molino coloidal, es un material que se puede fácilmente diluir en agua”, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986). Los polímeros comerciales que se utilizan son la SBS(Estireno-Butadieno-Estireno), SBR (Estireno Butadieno-Rubber) y EVA(Etileno-Vinil-Acetato)

2.5.3. Proceso de fabricación de la emulsión asfáltica

2.5.4. Equipo de emulsificación

Para producir la emulsión asfáltica se hace la mezcla de la solución jabonosa más el cemento asfáltico en un molino coloidal,” para dividir el asfalto en pequeñas gotas de uno a 10 micras, es necesario también que se tenga un tanque para la solución del emulsificante, tanque para el asfalto en caliente, bombas y medidores de caudal”, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986)



2.5.5. Proceso de emulsificación

2.5.5.1. Preparación de la solución jabonosa

La incorporación del emulsificante en el proceso de fabricación de la emulsión va a depender del fabricante si va a ser para emulsiones aniónicas o catiónicas. “Los emulsificantes aniónicos vendrían a ser los ácidos grasos que son productos derivados de la madera, aceites (resinas, ligninas) son saponificados con hidróxido de sodio e hidróxido de potasio”, (Condori Quispe, 2022). “Los emulsificantes catiónicos se emplean a las aminas grasas (diaminas, imidazolininas y amidoaminas) son saponificados con ácidos (Usualmente ácido clorhídrico). Se ajusta el PH que se requiera, la temperatura de la solución jabonosa que se alimenta al molino coloidal está en los rangos de 40°C hasta 50°C de manera referencial. Al mezclarse la solución jabonosa y el asfalto en el molino coloidal la temperatura no debe exceder los 85°C”, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986)

2.5.5.2. Preparación de asfalto

El asfalto proviene de la destilación del petróleo, para la fabricación de la emulsión asfáltica el asfalto es calentado para reducir su viscosidad antes de realizar la mezcla en el molino coloidal con la solución jabonosa. La Temperatura de la solución jabonosa se ajusta de acuerdo a las características del emulsificante y del asfalto, en algunos casos se puede agregar hasta polímeros; “la temperatura de la mezcla al abandonar del molino coloidal debe ser inferior al punto de ebullición del agua, el asfalto no se lleva a temperaturas extremadamente altas, a menos que

exista un sistema de enfriamiento; La temperatura de asfalto a la alimentación del molino, por lo general va de 120 °C a 150 °C”, (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986)

2.5.5.3. Emulsificación

Durante este proceso se alimenta al molino coloidal con el asfalto caliente y la solución jabonosa al mismo tiempo, “El emulsificante se agrega al agua calentada que contiene ácido o álcali y es agitado hasta su completa disolución la temperatura de la emulsión al abandonar el molino coloidal debe ser inferior al punto de ebullición del agua; posteriormente la emulsión es bombeada a tanques de almacenamiento que pueden tener agitadores para recircular; Las proporciones del asfalto y la solución jabonosa deben medirse con exactitud con medidores de caudal teniendo en cuenta la temperatura de cada fase y la descarga del molino”. El tamaño de las gotitas de asfalto es dispersado a nivel microscópico de 01 a 10 micras, el surfactante produce un cambio de tensión superficial en el área de contacto de las gotitas de asfalto y el agua, manteniéndose en suspensión las partículas de asfalto. (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986)

Tabla 2.5.2

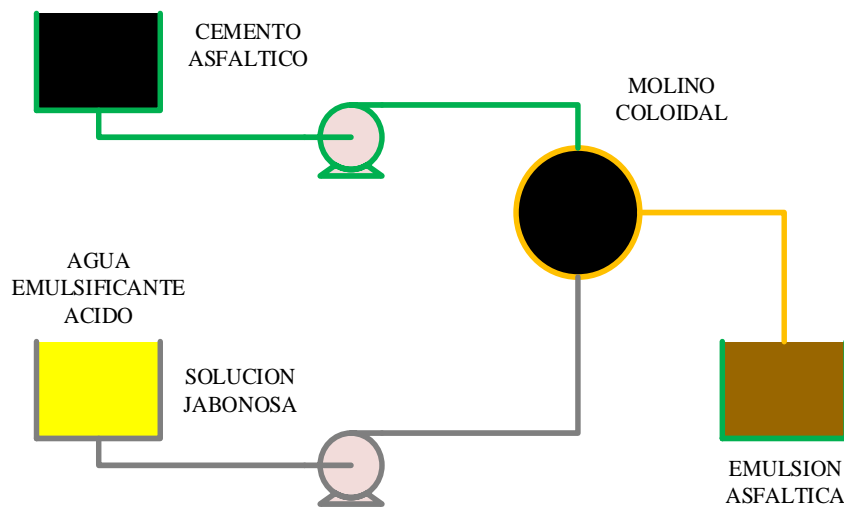
Porcentaje de tamaño promedio de partículas de asfalto en la emulsión

| TAMAÑO DE PARTÍCULA | PORCENTAJE |
|-----------------------|------------|
| Menores a 0.001 mm | 28.00 % |
| de 0.001mm a 0.005 mm | 57.00 % |
| de 0.005mm a 0.010 mm | 15.00 % |

Fuente: Manual del Instituto del asfalto (MS-19)

Figura 2.5.3

Producción de emulsión asfáltica



2.5.6. Ventajas y desventajas de las emulsiones asfálticas

2.5.6.1. Ventajas de las emulsiones asfálticas

- Es un ligante asfáltico que no contamina, además no es peligroso, contiene de 35% a 40% de agua como solvente.
- Tienen viscosidades más considerables que las del asfalto puro se pueden usar a menor temperatura.
- Favorecen la reducción de emisiones, reducción de consumo de energía, evitan la oxidación del asfalto y son menos peligrosas que las técnicas que se utilizan en una mezcla con asfalto en caliente.
- Son más económicas y ambientalmente más amigables que las mezclas en frío que se emplean los asfaltos diluidos o rebajados.
- Tiene un límite de almacenamiento que es muy amplio y puede ser almacenado por semanas incluso meses.



- Tienen una gran adhesividad con los agregados pétreos, a pesar de las condiciones de humedad adversas el uso de agentes emulsificantes de tipo catiónico.
- Se aplica de manera rápida en un corto de tiempo, lo que permite su pronta aplicación en obra.

2.5.6.2. Desventajas de las emulsiones asfálticas

- Si llegan a sobrecalentarse o se congela, puede romper y ser inservible.
- No es compatible con los asfaltos rebajados ni ligantes asfálticos.
- Las emulsión catiónica y aniónica es incompatible y por lo tanto no se deben de mezclar.

2.6. CEMENTO HIDRÁULICO

El cemento es un conglomerante hidráulico el producto es comercial de fácil adquisición, es empleado para la preparación de concretos, morteros, también en la estabilización o mejoramiento de suelos aumentando la resistencia y durabilidad. “El cemento es un producto que se obtiene por la pulverización del Clinker adicionando eventualmente el yeso natural, El Clinker portland se forma por la cocción de la piedra caliza y arcilla a temperatura que varían desde 1350° y 1450°C”, (Abanto Castillo, 2009)

Cemento = Clinker + (3% a 4% de yeso)

2.6.1. Componentes del cemento

2.6.1.1. Clinker

El Clinker es “producido por medio de la calcinación a altas temperaturas las mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en



proporciones determinadas, Está elaborado a base de piedra caliza y arcilla”, (Abanto Castillo, 2009)

2.6.1.2. Yeso

2El yeso es un mineral que se encuentra en la composición del cemento. para regular la hidratación y el fraguado del cemento”, (Abanto Castillo, 2009)

2.6.2. Proceso de fabricación del cemento

2.6.2.1. Extracción de la piedra caliza

Se extrae la piedra caliza de una cantera para la producción del cemento y que en mayor porcentaje se utiliza.

2.6.2.2. Trituración de la materia prima.

Los materiales que se utilizan para la fabricación del Clinker pasan por un proceso de trituración, se realizan en varias etapas hasta obtener un tamaño de partículas pequeños.

2.6.2.3. Clinkerización.

Este proceso se forma por la cocción de la piedra caliza y arcilla a temperatura que varían desde 1350° y 1450°C se realiza en un horno rotatorio en donde ocurren las reacciones químicas que dan lugar a la formación de los minerales hidráulicos.



2.6.2.4. Molienda de cemento.

El Clinker es mezclada con yeso y otras adiciones que se hace en los molinos de cemento, es molida hasta obtener una reducida finura.

2.6.2.5. Almacenamiento y distribución a granel.

“En esta etapa el cemento ya está lista para su uso, durante el proceso pasaron riguroso control de calidad y finalmente son enviados a los silos de almacenamiento, posteriormente se distribuyen a granel o empacado en bolsas”, (Ficha técnica, Rumi)

2.6.3. Ventajas y Desventajas del Uso del Cemento

2.6.3.1. Ventajas del uso del cemento

- Mejora la resistencia y durabilidad de las mezclas soportando variaciones de temperaturas extremas.
- Es muy versátil, es utilizado en proyectos de edificaciones, carreteras, puentes, pavimento, etc.
- Es el más económico por ende el más usado.

2.6.3.2. Desventajas del uso del cemento

- Es más ligado al tema ambiental, emisiones de polvo y emisiones de CO₂ por el proceso industrial que se requiere para la fabricación del cemento

2.7. FUENTES DE MATERIALES – CANTERAS

MTC (2013), “Para la construcción de afirmados, sub bases o bases de una carretera con o sin estabilizadores, se utilizan materiales granulares naturales procedentes



de excedentes de excavaciones, canteras, o escorias metálicas, establecidas en el Expediente Técnico y que estas deben ser aprobadas por el Supervisor; también pueden provenir de la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversa procedencia”.

“Se conoce como cantera a la fuente de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarias para la construcción de una obra. Dependerá del tipo de material que se busque puede ser de suelos, rocas o mixtas”, (Vivar Romero, 1994). La cantera de suelos se usará para terraplenes, estabilizaciones, bases y subbases o como agregado para elaborar mezclas de concreto con cemento o mezcla asfáltica. Debe de satisfacer ciertas especificaciones de calidad el material a usarse.

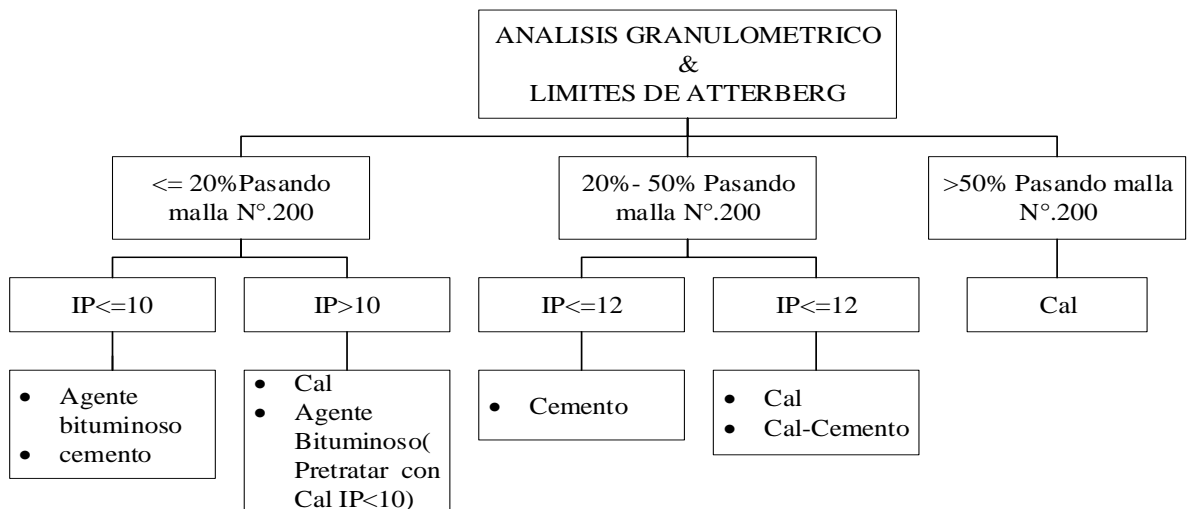
Para seleccionar una cantera se debe de tomar en cuenta la calidad del material, el acceso, potencia y rendimiento y el acuerdo legal de la cantera. Los equipos o maquinarias utilizadas para la exploración de canteras son normalmente la excavadora, cargador frontal, o también tractor orugas, moto traílla. Para producir el material de cantera se puede emplear trituradoras y zarandas. (Vivar Romero, 1994)

2.8. MEJORAMIENTO DE SUELOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

“La incorporación de la emulsión asfáltica para estabilizar suelos en la mezcla aumenta la resistencia al corte y disminuye la susceptibilidad al daño por humedad, se tiene que caracterizar el material que se va a estudiar en función a ello buscar un diseño para determinar el porcentaje de emulsión asfáltica”, (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013). “No se considera apta a estabilizar con emulsión asfáltica si IP es mayor a 10; CBR es menor a 10, o la pasante la malla n°200 es mayor al 30%”, (UCR-PITRA, 2013). El material granular sin tratar debe de cumplir las exigencias de la figura 2.8.1.

Figura 2.8.1

Guía para seleccionar el agente estabilizador



Fuente: LanammeUCR, 2013

La estabilización de suelos es un procedimiento que se realiza a temperatura ambiente. La emulsión asfáltica, presenta una consistencia apropiada para mejorar la mezcla del suelo. De acuerdo a Fernando Sabogal, “los suelos con granulometría fina para estabilizar con emulsiones asfálticas dependerán del índice de plasticidad y el porcentaje que pasa el tamiz n°200. La presencia de partículas finas en exceso significa que se tiene una superficie específica grande lo cual implica que se requiere mayor cantidad de emulsión asfáltica para cubrir la superficie de todas las partículas, por lo tanto, se podría interpretar que los suelos finos se estabilizan con emulsiones asfálticas resultarían ser costosas”.

De acuerdo al INVIAS los requisitos que se debe de cumplir los materiales son: desgaste de los ángeles máximo 50%; LL máximo 35%, IP menor a 7% para bases, IP menor a 9% para subbases; el equivalente de arena mínimo es 20%; CBR mínimo 20% para bases y CBR mínimo 15% para subbases al 95% de compactación. La franja granulométrica que propone para los agregados es la siguiente:

Tabla 2.8.1

Especificaciones para granulometría.

| TAMIZ (mm) | Porcentaje Pasando (%) | |
|---------------|------------------------|----------------------------|
| | Granulometría Ideal | Granulometría Aceptable |
| 50.000 | 100 | |
| 37.500 | 87-100 | |
| 26.500 | 77-100 | 100 |
| 19.000 | 66-99 | 99-100 |
| 13.200 | 57-87 | 87-100 |
| 9.500 | 49-74 | 74-100 |
| 6.700 | 40-62 | 62-100 |
| 4.750 | 35-56 | 56-95 |
| 2.360 | 25-42 | 42-78 |
| 1.180 | 18-33 | 33-65 |
| 0.600 | 12-27 | 24-54 |
| 0.425 | 10-24 | 24-50 |
| 0.300 | 8-21 | 21-43 |
| 0.150 | 3-16 | 16-30 |
| 0.075 | 2-9 | 9-20 |

Fuente: Asphalt Academy,2009(LanameUCR)

Tabla 2.8.2

Franjas Granulométricas de los agregados para bases estabilizadas con emulsión asfáltica

| TIPO DE MATERIAL | TAMIZ (mm/ U.S. Standard) | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|--|
| | 37.500 1 1/2" | 25.000 1" | 12.500 1/2" | 9.500 3/8" | 4.750 N°04 | 2.360 N°08 | 0.425 N°40 | 0.150 N°100 | 0.075 N°200 | |
| | % PASA | | | | | | | | | |
| BEE-38 | 100 | 70-100 | 50-80 | 45-75 | 30-60 | 20-45 | 10-27 | 5-18 | 3-15 | |
| BEE-25 | - | 100 | 60-90 | 50-80 | 30-60 | 20-45 | 10-27 | 5-18 | 3-15 | |
| Tolerancias (+-) | | | | 5% | | | | | 3% | |

Fuente: INVIAS, 2017

Tabla 2.8.3

Gradación de suelos granulares para bases estabilizadas con emulsión asfáltica

| TIPO DE MATERIAL | TAMIZ (mm/ U.S. Standard) | |
|---------------------|---------------------------|----------------|
| | 4.75 N°04 | 0.075 N°200 |
| BEE-5 | 100 | 5-25 |

Fuente: INVIAS, 2017



El diseño de mezclas de suelos que son adicionados la emulsión asfáltica css-1h se realizará por el método de inmersión y compresión para bases conformadas con el agregado pétreo.

Tabla 2.8.4

Criterios de resistencia para la determinación de la dosificación óptima de mezcla asfáltica natural.

| PARÁMETRO | NORMA DE ENSAYO | VALOR |
|--|-----------------|-------|
| Resistencia de la probeta curada en seco | INV E-622 | 1.5 |
| Resistencia Conservada tras ser curada en húmedo ($R_c=R_h/R_s$) | | 75% |

Fuente: INVIAS,2017

De acuerdo al (MTC , 2013) “la finalidad de estabilizar con un producto asfáltico es aumentar la estabilidad de las partículas de suelo (trabaja como aglomerante), impermeabilizar el suelo (hacer menos sensibles al agua), los suelos más adecuados para la estabilización con emulsión asfáltica son los granulares que contengan poco fino” la pasante la malla N°200 debe ser menor a 10% y el IP menor a 09%, desgaste de abrasión no mayor al 50%, los agregados gruesos no deben de presentar pérdida en sulfato de sodio superiores al 12% y en finos 10% si se emplea sulfato de magnesio los agregados gruesos no debe ser superiores a 18% y en materiales finos superiores al 15%, el equivalente de arena debe de ser mayor a 40% ; se puede aplicar de 1% a 2% de filler cal hidratada o cemento como relleno mineral. La emulsión que está en la norma peruana es la de CSS-1h su porcentaje de aplicación varía de 4% a 8% en peso de suelo seco sin embargo pueden variar los resultados de acuerdo a los ensayos y tramos de prueba. En cuanto al uso granulométrico existe un vacío en la normatividad, la mezcla debe de tener una Estabilidad Marshall 230 kg como mínimo con pérdida de estabilidad mínima de 50% después de haber saturado o sumergida en agua por 5 horas.



2.8.1. Metodología de Diseño de mezcla

Material para base se debe caracterizar su granulometría; plasticidad, equivalente arena, peso volumétrico compacto y peso volumétrico suelto, arena para poder determinar un porcentaje óptimo de asfalto teórico y práctico empleando el método establecido por la entidad gubernamental.

No existe ensayos aceptados oficialmente sin embargo existen varias propuestas para poder determinar el porcentaje óptimo teórico de asfalto. Para evaluar el valor de soporte se utiliza el ensayo de CBR o Hveem. El material reciclado o tratado como base debe ser evaluado como una base de alta calidad, la prueba que se aplique para diseñar la mezcla debe ser las mínimas ya que se requiere conocer los valores de soporte de la mezcla. (Gustavo Rivera, E, 1997)

Si la granulometría del material cumple con las exigencias del uso granulométrico para bases; no puede ser diseñado por el método Marshall en su totalidad, sino que se tiene que combinar con otros métodos para determinar sus características completas. Se puede evaluar cualquier método para diseñar las bases asfálticas. Las maquinas recicladoras que se utilizan son las Wirtgen 2100 DCR y 1000CR las CAT RC-250, RC.350, RM-350 a las maquinas se puede adaptar una bomba dosificadora de agua y emulsión antes se tiene que hacer un premezclado la mezcla con el agua y la emulsión empleando esparcadoras de asfalto y el extendido se realiza con la motoniveladora. (Gustavo Rivera, E, 1997)

La mezcla se va a diseñar de manera análoga al método Marshall Modificado, debe de diseñarse de acuerdo al procedimiento de ILLINOIS DEL INSTITUTO DE ASFALTO tal como se manifiesta en la norma del MTC E 504.



Para iniciar la construcción de suelo tratado con emulsión asfáltica se requiere una aprobación de parte de supervisión.

Para determinar el porcentaje óptimo del asfalto se utilizará el Instituto del Asfalto (USA) o el Método de Duriez (Francia).

Instituto del Asfalto:

La fórmula que se emplea en el manual N°19 del instituto del Asfalto que trata exclusivamente sobre emulsiones asfálticas es la siguiente:

$$\%E = \frac{(0.06B + 0.01C) \times 100}{A}$$

Donde:

- %E: el porcentaje de emulsión de la mezcla
- A: concentración de residuo asfáltico
- B: el % de agregado seco que pasa la malla N°04
- C: el % de agregado seco retenido en la malla N°04
- %R: residuo asfáltico

Duriez e Inviás

$$\%L = K \sqrt[5]{\frac{\sum SE}{100}}$$

- K: coeficiente de riqueza varía de 2.5 – 3.5
- L: Porcentaje de residuo Asfáltico
- SE: Superficie específica



2.8.1.1. Método Inmersión Compresión

“Se utilizará los moldes Proctor de 1/30 pie³ de 4in (101.6mm) de diámetro y una altura de 116.4 mm utilizando un pisón o martillo de 4.54 kg de compactación. El procedimiento consiste en compactar con la misma energía de compactación de un suelo. Para ello se requiere caracterizar el suelo a que se va a tratar”, (MTC, 2016)

- La granulometría del suelo
- El porcentaje de agua respecto al suelo seco
- El tipo de emulsión a usar y el contenido óptimo.
- Recubrimiento de la mezcla (debe de estar de 50 a 100%)
- Humedad óptima para compactación.
- Resistencia a la Compresión no Confinada en Estado Seco
- Resistencia a Compresión no Confinada en Estado Saturado durante 5 hrs en agua a T° Ambiente.

Para determinar el porcentaje optimo del asfalto se utilizará el Instituto del Asfalto (USA) o el Método de Duriez (Francia). La pérdida de Estabilidad a Compresión Axial no será mayor a 50%.

2.9. MEJORAMIENTO DE SUELOS CON CEMENTO

La estabilización de suelos con cemento Amles lo patento en 1917, un primer procedimiento para el mejoramiento de suelos con proporciones variables a base de cemento tipo portland, desde entonces se popularizo el uso del suelo cemento. La acción estabilizadora de los granos de cemento al estar en contacto con el agua forma el silicato de calcio, los iones de calcio tienden a unir floccular partículas de suelo cargada



negativamente. “Si se compacta la mezcla se produce una reacción del calcio con la sílice y alumina que aumentaran lentamente la resistencia de la mezcla con el tiempo. Una de las recomendaciones importantes es de que no tiene que poseer materia orgánica por que dificultan la acción aglutinante del cemento, las especificaciones generales lo limitan a un máximo de 2% de materia orgánica”, (Montejo Fonseca, 2002)

Mejoramiento de suelos con cemento consiste en la construcción de capas para pavimento, El cemento hidráulico es utilizado para mejorar las propiedades del suelo, formar una masa cementada que tenga mayor resistencia y durabilidad. La mezcla de suelos se puede realizar insitu o en planta. El suelo a mejorar con cemento debe cumplir ciertas recomendaciones IP menor a 18, limite liquido menor a 40, pasante el tamiz n°200 debe ser menor al 50%, el desgaste a abrasión máxima debe ser 50%, la durabilidad al sulfato de sodio de los agregados gruesos debe de ser 12% y 10% para finos, la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso debe de ser 18% y 15% para agregados finos.

2.9.1. Metodología de diseño de mezcla

La metodología de diseño recomendada es la PCA para lo cual la mezcla se debe diseñar en laboratorio tomando en cuenta el clima y la altitud en la región de puno corresponde diseñar por resistencia y durabilidad (humedecimiento y secado) con una pérdida de peso de acuerdo a la Tabla 2.2-3, tomando en cuenta también el diseño por resistencia mediante el ensayo compresión simple a los 07 días de curado húmedo, la briqueta se somete a rotura y su resistencia debe ser $f'_{s/c}=18 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo al EG2013. Para iniciar la construcción del mejoramiento de suelos con cemento se necesita un diseño de mezcla previa aprobación del supervisor. Si en caso no se contara en el laboratorio con los

moldes para suelo cemento que especifica en el manual y ensayo de materiales del MTC se pueden utilizar moldes CBR, la norma española especifica que “se puede utilizar probetas tipo CBR sin disco espaciador de 152.4 mm de diámetro y 177.8 mm de altura siendo la resistencia mínima a 7 días 15 Mpa”, (IECA, ANCADDE, & ANTER, 2008)

La Norma peruana y la colombiana permite utilizar los moldes Proctor de 101.6mm de diámetro y 116.4 mm en altura para suelos granulares, la resistencia a compresión simple en condición saturada a los 07 días debe ser de 18 kg/cm². El rango requerido para la estabilización de suelo cemento se muestran las siguientes tablas. Son referenciales se tiene que desarrollar un estudio detallado para cada material.

Tabla 2.9.1.

Rango de cemento en Estabilización de Suelo Cemento

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

Fuente: Federal Highway Administration(FHWA)

El CBR para el suelo cemento se debe de realizar el ensayo a los 07 días sobre probetas compactadas, debido a que el suelo cemento va seguir adquiriendo resistencia conforme va ir pasando los días.

Para determinar el porcentaje óptimo de cemento para bases tratadas se toma en consideración el criterio de diseño por resistencia, el humedecimiento y



secado en caso de nuestra región de Puno. Si se trata de mejorar solo el CBR no se debe tomar en cuenta la resistencia a compresión. Para realizar un buen diseño se debe de caracterizar el material adecuadamente.

- Granulometría del suelo
- Contenido óptimo de cemento
- Humedad optima de compactación
- Resistencia a compresión simple a los 07 días de curado húmedo.
- Durabilidad pérdida de peso de la mezcla compactada.
- CBR mejorado.

La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal. La corrección que se realiza por esbeltez para suelo cemento está descrita en el manual de ensayos y materiales del MTC(nota 4) y la tabla 2.9.2.

Nota 4. “La resistencia a compresión de especímenes del Método A se multiplica por 1,10. Esto convierte la resistencia (h/d de 2,00) a la de una relación (h/d de 1,15) que es comúnmente empleada en ensayos de resistencia de suelo cemento. Los parámetros de resistencia están normados con la esbeltez de 1.15 que sería 18.00 kg/cm²”, (MTC, 2016).

Para las consideraciones de proyectos de carretera es necesario definir el criterio de diseño como un pavimento rígido o flexible debido a que el suelo cemento tiene una importante resistencia a la flexión se provocan pequeñas grietas finas que provocan el comportamiento semirrígido (de la Fuente Lavalle, 1991).

Tabla 2.9.2

Factores de Corrección para la Resistencia a Compresión

| H/D | FACTOR DE CORRECCIÓN |
|------|----------------------|
| 2.00 | 1.00 |
| 1.75 | 0.98 |
| 1.50 | 0.95 |
| 1.25 | 0.94 |
| 1.10 | 0.90 |
| 1.00 | 0.85 |
| 0.75 | 0.70 |
| 0.50 | 0.50 |

Fuente: Normas de Ensayos Dirección Nacional de Vialidad Distrito de Buenos Aires

“Los Suelos más favorables para estabilizar con cemento son A-1, A-2, A-3 con un IP menor a 18, la Capa de suelo cemento debe de ser algo flexible la resistencia debe de estar en los rangos de 18kg/cm² a 56 kg/cm²”. (MTC , 2013)

Tabla 2.9.3.

Propiedades comunes a la mezcla suelo cemento

| PROPIEDADES COMÚNMENTE EXIGIDAS A LAS MEZCLAS DE SUELO CEMENTO | | |
|--|---|-----------|
| TIPO DE CAPA | COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²) | CBR % |
| Sub bases, material relleno para trincheras. | 3.5 - 10.5 | 20 - 80 |
| Subbases o bases para transito muy ligero. | 7.0 - 14 | 50 - 150 |
| Bases para tráfico intenso | 14 - 56 | 200 - 600 |
| Protección de terraplenes contra erosión y acción del agua | 56 | 600 |

Fuente: Rico del Castillo (Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres)

Se describe en la tabla 2.9-4 para tomar en cuenta el diseño por Durabilidad.

Tabla 2.9.4

Pérdida de peso de la mezcla compactada

| Suelo por estabilizar | Perdida Máxima (%) |
|-----------------------|--------------------|
| A-1; A-2-4; A-2-5; A3 | 14 |
| A-2-6; A-2-7; A-4; A5 | 10 |
| A-6; A-7 | 07 |

Fuente: Especificaciones Generales (MTC , 2013)



2.10. PAVIMENTOS

Un pavimento es la estructura de la vía que está conformada por varias capas que son diseñadas inicialmente, luego se construyen con materiales seleccionados y compactadas adecuadamente. Deben de soportar las cargas de tránsito la estructura del pavimento. El pavimento de una estructura se apoya en una subrasante adecuada, su finalidad es proporcionar una superficie de rodadura apropiada para el tráfico de vehículos que circulan a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Existen varios tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que van a transitar en la vía y los volúmenes de tránsito, además se debe tomar en cuenta el costo.

2.10.1. Clasificación de Pavimentos

2.10.1.1. Pavimentos Flexibles

Es el pavimento que tiene su carpeta asfáltica o tratamiento superficial que está apoyada sobre 02 capas no rígidas como una base granular, subbases granular y que estas capas cumplen ciertas exigencias que están en las EG 2013.

2.10.1.2. Pavimentos Semirrígidos

Es el tipo de pavimento que comprende de una carpeta asfáltica o tratamiento superficial que está apoyada sobre una base tratada o estabilizada con: asfalto, emulsión asfáltica, cal, cemento u otros aditivos químicos y una subbase granular que cumplen ciertas exigencias de la EG2013.



2.10.1.3. Pavimentos Rígidos

Es el pavimento que tiene una losa de concreto hidráulico elaborado con cemento Portland que está apoyada sobre una subbase granular. El pavimento rígido puede ser simple con juntas con o sin pasadores o reforzados con acero o dowels. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013)

2.10.2. Estructura de Pavimentos

2.10.2.1. Subrasante

Es una capa que sirve como cimiento para construir la estructura del pavimento flexible o rígido, su evaluación se basa de acuerdo a su capacidad de soporte que están sometidas a las cargas de tránsito. El nivel superior de la plataforma donde se va a construir el pavimento puede ser por corte o relleno(terraplén) debidamente compactadas. El espesor del pavimento dependerá de la calidad de la subrasante. (Montejo Fonseca, 2002)

2.10.2.2. Subbases

Es una capa con materiales granulares que se obtiene en forma natural o procesado, su función es la de soportar, transmitir y distribuir uniformemente las cargas que es aplicada a la superficie de rodadura del pavimento y esta se transmite a la sub - rasante. La sub - base trabaja como capa de transición para drenaje o para impedir la ascensión capilar. Los materiales se ajustan a una franja granulométrica para prevenir segregaciones así poder compactar y obtener una resistencia adecuada.

Tabla 2.10.1*Uso granulométrico para subbase 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°04) | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| 2.00 mm (N°10) | 15-40 | 20-45 | 25-60 | 40-70 |
| 425 um (N°40) | 08-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| 75 um (N°200) | 02-08 | 05-15 | 05-15 | 08-15 |

Fuente: ASTM D1241

NOTA (1): La gradación A es aplicable si la altitud es superior a 3000 m.s.n.m.

Para seleccionar la calidad de los materiales se debe de tomar en consideración la siguiente tabla:

Tabla 2.10.2*Subbase granular: Requerimiento de ensayos especiales*

| Ensayo | Norma | Requerimiento | |
|-------------------------------|-----------|----------------|---------------|
| | | <3000 m.s.n.m. | >3000 m.s.n.m |
| Abrasión los Ángeles | C 131 | 50% max | 50% max |
| CBR (1) | D 1883 | 40% min | 40% min |
| Limite Liquido | D 4318 | 25% max | 25% max |
| Índice de Plasticidad | D 4318 | 6% max | 4% max |
| Equivalente Arena | D 2419 | 25% min | 35% min |
| Sales Solubles | MTC E 219 | 1% max | 1% max |
| Partículas chatas y alargadas | D 4791 | 20% max | 20% max |

Fuente: EG2013

2.10.2.3. Bases

De acuerdo al (MTC , 2013), "es una capa de materiales granulares que se obtiene de manera natural o procesado con inclusión o no de algún estabilizador o ligante debidamente aprobados, su función principal es proporcionar un elemento resistente para transmitir las cargas de tránsito a

la subbase y a través de esta a la subrasante”. Esta capa se usa como soporte estructural o superficie de rodadura. Los materiales deben de ajustarse a las especificaciones de calidad: el requerimiento granulométrico es el mismo de la subbase con la diferencia del CBR mínimo que debe de ser 80%. La base granular se coloca sobre una subbases o afirmado incluso sobre una subrasante.

Tabla 2.10.3

CBR Valor Relativo de Soporte

| Valor Relativo de Soporte (1) | | |
|-------------------------------|--|----------|
| Trafico ligero y medio | Trafico en ejes equivalentes ($<10^6$) | Min 80% |
| Tráfico Pesado | Trafico en ejes equivalentes ($\geq 10^6$) | Min 100% |

(1) Referido al 100% de γ_d máx. y una penetración de 0.1” (2.5mm)
Fuente: EG2013

El agregado grueso debe de cumplir las siguientes exigencias:

Tabla 2.10.4

Requerimientos de agregado grueso

| Ensayo | Norma | Requerimiento | |
|--------------------------------------|--------|------------------|-----------------|
| | | <3000 m.s.n.m. | >3000 m.s.n.m |
| Partículas con una cara fracturada | D 5821 | 80% min | 80% min |
| Partículas con dos caras fracturadas | D 5821 | 40% min | 50% min |
| Abrasión de los ángulos | C 131 | 40% max | 40% max |
| Partículas chatas y alargadas (1) | D 4791 | 15% max | 15% max |
| Sales solubles totales | D 1888 | 0.5% max | 0.5% max |
| Perdidas con sulfato de sodio | C 88 | --- | 12% max |
| Perdidas con sulfato de magnesio | C 88 | --- | 18% max |

Nota (1): la relación espesor/longitud (1/3)
Fuente: EG2013

Se considera agregado fino al material que pasa el tamiz N°04 que pueden ser de procedencia natural o procesados debe de cumplir las siguientes características:

Tabla 2.10.5*Requerimientos de agregado fino*

| Ensayo | Norma | Requerimiento | |
|------------------------------------|-----------|----------------|---------------|
| | | <3000 m.s.n.m. | >3000 m.s.n.m |
| Índice de Plasticidad | D 4318 | 04% max | 02% min |
| Equivalente Arena | D 2419 | 35% min | 45% min |
| Sales Solubles Totales | MTC E 219 | 0.5% max | 0.5% max |
| Índice de Durabilidad | MTC E 214 | 35% min | 35% min |
| Durabilidad al Sulfato de Magnesio | C 88 | --- | 15% max |

Fuente:EG2013

2.10.2.4. Superficie de Rodadura

Es la capa que se construye sobre la base para proteger el pavimento, evitar su desgaste prematuro, impermeabilizando la superficie de rodadura (evitar la filtración de agua). La capa de rodadura aumenta la capacidad de soporte del pavimento y la de resistir los efectos abrasivos del tránsito. La superficie de rodadura puede estar a base de carpeta asfáltica que tiene un aporte estructural o a base de riegos superficiales el aporte estructural es nulo, La superficie de rodadura que se puede emplear son:

- La carpeta asfáltica puede ser una mezcla asfáltica en Caliente o en Frio los materiales deben de cumplir ciertos requisitos que están en las especificaciones.
- Tratamientos Superficiales, para impermeabilizar y brindar resistencia al desgaste, son ampliamente conocidos como tratamientos superficiales como: Fogg Seal, Sand Seal; Chip Seal, Otta Seal, Cape Seal y Slurry Seal.



2.11. AFIRMADOS

“La que se emplea como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas son los afirmados que consiste en la construcción de una o más capas (material granular seleccionado) con o sin adición de estabilizadores. Además, debe de cumplir las exigencias de control de calidad”, (MTC , 2013)

- Desgaste de los ángeles 50% máximo.
- Limite liquido 35% máximo.
- Índice de Plasticidad de 4 a 9%.
- CBR 40% como mínimo referido al 100% de la máxima densidad seca.

Durante la etapa de construcción se realiza los controles de calidad y la compactación mínima es de 100%, IRI no deberá ser superior a 5m/km. “Para mejorar las condiciones de las carreteras vecinales (no pavimentadas) se plantea las soluciones básicas para emplear como alternativas técnicas, económicas y ambientalmente amigables” (MTC, 2015).

2.12. SOLUCIÓN BÁSICA

“Los caminos con pavimentos económicos (soluciones básicas), se refiere a alternativas técnicas, económicas y ambientales, consiste en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos mejorándose la superficie de rodadura para que tenga una mayor vida útil y un mejor nivel de servicio”, (MEF, 2015).

“Las soluciones básicas son alternativas técnicas, económicas y ambientales, que consiste en utilizar los estabilizadores de suelos, recubrimiento bituminoso (slurry seal, micro pavimentos, imprimación reforzada, tratamientos superficiales, etc.) prolongando la vida útil de la carretera y preste un mejor nivel de servicio”, (MTC, 2015) . “Las soluciones

básicas aplicadas en carreteras no pavimentadas (afirmados), la finalidad es mejorar el nivel de servicio y la vida útil de la superficie de rodadura, que se deterioran rápidamente debido al tránsito y al clima, formándose baches, encalaminados, desprendimiento de agregado y emisión de polvo, la vida útil de un afirmado es de 5 años y con una solución básica se prolonga a 10 años tiene menor costo de mantenimiento que un afirmado convencional. La aplicación de las soluciones básicas dependerá de las características particulares de cada proyecto, de acuerdo al suelo predominante y su ubicación”, (MTC, 2015).

Especificación técnica para estabilizar los suelos y parámetros máximos y mínimos a cumplir se describe en la tabla 2.12.1.

Tabla 2.12.1

Parámetro y especificación técnica de estabilizadores

| Suelo estabilizado con | Parámetros |
|------------------------|---|
| Cemento | 1. Resistencia UCS 1.8 Mpa mínimo (MTC E 1103) |
| | 2. Humedecimiento y secado (MTC E 1104) Para suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A3 pérdida máxima 14% Para suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A5 pérdida máxima 10% Para suelos A-6; 1-7 pérdida máxima 7% |
| | 1. Estabilidad Marshall 230 kg mínimo (MTC E 504) |
| Emulsión Asfáltica | 2. Pérdida de estabilidad después de saturado máximo 50% |
| | 3. % de recubrimiento y trabajabilidad de la mezcla debe de estar de 50 a 100% |
| Cal | 1. CBR*=100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) |
| | 2. Expansion menor igual a 0.5% |
| Sales | 1. CBR*=100% mín., CBR no saturado (MTC E 115, MTC E 132) |
| Productos químicos ** | 1. CBR*=100% (MTC E 115, MTC E 132) |
| | 2. Expansion menor igual a 0.5% |

Fuente: (MTC, 2015) (*) CBR corresponde a la penetración de 0.1”

(**) aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.

"El recubrimiento bituminoso que se coloque como parte de las soluciones básicas son los micro pavimentos, slurry seal, imprimación reforzada, tratamientos superficiales,

etc, deben de cumplir las especificaciones técnicas establecidas en los manuales de carreteras vigentes”, (MTC, 2015).

Tabla 2.12.2

Especificaciones técnicas de estabilizadores y la aplicación según región.

| Zona | Materiales o suelos predominantes | Estabilizador de suelos aplicable |
|---|---|--|
| Costa a 500 m.s.n.m | Suelos granulares, de nula a baja plasticidad A-1, A-2, A-3, A-4, A-5 | Sales Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Productos químicos (aceites sulfonados, etc.) |
| Sierra de 500 m.s.n.m a 4800 m.s.n.m | Suelos granulares de nula a plasticidad media A-1, A-2, A-3, A-4, A-5 | Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Cal Productos químicos (aceites sulfonados, etc.) |
| Ceja de selva y selva alta de 400 m.s.n.m. a 1000 m.s.n.m | Suelos granulares de nula a plasticidad media A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 | Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Cal Productos químicos (aceites sulfonados, etc.) |
| Selva baja menor a 400 m.s.n.m | Suelos limo-arcillosos, arcillas, arcillas arenosas y arenas predominantemente finas A-2-4, A-3, A-6, A-7 | Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Cal Productos químicos (aceites sulfonados, etc.) |

Fuente: (MTC, 2015)

2.13. MODULO RESILIENTE

Para realizar un diseño de pavimento se requiere el valor de CBR o el módulo resiliente de diseño, cuando se disponga. Si no se tienen resultados de ensayos de resistencia, adoptar valores por correlación con la clasificación de suelos. “La discusión, de cómo se estiman esos coeficientes se separa en cinco categorías, dependiendo del tipo y función del material de capa. Esos materiales son concreto asfáltico, base granular, subbase granular, base tratada con cemento y base tratada con asfalto. También son

aceptables otros materiales tales como la cal, cenizas volantes con cal y cenizas volantes con cemento y cada agencia deberla desarrollar cartas". (AASHTO, 1993)

El módulo resiliente para la base de la carretera experimental AASHTO para esa correlación es: $a_2 = 0.249 * \log(E_{BS}) - 0.977$.

Formula referenciada en la AASHTO ROAD TEST y en la guía AASHTO-93

$$M_r = 4326 \ln(CBR\%) + 241 \text{ para material granular } CBR > 20\%.$$

La fórmula del Programa PAS -Pavement Analysis System de la Asociación de americana de pavimentos de concreto de Estados Unidos (Subbase y Bases Granulares)

$$M_r = 321.05 * CBR + 13327 \text{ para material granular } CBR > 80\%.$$

$$M_r = 385.08 * CBR + 8660 \text{ para material granular } CBR \leq 80\%.$$

Figura 2.13.1

Coefficiente estructural para base (a2) con diferentes parámetros de resistencia.

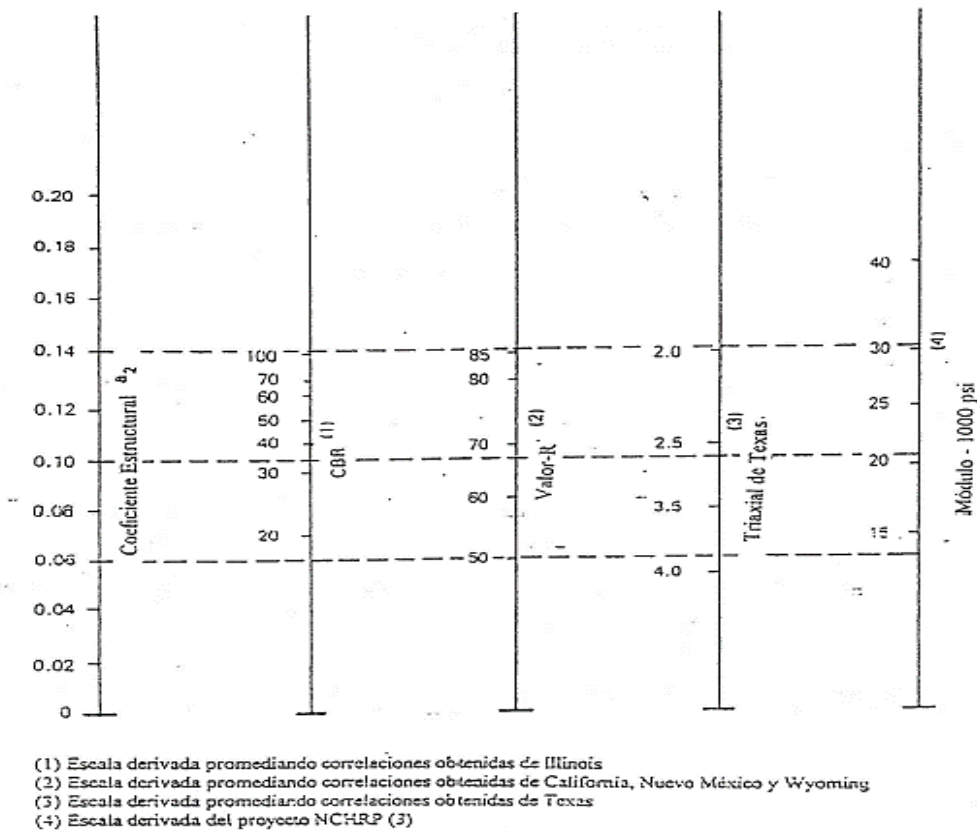
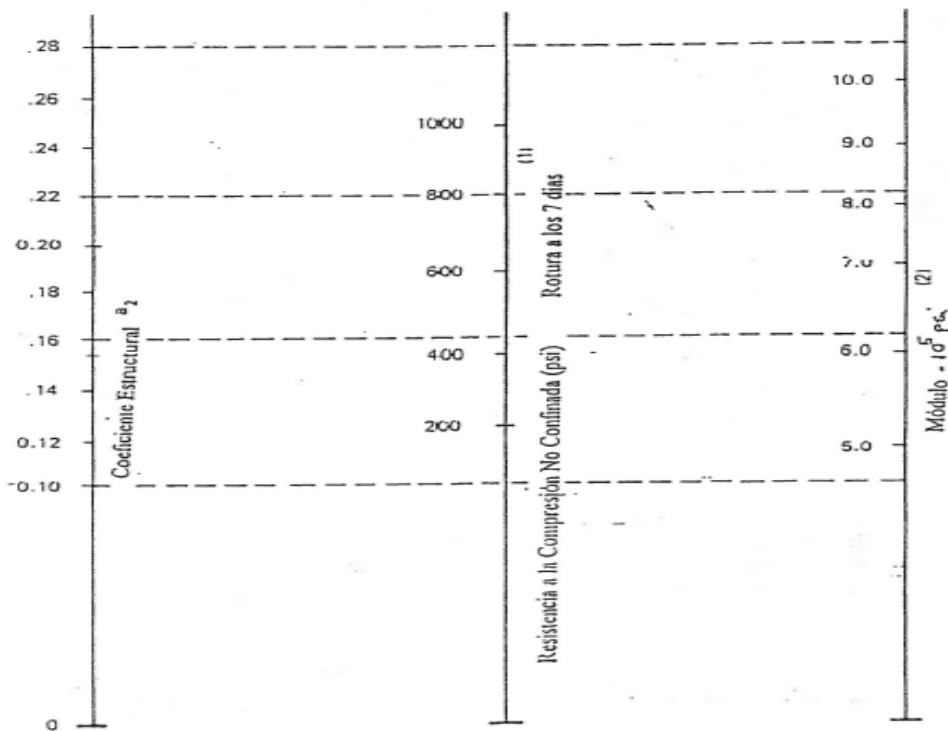


Figura 2.13.2

Coefficiente a_2 para bases tratadas con los parámetros de resistencia



(1) Escala derivada promediando las correlaciones obtenidas de Illinois, Louisiana y Texas
(2) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

2.14. EVALUACIÓN DE COSTOS

Para el análisis de costos se tiene que definir el porcentaje de emulsión asfáltica y del cemento que se va utilizar y las actividades o partidas que se necesitan para conformar una base granular para ello se realiza el análisis de costos unitarios.

2.14.1. Análisis de costo unitario

Se refiere a los costos que se requiere y los recursos necesarios para ejecutar dicha actividad.

2.14.2. Recursos

Los recursos comprenden: mano de obra, equipos y herramientas, materiales, subcontratos que son necesarias y se utiliza para ejecutar dicha actividad.

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados para la presente investigación canteras disponibles de la zona que se han utilizado las cuales tienen que mejorar las propiedades geotécnicas con cemento y emulsión asfáltica, o la combinación de ambas dependerá de las características del suelo. Los materiales y métodos utilizados en la presente investigación son:

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

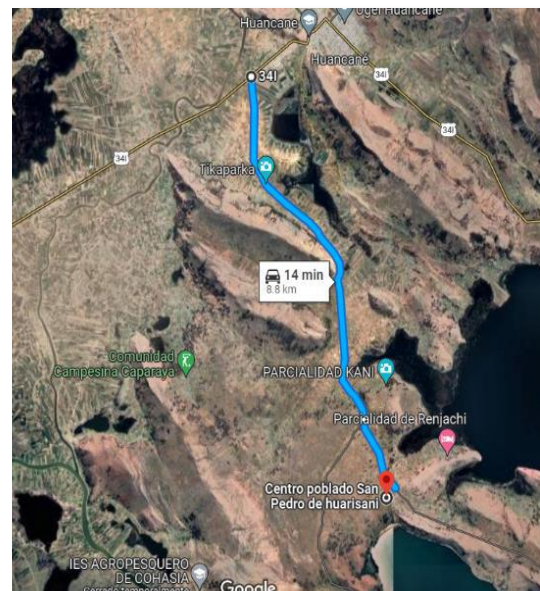
El área de estudio de la presente investigación, está ubicada a 3849 m.s.n.m. El tramo de la carretera afirmada es Huancané-Cotapata-Huarisani ubicada en la Provincia de Huancané, Departamento de Puno con una longitud que comprende de 12.54 km.

Figura 3.1.1

Ubicación y tramo de afirmado



Fuente: Google (a)



Fuente: Google maps (b)



El acceso al área del tramo de intervención en la presente investigación se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3.1.1

Resumen de Accesibilidad

| Origen | Destino | Tipo de carretera | Distancia(km) | Tiempo(hra) |
|----------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| Puno | Juliaca | Asfaltada | 45.00 | 0.50 |
| Juliaca | Huancané | Asfaltada | 58.50 | 1.20 |
| Huancané | C.P. Huarisani | Afirmada | 12.40 | 0.30 |

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

El estudio es realizado para mejorar las capas de pavimento con el material que se cuenta en la zona carretera afirmada Huancané - Cotapata – Huarisani con una longitud de 12.54 km. En el tramo de la presente investigación no existe canteras para afirmado, por lo tanto, se definió canteras por conveniencia para ello se tuvo que buscar canteras cercanas al tramo, Definiéndose la cantera Pecosani y la cantera Samán.

El tramo de estudio está a nivel de afirmado, la infraestructura tiene presencia de baches a pesar de que se intervino recientemente, se deteriora fácilmente debido a precipitaciones pluviales y el tránsito.

3.2.2. Muestra

Las muestras constan de 02 grupos de control y 04 grupos experimentales, el número de ensayos a desarrollar son las siguientes: El grupo de control se evalúa para caracterizar la cantera consta de los siguientes ensayos: 14 ensayos para

caracterizar el material de investigación y para evaluar el mejoramiento por resistencia a compresión simple se requiere evaluar 06 briquetas (02 ensayos) y la prueba de humedecimiento y secado 04 briquetas.

Figura 3.2.1

Representación gráfica del grupo de control y experimental

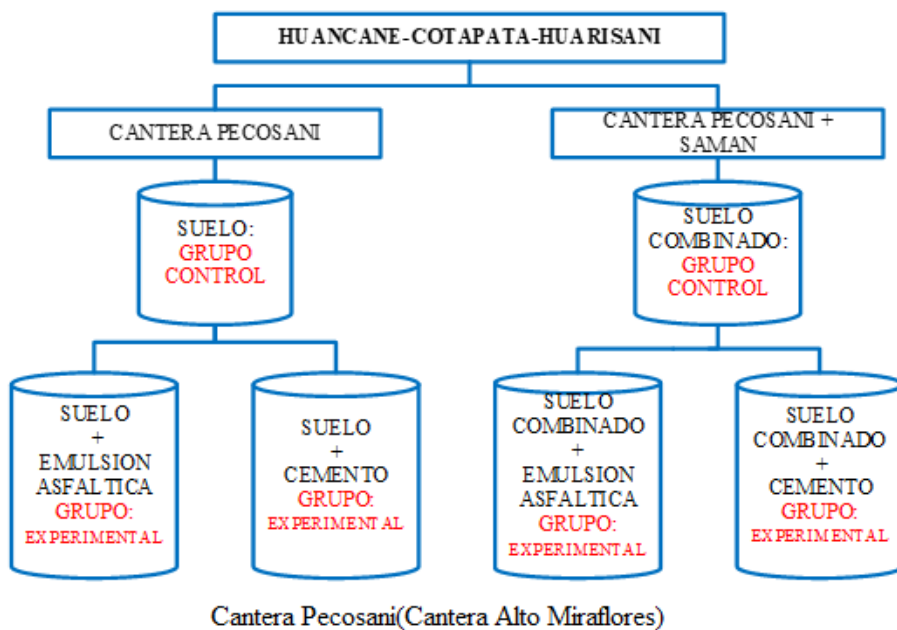


Tabla 3.2.1

Numero de ensayos para caracterizar los materiales de Cantera.

| N° | Descripción | Cantera Pecosani | Cantera Combinado | Total |
|----|---------------------|------------------|-------------------|--------------|
| 1 | Granulometría | 01 | 01 | 02 |
| 2 | Limite Liquido | 01 | 01 | 02 |
| 3 | Limite Plástico | 01 | 01 | 02 |
| 4 | Proctor Modificado | 01 | 01 | 02 |
| 5 | CBR | 01 | 01 | 02 |
| 6 | Abrasión | 01 | 01 | 02 |
| 7 | Equivalente Arena | 01 | 01 | 02 |
| 8 | Compresión Simple | 03 briquetas | 03 briquetas | 06 briquetas |
| 9 | Durabilidad al agua | 02 briquetas | 02 briquetas | 04 briquetas |



El grupo experimental se evaluará el mejoramiento de la resistencia a compresión; durabilidad al agua y el CBR.

Tabla 3.2.2

Numero de ensayos grupo experimental

| N° | Descripción | Cantera Pecosani | | Cantera Combinado | | Total |
|----|---------------------|------------------|----------|-------------------|----------|----------|
| | | CSS-1H | Cemento | CSS-1H | Cemento | |
| 1 | Proctor Modificado | 01 | 02 | 01 | 02 | 06 |
| 2 | Compresión Simple | 12 briq. | 15 briq. | 12 briq. | 15 briq. | 78 briq. |
| 3 | Durabilidad al agua | 12 briq. | 10 briq. | 12 briq. | 10 briq. | 24 briq. |
| 4 | CBR | 02 | 02 | ----- | ----- | 04 |

El ensayo cuenta con 06 Proctor Modificado; 04 CBR; 102 briquetas para evaluar la resistencia a compresión y al agua.

En global se analizó 112 briquetas para la Resistencia a compresión y al agua (humedecimiento y secado); 06 CBR ;08 Proctor Modificados; 02 Compresión Simple.

3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Nivel de investigación

“El nivel de investigación es la correlacional este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más variables. Miden las variables y su relación en términos estadísticos”, (Hernandez Sampieri, 2019)

La investigación se considera correlativa por que los resultados de resistencia dependerán del porcentaje que se adicione de emulsión asfáltica o cemento.



3.3.2. Tipo de investigación

“Una vez que se precisa el planteamiento del problema, se define el alcance inicial de la investigación y se formula las hipótesis, el investigador debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados; Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular de su estudio”, (Hernandez Sampieri, 2019).

El tipo de investigación es no experimental si bien es cierto se manipulan las variables independientes de manera intencional para analizar el efecto y observar la muestra, para considerar como experimental se debería intervenir a nivel poblacional. Se realiza un tratamiento a la muestra (suelo con cemento o emulsión asfáltica) mas no a la población para analizar la resistencia (variable dependiente).

3.4. MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Fuentes de material o canteras

Para la presente investigación se utilizará 02 canteras, debido a que durante la etapa de ejecución de la investigación la cantera Alto Miraflores no cumple las exigencias de dureza de los agregados.

3.4.1.1. Cantera Pecosani

La cantera Pecosani está ubicada a 3849 m.s.n.m en el distrito y provincia de Huancané en las siguientes coordenadas por el este 17553.30 por el norte 19629.40 a 3849.00 m.s.n.m.

Figura 3.4.1

Ubicación geográfica de cantera Alto Miraflores



Fuente: Google maps

Se realiza el muestreo de la cantera Pecosani, para posteriormente realizar el estudio de suelos en el laboratorio de suelos E.P.I.C.

Figura 3.4.2

Acceso a la cantera y muestreo de suelo



(a)

(b)

$$\text{Potencia Bruta} = \frac{10 \times 24 \times 70 \times 1.25}{2} = 10,500 \text{ m}^3$$

$$\text{Top Soil} = \sqrt{10^2 + 24^2} \times 0.25 \times 1.25 = 8.125 \text{ m}^3$$

$$\text{Over} = 0.25 \times 10,500 = 2625 \text{ m}^3$$

$$\text{Potencia Neta} = 10500 - 8.125 - 2625$$

$$\text{Potencia Neta} = 7866.875 \text{ m}^3$$

3.4.1.2. Cantera Samán.

La cantera Samán proviene del río Ramis que está ubicada a 3835 m.s.n.m. La coordenada de la Cantera Samán este 389625 por el norte 8307658 a una altitud de 3835.00 m.s.n.m.

Se realiza el muestreo de la cantera, para posteriormente realizar el estudio de suelos en el laboratorio E.P.I.C.

Figura 3.4.3

Muestreo de Hormigón y acopio



5.59 p. m.
034S 70,0275W ±3,22m

(a)



(b)

$$V \text{ requerido} = 12400 \times 0.10 \times 4.2 \times 1.5/2 = 3906.00 \text{ m}^3$$



3.4.2. Emulsión asfáltica

Se selecciona la emulsión asfáltica CSS-1h de acuerdo al manual 19 del instituto del asfalto con emulsiones de rotura lenta se diseñan para conseguir mezclas estables que tengan una gradación cerrada, con un porcentaje de alto en finos, tienen un periodo prolongado de trabajabilidad. Además, se pueden incorporar agua y se puede dar uso para riego liga, riego pulverizado y como riego antipolvo. “Las aplicaciones que se le dan son para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas, reciclados y sellos con lechada asfáltica (slurry seal). En cambio, la de rotura rápida reaccionan rápidamente al entrar en contacto con el agregado para evitar el escurrimiento su uso es para tratamientos superficiales. En cambio, las emulsiones de rotura media son utilizados para mezclas con agregados graduados”. (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986).

De acuerdo a su ficha técnica de bituper S.A.C, la emulsión catiónica de rotura lenta CSS-1h, son diseñados para reaccionar lentamente con los agregados y revertir el estado de la emulsión para asfalto. La aplicación que recomienda son las siguientes. Slurry Seal, mezclas densas, estabilizaciones, riegos de liga, etc tomando en cuenta la recomendación del proveedor. De acuerdo a las especificaciones generales para suelos que van a ser estabilizados con emulsión asfáltica de rotura lenta, hace referencia al CSS-1h sección 301.E (MTC , 2013) , Sanchez Nuñez & Shoji Hirano (2020),menciona que se utilizo en el tramo Capazo-Tarata la Emulsion CSS-1h.

La emulsión asfáltica se puede adquirir de Bituper, TDM asfaltos los 02 son ampliamente conocidas. Para el caso de emulsiones asfálticas se tomará en



cuenta la ficha técnica del proveedor de Bituper con un residuo asfáltico de 57% como mínimo.

De acuerdo al guía referencial para seleccionar el tipo de estabilizador IP no debe de exceder el 10% para asfaltos, el porcentaje pasante la malla N°200 no debe de exceder en 20% en peso, límite líquido menor a 30. (MTC, 2014), en el mismo manual hace mención que para emulsiones el IP menor igual a 8%, equivalente arena mayor igual a 40%, abrasión menor a 50%, aplicable para suelo A-1, A-2 y A-3.

3.4.3. Cemento

Se utiliza el cemento para estabilizar materiales de afirmado o materiales provenientes de cantera, agregado locales o la mezcla de ellos, no deberá tener presencia de materia orgánica. (MTC , 2013). De acuerdo al manual de suelos y pavimentos del MTC menciona que se pueden estabilizar todo tipo de suelos, sin embargo, los suelos recomendados para estabilizar con cemento son las de tipo granular A-1, A-2 y A-3, con material fino con una plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

En la región tenemos a cemento Rumi que está ubicada su planta en Caracoto, y el cemento Yura que está en la región de Arequipa. Se tomará como referencia la ficha técnica del material que nos brinda el proveedor Es aplicable para obras de infraestructura vial y edificaciones pudiéndose emplear bolsas de 42.50 kilogramos o las bolsas de big bag de 1.50 toneladas. se tiene que tomar en cuenta las recomendaciones que se da en la ficha técnica 2023/V.1



3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. Reconocimiento de la Vía

El tramo empalma con la red vial nacional Juliaca-Huancané que tiene una superficie de rodadura a base de carpeta asfáltica. La carretera inicia su tramo a 2.70 km de la plaza de armas de la provincia de Huancané.

La carretera es no pavimentada en condición de afirmado de 12.54 km de longitud, ya con desgaste presencia de polvo y baches en algunos casos encalaminados, zonas erosionadas debido a la presencia de lluvias. Se proyecta para carretera de tercera clase con IMDA menor a 400 veh/día.

El ancho de la calzada aproximadamente tiene un promedio de 4.20 m, lo que se observa en el tramo es que existe un mayor ancho en el empalme con la carretera Juliaca a Huancané, a medida que se va alejando se va reduciendo el ancho de la calzada de la carretera midiendo en algunos casos un ancho de 3.60 m.

La población beneficiaria referente a la zona de influencia corresponde a 4034 habitantes. El clima es típico de nuestra región Frio-semiseco con variaciones de temperatura hasta -12°C , la zona es inminentemente ganadera, se dedican en menor escala a la agricultura y muy pocos al comercio, tiene un potencial Turístico que podría ser aprovechada por ser una zona con vista panorámica al lago Titicaca existe playas que son poco visitadas, etc. Aunque últimamente están incursionando con la crianza de truchas.

Figura 3.5.1

Vía afirmada tramo Huancané – Cotapata - Huarisani



Nota: el ancho de vía promedio del tramo es 4.20 m

3.5.2. Muestreo de Canteras

Se realizó una caracterización de los materiales de Cantera Pecosani para su mejoramiento con el uso del cemento y la emulsión asfáltica. De acuerdo al MTC EG 2013 si se trata de mejorar capas estructurales el material de cantera debe de tener un desgaste de los ángeles menor o igual al 50% lo cual no se cumplía cierta exigencia el desgaste del material de la cantera Pecosani era de 76%. Por lo tanto, se optó en buscar mejorar el desgaste del material realizando una combinación de suelo con hormigón material proveniente de río Ramis (Samán). Tuvimos que agregar una nueva Cantera para su Investigación resultado de ello se tiene más muestras a estudiar.

3.5.2.1. Muestreo de Cantera Pecosani

Se realizó la inspección de la zona, para nuestro estudio en específico tuvimos que buscar un material que no tenga plasticidad o su



plasticidad sea mínima. Debido a que las emulsiones asfálticas trabajan mejor con materiales de IP menor a 8. Tal como se muestra en la Figura N° 3.4-2.

3.5.2.2. Muestreo de Cantera Samán

Según los estudios realizados en el laboratorio E.P.I.C. a la Cantera Pecosani no cumple ciertas exigencias como la dureza del agregado para estabilizar suelos que van a conformar la capa base con capacidad estructural es por ello se decidió combinar el material con Hormigón, tal como se muestra en la Figura N° 3.4-3.

3.5.3. Análisis granulométrico por tamizado

Se clasifica el suelo de acuerdo al tamaño de partículas de la muestra, para determinar al grupo que le corresponde si corresponde a suelos gruesos o finos, además se evalúa al suelo si es bien graduado o mal graduado, de acuerdo a la normativa ASTM D 422.

El análisis granulométrico permite determinar el porcentaje de material de acuerdo al tamaño de partículas del suelo, se grafica la curva granulométrica. La sucesión de tamices que se usa es de diámetro mayor a menor, así como se muestra en la tabla 4.5-2, luego se hace el respectivo tamizado que puede ser por lavado (si se trata de suelos que tienen presencia de limo o arcilla cuyos terrones no se rompen con facilidad) o en estado seco (si se trata de suelos arenosos con muy poca arena o arcilla), si hay presencia de terrones que se desintegra rápidamente se realiza el análisis granulométrico por lavado.

Figura 3.5.2

Tamizado de Suelo



Del análisis granulométrico de la cantera de Pecosani se observa que la grava representa el 42.97%; arena 48.75% y el material fino es 8.28% (pasante del Tamiz n°200).

La cantera Samán es netamente hormigón que va a ser empleada para mejorar la dureza de las gravas. Del análisis granulométrico se concluye que la presencia de gravas representa un 51.12%; la arena un 47,77% y el material fino pasante la malla n°200 se considera 1.11%.

Para obtener la granulometría combinada se buscó cumplir las exigencias de dureza del agregado que sea menor al 50.00%, y para la combinación se tuvo que realizar la dosificación en Volumen, debido a que es la mezcla de suelos más fácil de emplear en los trabajos de campo. Para realizar las correcciones de la curva granulométrica se tuvo que realizar la prueba densidad de los materiales en estado suelto.

Tabla 3.5.1

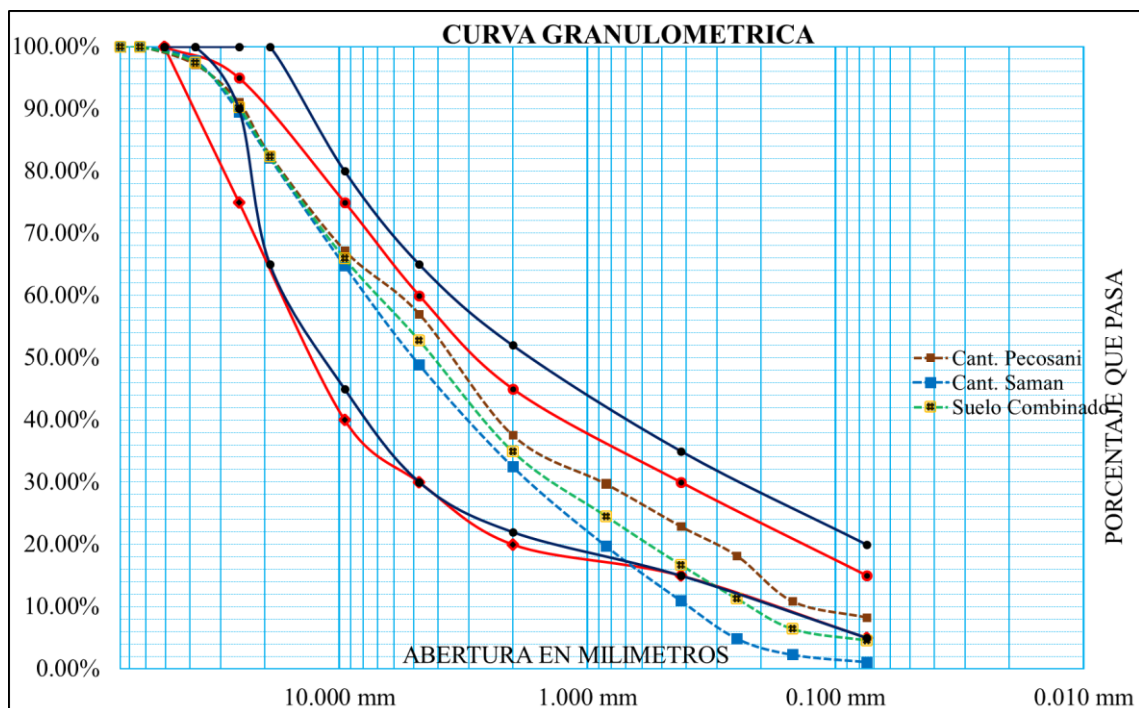
Peso específico de material suelto.

| DESCRIPCIÓN | SUELO | | HORMIGÓN | |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Peso del molde + suelo seco | 11807 gr | 11795 gr | 12174 gr | 12182 gr |
| Peso del molde | 6855 gr | 6855 gr | 6855 gr | 6855 gr |
| Volumen del molde | 3175.60 cm ³ | 3175.60 cm ³ | 3175.60 cm ³ | 3175.60 cm ³ |
| Peso del suelo seco | 4952.00 gr | 4940.00 gr | 5319.00 gr | 5327.00 gr |
| Peso específico suelo | 1.559 gr/cm ³ | 1.556 gr/cm ³ | 1.675 gr/cm ³ | 1.677 gr/cm ³ |
| Peso específico suelo promedio | 1.558 gr/cm ³ | | 1.676 gr/cm ³ | |
| Peso de suelo seco promedio | 4946.00 gr | | 5323.00 gr | |
| Peso total del suelo | 10269.00 gr | | | |
| Dosificación en peso | 48% | | 52% | |
| Dosificación en volumen | 50% | | 50% | |

Fuente: dosificación en peso 48% y 52 % hormigón en volumen 50% y 50%

Figura 3.5.3

Curva Granulométrica de Canteras



El suelo de la Cantera Pecosani tiene grava 42.97%; arena 48.75% y el material fino es 8.28%. El suelo de la Cantera Combinado tiene grava 47.21%; arena 48.24% y pasante la N°200 es 4.55%. El uso granulométrico que más se

asemeja es la gradación B y gradación A-1 de afirmados, si se toma en cuenta criterios por altitud no cumple, porque nos recomienda la gradación A.

3.5.4. Limite liquido

Se determina el contenido de humedad a 25 golpes en porcentaje entre el estado líquido y plástico. Se utiliza la cuchara de Casagrande para definir los límites de consistencia de un suelo, para ello se tamiza la muestra seca aproximadamente de 200 gr, Se descarta el suelo retenido en el tamiz N°40. Se prepara en un envase la mezcla del suelo con agua hasta que tenga la consistencia de pasta suave y espesa, se extiende el material uniformemente con la espátula, formando una pasta de 1 cm de profundidad con una superficie horizontal. Se realiza una ranura con el acanalador dividiendo la muestra en 02 partes. Luego se gira la manivela en dos golpes/segundo, deberá cerrarse la ranura de 1/2" aproximadamente en el rango de 25 a 35 golpes (02 puntos) y otra de 15 a 25 golpes (02 puntos).

Figura 3.5.4

Limite liquido



(a)



(b)

3.5.5. Limite plástico

Se determinan los contenidos de humedad del suelo en porcentajes para formar barritas de 1/8" de diámetro sin que se desmorone. La muestra debe tener una consistencia suficiente para realizar barritas o rollos en el vidrio esmerilado manualmente con la palma. Seguidamente, reduciendo la humedad paulatinamente hasta formar bastones de 3.20 milímetros de diámetro hasta que se formen fisuras superficiales. Cuando el LL o el LP no se pueda determinar se reporta como suelo NP o si el LP resulta mayor al LL se reporta como no plástico.

Figura 3.5.5

Limite plástico



(a)



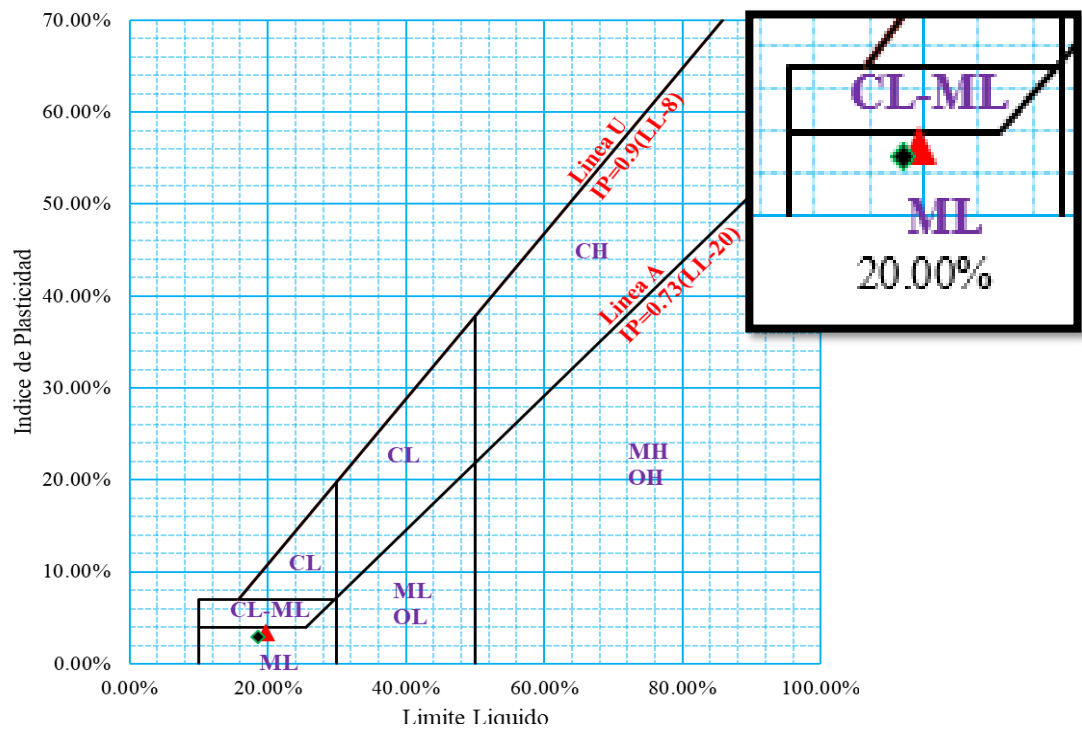
(b)

3.5.6. Índice de plasticidad

La plasticidad es una propiedad del suelo hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, el IP representa la variación de LL y LP. Cuando el IP es un valor muy grande representa que es un suelo muy arcilloso en cambio sí su IP es pequeño se considera suelo poco arcilloso.

Figura 3.5.6

Carta de Plasticidad



Fuente: Braja M. Das, 2015

Un suelo arcilloso es bastante riesgoso para su uso en subrasante o como capa estructural debido a su sensibilidad al agua, se da una estabilización en este tipo de suelos que abunda en la selva de nuestro país.

3.5.7. Clasificación de suelos

Los suelos se clasifican en grupos de acuerdo a su comportamiento ingenieril, existe dos sistemas de clasificación ampliamente utilizados en la ingeniería geotécnica la clasificación AASHTO y SUCS.

3.5.7.1. Clasificación AASHTO

“La clasificación AASHTO fue desarrollado en el año de 1929 (Public Road Administration Classification System) al suelo lo clasifica en 07 grandes grupos: A1; A2; A3 corresponden a suelos granulares lo que

significa que 35% o menos pasan el tamiz N°200 y los materiales que pasan más del 35% la malla N°200 se consideran como materiales que tienen presencia limo y arcilla clasificándolos en grupos de A-4; A-5; A-6; A-7”, (Braja M. Das, 2015)

Es muy importante ver el tamaño de los granos para tomar una muestra luego tamizar. Se consideran gravas a los materiales que son retenidas en el tamiz N°10(2.00mm); es conocida como arena al material que pasa la malla N°10(2.00mm) y esta retenida en el tamiz N°200(0.075mm) y la fracción pasante tamiz N°200 se considera como limo (IP es menor o igual a 10) o arcilla (IP mayor o igual 11), se excluyen para la clasificación de suelos los cantos rodados o bolones cuyo tamaño sea superior a 7.5 cm. “Le corresponde un IG (0) a los suelos A-1; A-3; A-2-4; A-2-5, El índice de grupo nunca puede ser menor a 0 se redondea al entero más cercano; el IG para suelos A-2-6; A-2-7 se utiliza el segundo componente de la ecuación IG”, (Braja M. Das, 2015)

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.05(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Tabla 3.5.2

Clasificación de materiales granulares para carreteras

| Clasificación General | Materiales Granulares (35% o menos pasan la malla n°200) | | | | | | |
|--|--|--------|------------|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | |
| Clasificación de Grupo | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |
| Porcentaje pasante | | | | | | | |
| N°10 | 50 max | | | | | | |
| N°40 | 30 max | 50 max | 51 min | | | | |
| N°200 | 15 max | 25 max | 10 max | 35 max | 35 max | 35 max | 35 max |
| Característica de la fracción pasante tamiz N°40 | | | | | | | |
| Limite Liquido | | | | 40 max | 41 min | 40 max | 41 min |
| Indice de plasticidad | 6 max | | NP | 10 max | 10 max | 11 min | 11 min |
| Tipología | Fragmento de piedra, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena limosa o arcillosa | | | |
| Clasificación Subrasante | Excelente a Buena | | | | | | |

Fuente: (Braja M. Das, 2015)

Tabla 3.5.3

Clasificación de materiales granulares para carreteras

| Clasificación General | Materiales Finos (mas de 35% pasan la malla n°200) | | | |
|--|--|--------|------------|----------------|
| | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Clasificación de Grupo | | | | A-7-5 A-7-6 |
| Porcentaje pasante | | | | |
| N°10 | | | | |
| N°40 | | | | |
| N°200 | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| Característica de la fracción pasante tamiz N°40 | | | | |
| Limite Liquido | 40 max | 41 min | 40 max | 41 min |
| Indice de plasticidad | 10 max | 10 max | 11 min | 11 min |
| Tipología | Fragmento de piedra, grava y | | Arena fina | |
| Clasificación Subgrassante | Mediano a Pobre | | | |
| Para A-7-5, IP≤LL-30 | | | | |
| Para A-7-6, IP>LL-30 | | | | |

Fuente: (Braja M. Das, 2015)

3.5.7.2. Clasificación SUCS

Braja M. Das (2015), “Menciona que el sistema original fue propuesto por Casagrande en 1942 para la construcción de aeropuertos por el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos”. La clasificación de suelos se realiza en 02 categorías: Se considera suelos de grano grueso Grava(G) y Arena(S) cuando menos del 50% pasa la malla N°200. Si la fracción pasante del tamiz N°200 es mayor o igual al 50% se considera suelo de grano fino pueden ser limos(M), arcillas (C), turbas (Pt), suelos altamente orgánicos.

- W: Bien Graduado
- P: Mal Graduado
- L: Baja Plasticidad (LL menor a 50)
- H: Alta Plasticidad (LL mayor a 50)



Se considera grava a la fracción pasante del tamiz de 3”(76.2mm) y es retenida por el tamiz N°04(4.75mm); la arena es la fracción pasante la malla N°04 y esta retenida en la malla N°200(0.075mm) ; y la fracción pasantela malla n°200 se consideran limos y arcillas. Para una mejor clasificación de limos y arcillas se utiliza la carta de plasticidad.

- F: Porcentaje pasante el tamiz N°200
- F1: Porcentaje pasante la malla N°04 y es retenido en la N°200

“Si $F < 50\%$ es suelo de grano grueso además se toma en cuenta $F1 < (100-F) / 2$ se considera un suelo que tiene más grava que arena también puede pasar que $F1 \geq (100-F) / 2$ se considera un suelo con más presencia de arena que grava; si $F \geq 50\%$ es suelo de grano fino”, (Braja M. Das, 2015).

Tabla 3.5.4

Granulometría de Canteras

| Tamaño(mm) | Porcentaje que pasa | |
|------------------------|---------------------|-------------------------|
| | Cantera Pecosani | Cantera Suelo Combinado |
| N°04(4.76mm) | 57.03% | 52.79% |
| N°10(2.00mm) | 37.55% | 34.92% |
| N°40(0.42mm) | 22.90% | 16.69% |
| N°200(0.075mm) | 8.28% | 4.55% |
| Limite Liquido | 19.67% | 18.53% |
| Índice Plasticidad | 3.37% | 2.89% |
| Coficiente Uniformidad | 42.30 | 31.80 |
| Coficiente Curvatura | 1.00 | 1.30 |

La cantera Pecosani de acuerdo a AASHTO se clasifica como un Suelo A-1-a (0) Los materiales que se utilizaron para la granulometría son fragmentos de piedra, para uso de subrasante se considera de excelente a buena. Tomando en cuenta a SUCS se clasifica al suelo como una arena mal graduada que tiene presencia de limo y grava SP-SM.

La cantera combinada de acuerdo a AASHTO se clasifica como un Suelo A-1-a (0) Los materiales que se utilizaron para la granulometría son la combinación de suelos material Hormigón y material de cantera (fragmentos de piedra), para uso de subrasante se considera excelente. Tomando en cuenta a SUCS el suelo se clasifica como una arena mal graduada que tiene presencia de limo y grava SP-SM.

3.5.8. Equivalente arena

Este ensayo sirve para determinar la relación del material fino pasante el tamiz N°04(4.75mm). Para determinar la equivalente arena, se prepara una solución stock en el molde estándar agregar la muestra pasante la malla n°04 enrasar, luego vaciar a la probeta graduada de equivalente arena. Luego de ser agitada se sedimenta por 20 min para lecturar la altura de arena respecto al material fino (arcilla o limo) expresada en porcentajes.

Figura 3.5.7

Equivalente arena



Para el ensayo de debe de separar una muestra de 1500 gr de material que pase el tamiz N°04, usando el recipiente metálico de 85+-5 cm³ de capacidad.



Verter 4 in de solución en la probeta graduada de equivalente arena posteriormente agregar el suelo preparado de $85 \pm 5 \text{ cm}^3$, golpear la parte baja con la mano para humedecer y desalojar las burbujas de aire decantar por 10 minutos, transcurridos el tiempo de 10 minutos se tapa la probeta con tapón agitar el material 90 ciclos en 30 segundos. Se introduce el tubo irrigador, se limpia las paredes con la solución stok hasta alcanzar una altura de 15 in, luego se deja reposar durante 20 minutos para poder lecturar el nivel de suspensión del material fino. “Después de realizar la lectura de la arcilla se introduce en la probeta el ensamblaje de pie (disco + varilla y sobrepeso) baje lentamente hasta que llegue sobre la arena para posteriormente lecturar el nivel de arena restarle 10 in del nivel indicado del borde superior”, (MTC, 2016)

Si el EA calculado no es un numero entero se redondea al número inmediatamente superior.

- La equivalente arena de la Cantera Pecosani es $EA = \frac{22+23+20}{3} = 22$
- El equivalente de arena de la Cantera Combinada es $EA = \frac{46+48+43}{3} = 46$

3.5.9. Abrasión de los Ángeles

“Los agregados deben ser capaces de soportar el desgaste y la degradación durante la etapa de producción, colocación y la conformación de la estructura de pavimento, sobre todo durante la vida útil del pavimento; Una razón fundamental es que las capas estructurales próximas a la superficie de rodadura reciben mayores esfuerzos y al mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito”, (Minaya Gonzales, Silene; Ordoñez Huaman, Abel, 2006).

De acuerdo a la granulometría se define la cantidad de material a ensayar y la carga necesaria para el ensayo (número de esferas) la gradación que se debe usar debe de ser la más representativa a la gradación original. El material debe ser lavado y secado en horno a una temperatura de 110°C y tamizado por las mallas que se indican, Hacer la mezcla de acuerdo al método que sea más representativo, pesar las muestra de ensayo; ingresar la muestra de ensayo conjuntamente con la carga abrasiva en la máquina de los ángeles, Activar la máquina para el numero de revoluciones indicado; finalmente el material se tamiza con la malla N°12, los materiales que son retenidos en la malla N°12 se lavan y luego se seca a 110°c, pesar la muestra seca.

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

Tabla 3.5.5

Peso del agregado y N° de esferas por gradación hasta 1 ½”

| % TIPO DE GRADACIÓN | | | | | |
|---------------------|----------|------------|------------|------------|------------|
| PASANTE | RETENIDO | A | B | C | D |
| 1 1/2" | 1" | 1250+-25gr | | | |
| 1" | 3/4" | 1250+-25gr | | | |
| 3/4" | 1/2" | 1250+-10gr | 2500+-10gr | | |
| 1/2" | 3/8" | 1250+-10gr | 2500+-10gr | | |
| 3/8" | 1/4" | | | 2500+-10gr | |
| 1/4" | N°04 | | | 2500+-10gr | |
| N°04 | N°08 | | | | 5000+-10gr |
| TOTAL | | 5000+-10gr | 5000+-10gr | 5000+-10gr | 5000+-10gr |
| ESFERAS | | 12 | 11 | 8 | 6 |
| MASA DE LA CARGA | | 5000+-25gr | 4584+-gr | 3330+-20gr | 2500+-15gr |
| ROTACIONES | | 500 | 500 | 500 | 500 |

Fuente: (MTC, 2016)

Tabla 3.5.6

Peso del agregado y el N° de esferas por tipo de gradación mayor a 3/4"

| % PASANTE | | TIPO DE GRADACION | | |
|------------------|--------|-------------------|-------------|-------------|
| RETENIDO | | 01 | 02 | 03 |
| 3" | 2 1/2" | 2500+-50gr | | |
| 2 1/2" | 2" | 2500+-50gr | | |
| 2" | 1 1/2" | 5000+-50gr | 5000+-50gr | |
| 1 1/2" | 1" | | 5000+-25gr | 5000+-25gr |
| 1" | 3/4" | | | 5000+-25gr |
| TOTAL | | 10000+-100gr | 10000+-75gr | 10000+-50gr |
| ESFERAS | | 12 | 12 | 12 |
| MASA DE LA CARGA | | 5000+-25gr | 5000+-25gr | 5000+-25gr |
| ROTACIONES | | 1000 rev | 1000 rev | 1000 rev |

Fuente, (MTC, 2016)

Figura 3.5.8

Abrasión de Los Ángeles



La abrasión de los ángeles provenientes de la Cantera Pecosani es 76.00% y del Cantera combinado 49%.

3.5.10. Proctor Modificado

El ensayo de compactación está relacionado con la construcción del pavimento de carreteras, Vías urbanas, pistas de aterrizaje. Para su compactación en los suelos se utiliza Rodillos liso vibratorios; rodillos pata de cabra, Rodillos

neumáticos dependiendo del tipo de suelo. La compactación es la densificación del suelo que es compactado bajo una determinada energía de compactación y el agua trabaja como agente ablandador de partículas de suelo (humedad optima). En la actualidad en la mayoría de casos se usa el ensayo de Proctor modificado, porque se usan equipos de compactación con alto tonelaje

“Para la realización de la prueba Proctor modificada se utiliza un molde con un volumen de 943.3 cm³(1/30 p₃) para el método A o B y 2124 cm³ para el método C; El suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa 44.5 N (masa 4.536 kg) y tiene una caída de 18 in (457.2 mm)”, (Braja M. Das, 2015). “El número de golpes de martillo para cada capa es de 25 para el método A y B, 56 golpes para el método C. La energía de compactación por unidad de volumen de suelo en la prueba modificada es 2696 kN-m/m³” (Bowle, 1981).

Figura 3.5.9

Moldeo y compactación de suelos



(a)



(b)

La densidad máxima seca de la cantera Pecosani es 2131 kg/m³ con una humedad óptima de 8.40% y de la cantera combinada la densidad máxima seca es 2112 kg/m³ con W (%) =6.60%.

3.5.11. CBR

El ensayo consiste en medir la capacidad del suelo en soportar el esfuerzo vertical que es transmitida por la carga de tránsito (resistencia del suelo), los métodos de diseño de pavimentos relacionan el CBR con el MR del material parámetro que se utiliza para el diseño de pavimentos existe ecuaciones para correlacionar el valor del módulo resiliente. El CBR se puede ensayar en su condición natural o saturada (la condición más crítica). La resistencia de penetración obtenido en laboratorio se compara con los esfuerzos patrón para determinar el CBR.

Tabla 3.5.7

Índice Resistente de CBR

| PENETRACIÓN | ESFUERZO PATRÓN |
|----------------|------------------------------------|
| 0.1 in(2.54mm) | 1000psi(70.31kg/cm ²) |
| 0.2in(5.08mm) | 1500psi(105.46kg/cm ²) |

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016

$$CBR = \frac{\text{resistencia a la penetracion}(2.54mm)}{\text{esfuerzo patron}} * 100$$

$$\%expansion = \frac{\text{lectura final} - \text{lectura inicial}}{\text{altura del molde}}$$

Se realiza una gráfica de esfuerzo vs deformación, si la curva tiene un punto de inflexión se debe corregir y tener un nuevo origen para ello se debe de trazar una tangente. Los CBR de 0.1 in y 0.2 in deben de ser similares, si el valor

de la relación para 5.08 mm resulta mayor al 2.54 mm se vuelve a realizar el ensayo, y si los resultados de comprobación son similares se usa el CBR mayor. Finalmente se desarrolla una gráfica de densidad de compactación vs %CBR (12 golpes; 25 golpes; 56 golpes de acuerdo a la metodología del Proctor).

Figura 3.5.10

CBR medida y moldeo



(a)



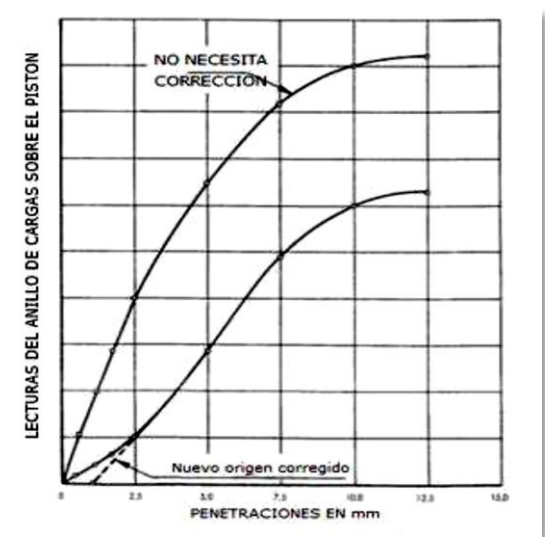
(b)

Figura 3.5.11

Saturación (04 días) y curva esfuerzo deformación



(a)



(b)



3.5.12. Mejoramiento de suelos con emulsión asfáltica

La cantera Pecosani al añadirse un 7.6% de emulsión asfáltica CSS-1h el límite líquido 19.94%, límite plástico 13.69%, aumenta el índice de plasticidad a 6.24%. La cantera Combinada al añadirse un 7.20% de emulsión asfáltica su límite líquido es 18.54%, límite plástico 14.40%, su índice de plasticidad aumenta a 4.14%.

La densidad seca máxima con Emulsión Asfáltica de la cantera Pecosani es de 2035 kg/m³ y su humedad óptima de compactación disminuye a 7.56%. La densidad seca máxima con Emulsión Asfáltica de la cantera Combinada es de 2103 kg/m³ y su humedad óptima de compactación es 6.6 %. La cantera Pecosani se opta por analizar al 7.6% de emulsión asfáltica el CBR al 100% de compactación es de 81.80% y al 95% de compactación es de 51.60%.

3.5.13. Diseño de mezcla de suelo con emulsión asfáltica

“Para realizar los diseños de Mezclas por el Método de Marshall Modificado (Illinois) se tiene que analizar si el material de suelo más un porcentaje de agregado está dentro del uso granulométrico para mezclas asfálticas, si cumple se procede a desarrollar el ensayo de Illinois de lo contrario se tendrá que tomar otros ensayos auxiliares como lo es el CBR, la resistencia al agua de humedecer y secar”, (Gustavo Rivera, E, 1998)

3.5.13.1. Contenido teórico de emulsión asfáltica

3.5.13.2. Cantera Pecosani

El contenido teórico de emulsión asfáltica se determinará por el método de:



Método de Duriez (INVIAS)

Tabla 3.5.8

Superficie Específica del material Cantera Pecosani

| METODO DE DURIEZ(FRANCIA) | | | | |
|---------------------------|-----------|--------------|---------|-----------|
| TAMIZ No | F.S. E | %RET PARCIAL | S. E | |
| 2" | 50.800 mm | | | |
| 1 1/2" | 38.100 mm | 0.057 | 2.86% | 0.16% |
| 1" | 25.400 mm | 0.080 | 6.03% | 0.48% |
| 3/4" | 19.050 mm | 0.114 | 8.46% | 0.96% |
| 1/2" | 12.700 mm | 0.161 | 9.33% | 1.50% |
| 3/8" | 9.525 mm | 0.227 | 6.06% | 1.38% |
| 1/4" | 6.350 mm | 0.321 | 7.12% | 2.29% |
| N° 04 | 4.760 mm | 0.455 | 3.12% | 1.42% |
| N° 10 | 2.000 mm | 0.810 | 19.47% | 15.78% |
| N° 40 | 0.420 mm | 2.728 | 14.65% | 39.96% |
| N° 100 | 0.149 mm | 9.994 | 12.05% | 120.42% |
| N° 200 | 0.075 mm | 23.649 | 2.57% | 60.78% |
| P N°200 | 0.005 mm | 129.099 | 8.28% | 1068.94% |
| SUMATORIA | | | 100.00% | 1314.075% |

$$\%L = K \sqrt[5]{\frac{\sum SE}{100}} = 2.5 \times \sqrt[5]{\frac{\sum 1314.075}{100}} = 4.18\%$$

$$\%E = \frac{4.18}{0.59} = 7.09\%$$

Para la variación de porcentaje de emulsiones asfáltica se asumirá los valores de 6.00%; 6.80%; 7.60% y 8.50% de emulsión asfáltica.

3.5.13.3. Cantera suelo combinado

Método del Instituto del Asfalto (MS-19)

$$\%E = \frac{(0.06B + 0.01C) \times 100}{A} = \frac{(0.06 \times 52.79) + (0.01 \times 47.21)}{59}$$

$$\%E = 6.16\%$$

Método de Duriez (INVIAS)**Tabla 3.5.9***Superficie Especifica del Suelo Combinado*

| METODO DE DURIEZ(FRANCIA) | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|--------------|----------|
| | TAMIZ | F.S. E | %RET PARCIAL | S. E |
| 2" | 50.800 mm | | | |
| 1 1/2" | 38.100 mm | 0.057 | 2.52% | 0.143% |
| 1" | 25.400 mm | 0.080 | 7.19% | 0.578% |
| 3/4" | 19.050 mm | 0.114 | 7.92% | 0.900% |
| 1/2" | 12.700 mm | 0.161 | 10.13% | 1.628% |
| 3/8" | 9.525 mm | 0.227 | 6.24% | 1.418% |
| 1/4" | 6.350 mm | 0.321 | 8.28% | 2.662% |
| N° 04 | 4.760 mm | 0.455 | 4.93% | 2.242% |
| N° 10 | 2.000 mm | 0.810 | 17.86% | 14.471% |
| N° 40 | 0.420 mm | 2.728 | 18.24% | 49.754% |
| N° 100 | 0.149 mm | 9.994 | 10.29% | 102.834% |
| N° 200 | 0.075 mm | 23.649 | 1.85% | 43.751% |
| P N°200 | 0.005 mm | 129.099 | 4.55% | 587.402% |
| | SUMATORIA | | 100.00% | 807.784% |

$$\%L = K \sqrt[5]{\frac{\sum SE}{100}} = 2.5 \times \sqrt[5]{\frac{\sum 807.784}{100}} = 3.80\%$$

$$\%E = \frac{3.80}{0.59} = 6.43\%$$

Para la variación de porcentaje de emulsiones asfáltica se asumirá los valores de 5.50%; 6.40%; 7.20% y 8.10% de emulsión.

3.5.13.4. Recubrimiento y adherencia

“Para realizar el diseño de mezcla se debe de realizar el ensayo de recubrimiento, el ensayo se evalúa visualmente como satisfactorio o insatisfactorio, el recubrimiento debe de ser menor al recubrimiento de carpetas asfálticas”. (UCR-PITRA, 2013) .

“El recubrimiento de la mezcla debe ser lo más cercano a 100 %, sin embargo, se considera aceptable un recubrimiento de al menos un 60 % para mezclas que se van a usar como base” (UCR-PITRA, 2013). (John Huffman, Brown, Salinas Cansas, 1986) , “menciona los procedimientos a realizarse primero se determina el contenido de humedad de una muestra representativa del agregado, debe ponerse cuidado para conservar la humedad de la muestra en campo”. “Se pesa 500 gramos de agregado seco para efectuar la mezcla, mezclar el agua de premezclado y mezclar manualmente durante 10 segundos hasta que tenga una dispersión uniforme; Agregar contenido de emulsión asfáltica a la temperatura prevista y mezclar con la humedad premezclada, durante 60 segundos hasta tener una dispersión uniforme”, (UCR-PITRA, 2013) Finalmente coloque la mezcla en una superficie plana y se estima visualmente el grado de recubrimiento.

Figura 3.5.12

Prueba de recubrimiento Cantera Pecosani y Cantera Combinada



(a)



(b)

Tabla 3.5.10

Recubrimiento y Humedad Teórica Cantera Pecosani

| Porcentaje teórico de agua para recubrimiento | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|
| Peso Seco Del Suelo | 500gr | 500gr | 500gr | 500gr |
| Porcentaje De Emulsión Asfáltica | 6.00% | 6.80% | 7.60% | 8.50% |
| Peso de CSS-1h en la Mezcla | 30.00 gr | 34.00 gr | 38.00 gr | 42.50 gr |
| % H2O en la emulsión | 40% | 40% | 40% | 40% |
| Peso del H2O en CSS-1h | 12.00 ml | 13.60 ml | 15.20 ml | 17.00 ml |
| Humedades óptimas (%) | 8.60% | 8.60% | 8.60% | 8.60% |
| Contenido óptimo de H2O | 43.00 ml | 43.00 ml | 43.00 ml | 43.00 ml |
| Agua Pre – Envuelta | 31.00 ml | 29.40 ml | 27.80 ml | 26.00 ml |
| % De Agua Preenvuelta | 6.20% | 5.88% | 5.56% | 5.20% |

Tabla 3.5.11

Recubrimiento y Humedad Teórica Suelo Combinado

| Porcentaje teórico de agua para recubrimiento | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|
| Peso Seco Del Suelo | 500gr | 500gr | 500gr | 500gr |
| Emulsión A Añadirse | 5.50% | 6.40% | 7.20% | 8.10% |
| Peso de la Emulsión en la Mezcla | 27.50 gr | 32.00 gr | 36.00 gr | 40.50 gr |
| H2O en la Emulsión % | 40% | 40% | 40% | 40% |
| Peso del H2O en CSS-1h | 11.00 ml | 12.80 ml | 14.40 ml | 16.20 ml |
| Humedades óptimas (%) | 6.60% | 6.60% | 6.60% | 6.60% |
| Contenido óptimo de H2O | 33.00 ml | 33.00 ml | 33.00 ml | 33.00 ml |
| Agua Pre – Envuelta | 22.00 ml | 20.20 ml | 18.60 ml | 16.80 ml |
| % De Agua Preenvuelta | 4.40% | 4.04% | 3.72% | 3.36% |

Tabla 3.5.12

Ensayo de Recubrimiento 6.8% de Emulsión Asfáltica Cantera Pecosani.

| ENSAYO DE RECUBRIMIENTO | | | |
|----------------------------------|-----------|-----------|----------------|
| Peso seco del suelo | 500.00 gr | 500.00 gr | 500.00 gr |
| Porcentaje de Emulsión Asfáltica | 6.80% | 6.80% | 6.80% |
| Peso de la Emulsión en la Mezcla | 34.00 gr | 34.00 gr | 34.00 gr |
| H2O en la Emulsión | 40% | 40% | 40% |
| Peso del H2O en la Emulsión | 13.60 ml | 13.60 ml | 13.60 ml |
| Humedad Optima | 8.60% | 8.60% | 8.60% |
| Contenido Optimo De Agua | 43ml | 43ml | 43ml |
| Agua Preenvuelta | 35ml | 40ml | 45ml |
| % Agua Preenvuelta | 7.00% | 8.00% | 9.00% |
| Agua Total | 48.6 ml | 53.6 ml | 58.6 ml |
| Porcentaje Agua Total | 9.72% | 10.72% | 11.72% |
| Recubrimiento | Pobre | Bueno | Exceso de agua |

Tabla 3.5.13*Ensayo de Recubrimiento 6.4% de Emulsión Asfáltica Suelo Combinado.*

| ENSAYO DE RECUBRIMIENTO | | | |
|----------------------------------|-----------|-----------|----------------|
| Peso Seco Del Suelo | 500.00 gr | 500.00 gr | 500.00 gr |
| Emulsión A Añadirse | 6.40% | 6.40% | 6.40% |
| Peso De La Emulsión En La Mezcla | 32.00 gr | 32.00 gr | 32.00 gr |
| % de H2O en la Emulsión | 40% | 40% | 40% |
| Peso de H2O en CSS-1h | 12.80 ml | 12.80 ml | 12.80 ml |
| Humedad Optima | 6.60% | 6.60% | 6.60% |
| Contenido óptimo de H2O | 33ml | 33ml | 33ml |
| H2O Preenvuelta | 25ml | 30ml | 35ml |
| % Agua Preenvuelta | 5.00% | 6.00% | 7.00% |
| Agua Total | 37.80 ml | 42.80 ml | 47.80 ml |
| Porcentaje Agua Total | 7.56% | 8.56% | 9.56% |
| Recubrimiento | Pobre | Bueno | Exceso de agua |

El porcentaje de agua para el premezclado es:

Tabla 3.5.14*Porcentaje de Agua para mezcla Emulsión Asfáltica Cantera Pecosani*

| | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| PORCENTAJE DE EMULSIÓN ASFÁLTICA | 6.00% | 6.80% | 7.60% | 8.50% |
| % Agua Preenvuelta | 8.32% | 8.00% | 7.68% | 7.32% |

Tabla 3.5.15*Porcentaje de Agua para mezcla Emulsión Asfáltica Suelo Combinado*

| | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| PORCENTAJE DE EMULSIÓN ASFÁLTICA | 5.50% | 6.40% | 7.20% | 8.10% |
| % Agua | 6.36% | 6.00% | 5.68% | 5.32% |

3.5.13.5. Compresión simple

Las metodologías que se utiliza para el diseño de mezclas son 02 métodos que vendría ser el de compresión simple y el ensayo Marshall Modificado, o también se puede usar otras alternativas como CBR. Si el uso granulométrico cumple para bases granulares se descarta el Ensayo de

Marshall Modificado se podría usar alternativamente otros métodos como la compresión simple o CBR. No existe un método bien definido por parte de la normativa peruana EG 2013 para seleccionar el óptimo contenido de emulsión asfáltica. Se elaboran especímenes con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica variando en porcentaje de 1.00% de variación por debajo y superior del óptimo definida por los métodos del Instituto del Asfalto (MS19) y el M. Duriez (Francia).

De acuerdo a Fernando Sabogal Se compactan 06 probetas para cada porcentaje de emulsión asfáltica y se desmoldan al día siguiente; Se curan por 07 días a temperatura de 25°C, se separan en 02 grupos las que se van mantener por 7 días sumergido en agua y las que van ser curadas en seco otros 07 días más a 25°C. Para determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica se tendrá que romper a compresión simple las probetas curadas en seco y en húmedo. Resistencia Curada en Seco según (INVIAS, 2007) debe de ser de 1.50 MPa y la resistencia conservada tras curado húmedo mínimo de 60%. Pérdida de Estabilidad de acuerdo (MTC, 2013) la pérdida de estabilidad debe ser máximo 50%. De acuerdo a (Gustavo Rivera, E, 1997) la pérdida de estabilidad debe ser máximo 25%.

Tabla 3.5.16

Resumen de Ensayos a Compresión Simple Cantera Pecosani.

| PORCENTAJE CSS1-H | RESISTENCIA EN SECO | RESISTENCIA EN HUMEDO | RESISTENCIA CONSERVADA |
|----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 6.00% | 14.4600 | 9.116 | 63.04% |
| 6.80% | 16.3800 | 11.098 | 67.75% |
| 7.60% | 22.4110 | 14.420 | 64.34% |
| 8.50% | 22.5920 | 13.790 | 61.04% |

Tabla 3.5.17

Resumen de Ensayos a Compresión Simple Suelo Combinado

| PORCENTAJE CSS1-H | RESISTENCIA EN SECO | RESISTENCIA EN HÚMEDO | RESISTENCIA CONSERVADA |
|----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 5.50% | 18.058 | 13.94 | 77.18% |
| 6.40% | 20.32 | 16.16 | 79.53% |
| 7.20% | 26.003 | 22.47 | 86.40% |
| 8.10% | 26.255 | 22.58 | 86.00% |

Figura 3.5.13

Elaboración de briquetas y su saturación en agua



(a)



(b)

3.5.14. Mejoramiento de suelos con cemento

La cantera Pecosani al añadirse un 8.00% de cemento portland su límite líquido es 22.64%, límite plástico 16.57%, su índice de plasticidad aumenta a 6.07%. La cantera Combinada al añadirse un 5.5 % de cemento portland su límite líquido es 19.71%, límite plástico 14.03%, su índice de plasticidad aumenta a 5.68%.



Para determinar el porcentaje de cemento óptimo se tomará en cuenta los valores la Tabla N°2.2-7 de AASHTO para diseño se toma en cuenta la Resistencia a Compresión Simple y la prueba de humedecimiento y secado.

Los valores de densidad máxima que se obtiene de la Cantera Pecosani y Cantera con suelo Combinado va ir incrementando conforme se va adicionando el porcentaje de cemento.

Para la cantera de Pecosani el CBR correspondiente al 2.00% de cemento varía de acuerdo a su grado de compactación; para 100% de compactación es de 165.00%, para 95% de compactación es de 89.6%. Para Suelos que son mejorados para bases con el cemento el CBR puede llegar los valores hasta 600% de acuerdo al PCA.

3.5.15. Diseño de mezcla de suelo con cemento

Una vez definido la Humedad óptima para la compactación de Suelos granulares tomaremos en cuenta el “Manual de Ensayo de Materiales”, la Norma y sus Especificaciones de INVIAS, para la elaboración de Probetas de Suelo Cemento el MTC e INVIAS proporcionan dos procedimientos alternativos:

Método A: Elaborar briquetas de 2.8 pulgadas de diámetro, 5.60 pulgadas de altura para muestras de suelo que pasan el 100% el tamiz n°04 la relación de altura y el diámetro debería ser de 2.0. Sin embargo, se requiere moldes de 2.8 pulgadas de diámetro y 9 pulgadas de altura con sus respectivos discos espaciadores. Si no se cuenta con dichos moldes la propia norma te permite usar Métodos alternativos como elaborar briquetas en un molde Proctor.

Método B: Lo ideal es elaborar briquetas de 4in de diámetro y 8in de altura; si la muestra del suelo tiene material retenido en la malla N°04, se puede

usar especímenes de otros tamaños, el método alternativo más común es elaborar briquetas de 10.16cm de diámetro y 11.64cm en altura utilizando los moldes Proctor, la relación altura y el diámetro es 1.15.

3.5.15.1. Compresión simple saturado

El ensayo Proctor modificado es actualmente, el procedimiento más aceptado y que se toma como referencia en los suelos estabilizados con cemento, las resistencias máximas se suelen obtener para contenidos de humedad entre medio punto y un punto porcentual (-0,5% y -1%) inferiores al del óptimo Proctor modificado. (IECA, ANCADDE, & ANTER, 2008). Para la prueba de resistencia a compresión La humedad optima no puede diferir en más de 1.00 % de acuerdo a las especificaciones.

Se elabora briquetas con diferentes porcentajes de cemento, la compactación se realiza con la humedad optima, curándose estas briquetas por un periodo de 07 días en una cámara húmeda. Antes de realizar la rotura se debe de sumergir en agua las briquetas por un tiempo de 05 horas y de manera casi instantánea se desarrolla la rotura de la briqueta.

Tabla 3.5.18

Resistencia a compresión condición saturada

| S/C (%) | RESISTENCIA (kg/cm ²) |
|---------|-----------------------------------|
| 2.00 | 10.26 |
| 4.00 | 12.94 |
| 6.00 | 16.41 |
| 8.00 | 22.37 |
| 10.00 | 24.44 |

Nota: Cantera Pecosani

Tabla 3.5.19

Resistencia a compresión condición saturada

| S/C (%) | RESISTENCIA (kg/cm ²) |
|---------|-----------------------------------|
| 1.50 | 5.96 |
| 2.50 | 9.60 |
| 3.50 | 14.07 |
| 4.50 | 16.08 |
| 5.50 | 20.80 |
| 6.50 | 25.12 |

Nota: Cantera combinada

Figura 3.5.14

Saturación y rotura de briquetas S/C



(a) Curado 7 días en bolsas herméticas



(b) Compresión Simple (saturada 5 horas)

3.5.15.2. Humedecimiento y secado

El ensayo de humedecimiento y secado es la prueba de la durabilidad de las probetas de suelo cemento, la Humedad de compactación se obtiene del Proctor modificado y la variación del porcentaje de cemento dependerá de las normas AASHTO. “Se elaboran 02 probetas para su respectivo estudio. Se curan los especímenes durante

07 días en cámara húmeda, una vez retiradas las probetas se pesan y toman las dimensiones de la probeta N°01 , se colocan 05 horas ambas briquetas en agua sumergidas por completo, se retiran del agua y se escurren durante 02 o 03 minutos se pesan y se toman dimensiones de la briqueta N°01, se colocan ambas briquetas al horno de 72°C por un periodo de 42 horas se pesa la briqueta 01 , se realiza el cepillado a la probeta N°02 luego se pesa. Este proceso se repite hasta completar 12 ciclos. Finalizado el proceso las probetas se secan a 110 °C hasta que permanezca una temperatura constante, anotándose los pesos en estado seco”, (MTC, 2016)

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

$$\text{Pérdida de S/C(\%)} = \left(\frac{X}{Y}\right) \times 100$$

Donde:

- X = Peso original secado al horno calculado menos peso final corregido, secado al horno.
- Y=Peso original calculado secado al horno
- A=Peso seco al horno a 110°C
- B=Porcentaje de agua retenida en el espécimen + 100%

Cuando no se moldean 02 especímenes se emplean los valores promedio de agua retenida tabla 3.5-20.

Tabla 3.5.20

Valores promedios de H2O retenida

| Clasificación AASHTO | Promedio de H2O retenida después de secar a 110°C |
|----------------------|---|
| A-1, A-3 | 1.50% |
| A-2 | 2.50% |
| A-4, A-5 | 3.00% |
| A-6, A-7 | 3.50% |

Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales, 2016*

Figura 3.5.15

Perdida de material y desgaste de briqueta S/C



(a) Primer ciclo



(b) Desgaste por cepillado

Figura 3.5.16

Saturación y Escurrimiento de briquetas S/C



(a)



(b)

Tabla 3.5.21*Pérdida de peso Cantera Pecosani*

| | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| % de Cemento | 2.00% | 4.00% | 6.00% | 8.00% | 10.00% |
| Desgaste | 8.98% | 7.19% | 3.82% | 1.88% | 0.99% |

Tabla 3.5.22*Pérdida de peso Cantera Combinada*

| | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % de Cemento | 2.50% | 3.50% | 4.50% | 5.50% | 6.50% |
| Desgaste | 8.16% | 5.92% | 4.40% | 2.42% | 1.86% |

3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO

“La técnica estadística que se va a utilizar en la presente investigación para analizar los resultados es el coeficiente de correlación lineal Pearson debido a que buscamos comparar 02 variables cuantitativas que tienen una distribución normal”, (Cordova Zamora, 2006). Es una técnica estadística que consiste en medir la relación lineal entre dos variables X e Y.

3.6.1. Coeficiente de Correlación Pearson

“Se extrae una muestra aleatoria de n pares de observaciones (Xi; Yi), i=1,2, 3, ... n de la Población (X, Y). Esta estimación se denomina coeficiente de correlación muestral R de Pearson, se denota de la siguiente manera”, (Cordova Zamora, 2006).

$$r = \frac{(\sum xy) - n(\bar{x})(\bar{y})}{\sqrt{(\sum x^2 - n(\bar{x})^2)(\sum y^2 - n(\bar{y})^2)}} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Para interpretar el coeficiente de correlación Pearson estándar, se toma como criterio de decisión la siguiente clasificación:

Tabla 3.6.1

Coefficiente de correlación Pearson

| VALOR | SIGNIFICADO |
|--------------|---|
| 1.00 | (+) O (-) Correlación grande y perfecta |
| 0.90 al 0.99 | (+) O (-) Correlación muy alta |
| 0.70 al 0.89 | (+) O (-) Correlación alta |
| 0.40 al 0.69 | (+) O (-) Correlación moderada |
| 0.20 al 0.39 | (+) O (-) Correlación baja |
| 0.01 al 0.19 | (+) O (-) Correlación muy baja |
| 0.00 | (+) O (-) Correlación nula |

Fuente: Interaprendizaje de estadística básica (Suarez y Tapia,2018)

3.6.2. Prueba de Hipótesis

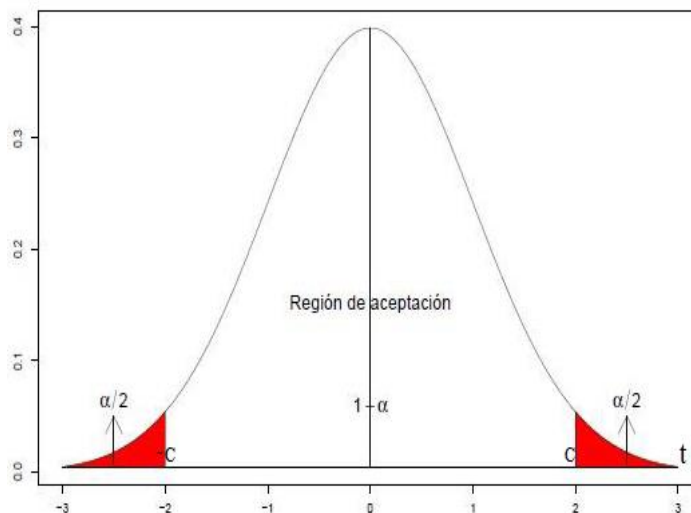
Para la prueba de hipótesis estadística se toma en consideración lo siguiente:

Hipótesis Nula: $H_0: \rho=0$ no existe correlación

Hipótesis Alternativa: $H_a: \rho \neq 0$ si existe correlación

Figura 3.6.1

Región de Rechazo de una prueba de hipótesis Bilateral



Fuente: Sáez Castillo,2012 Si $t < c$ aceptamos la H_0 ; Si $t > c$ rechazamos la H_0

Nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y el estadístico de prueba para la comprobación. $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ para validar el estadístico de prueba se puede utilizar el SPSS o Excel

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HIPÓTESIS ESPECIFICA 1

Es adecuado los materiales provenientes de la Cantera Pecosani y Cantera Combinada para conformar la solución básica.

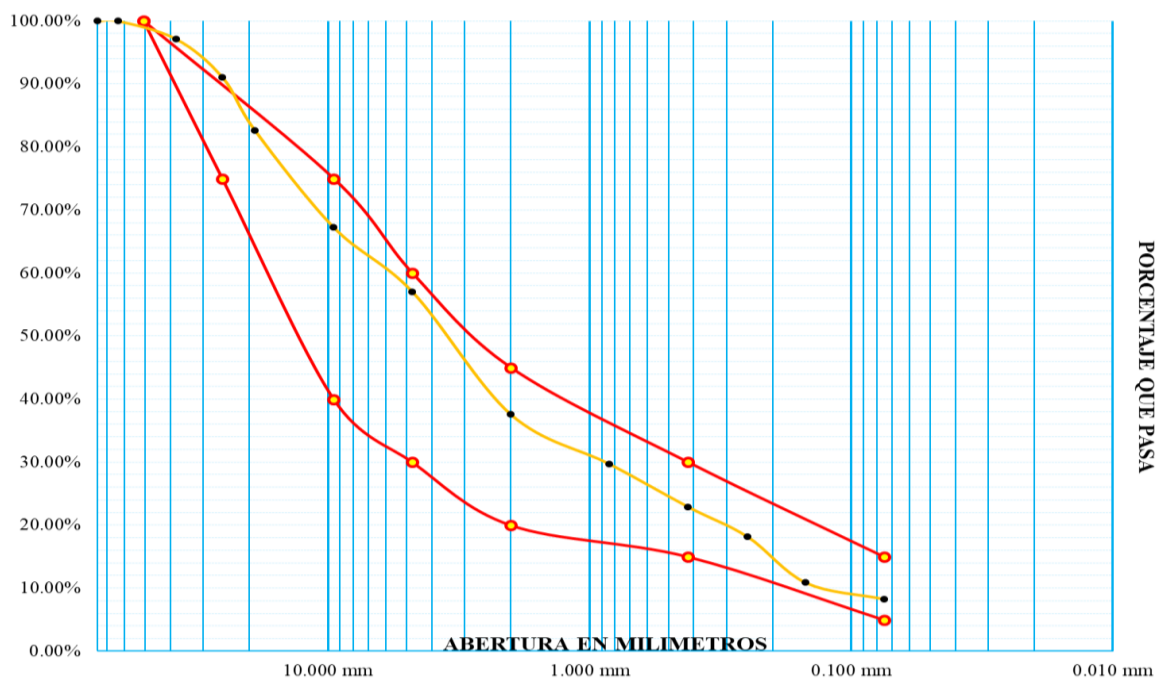
4.1.1. Cantera Pecosani

4.1.1.1. Clasificación de Suelos

Para realizar una adecuada clasificación de suelos primero se realizó un análisis granulométrico de la Cantera Pecosani obteniendo como resultado una grava de 42.97%, arena de 48.75% y el material fino de 8.28%.

Figura 4.1.1

Granulometría de la Cantera Pecosani





El suelo de la Cantera Pecosani tiene grava 42.97%; arena 48.75% y el material fino es 8.28%. El uso granulométrico que más se asemeja es la gradación B y gradación A-1 de afirmados, la cual si tomamos en cuenta el criterio de altitud no se cumple porque nos recomienda la gradación A. Los valores de los límites de consistencia de la Cantera Pecosani es LL 19.67% y un IP de 3.37%, se cumple con las especificaciones generales IP menor a 10 para emulsiones asfálticas y un IP menor a 18 para el cemento. De acuerdo a la granulometría y los límites de consistencia se clasifica por SUCS como un suelo SP-SM (arena mal graduada con presencia de limo y grava) y según AASHTO se clasifica suelo A-1-a (0).

4.1.1.2. Equivalente Arena y Abrasión

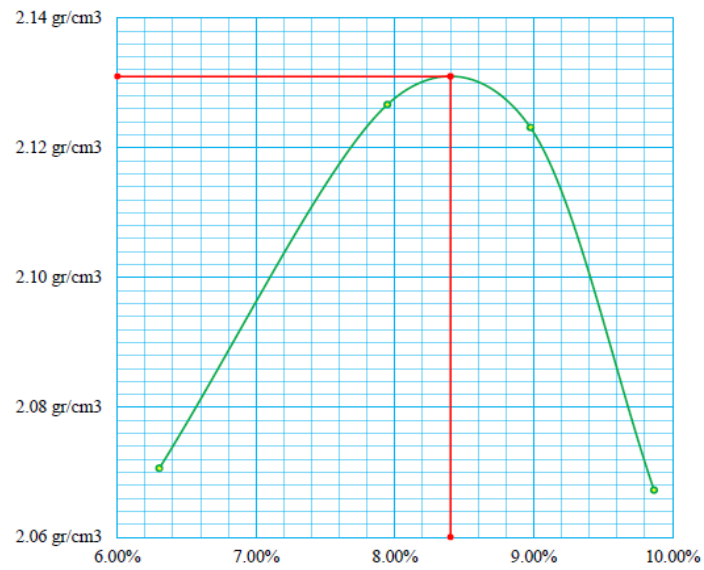
El equivalente de arena de la Cantera Pecosani es de 22% y la abrasión de los ángeles se obtiene un valor de 76%. Según las especificaciones generales equivalente arena mínimo de 40% para estabilizar con emulsiones asfáltica y de acuerdo a INVIAS 20%. En cuanto al uso con cemento no hay restricciones. Para carreteras afirmadas y estabilización S/C se considera un desgaste máx. de 50%.

4.1.1.3. Ensayo CBR

Para desarrollar el ensayo CBR de la Cantera Pecosani se utiliza la densidad seca y humedad optima de 2131 kg/m³ y 8.40% respectivamente que es previamente desarrollado mediante el ensayo de Proctor Modificado.

Figura 4.1.2

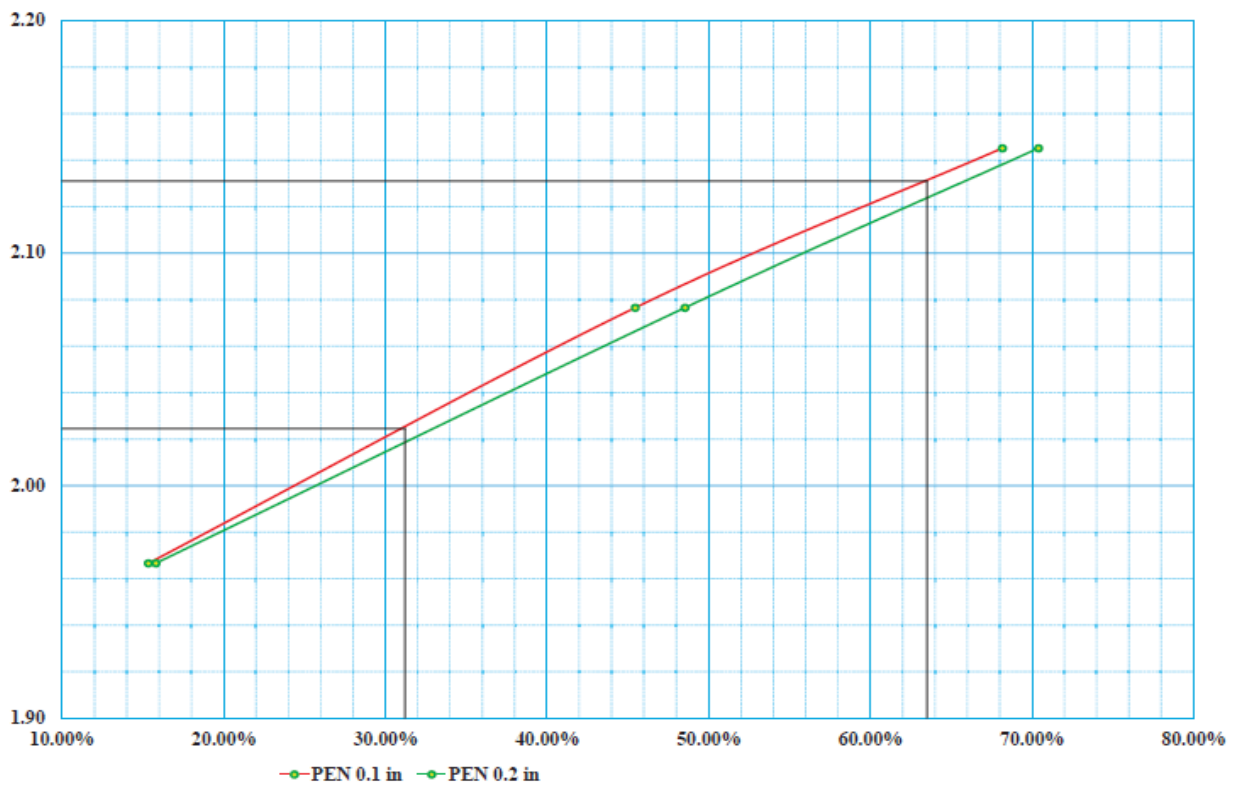
Densidad seca máxima Cantera Pecosani



Los valores son para desarrollar el ensayo de CBR y hacer control de la densidad de campo.

Figura 4.1.3

CBR Cantera Pecosani



El valor de CBR de la Cantera Pecosani referido al 100% de su compactación es 63.50 %. Si se considera como afirmado si cumple con el valor de CBR es mayor a 40%, en cambio si se usa como base no cumple para carreteras con bajo nivel de tránsito de acuerdo a la normativa exige mínimo 80%, para estabilizar con emulsión asfáltica según INVIAS CBR mínimo 20%, MTC no hay parámetro.

4.1.2. Característica Cantera Pecosani

El material proveniente de la Cantera Pecosani según AASHTO corresponde a un suelo A-1-a(0) y de acuerdo a SUCS se clasifica como un suelo SP-SM, el uso granulométrico se aproxima más a la Gradación B. la franja granulometrica recomendable para Bases y Sub Bases de Pavimento es la Gradacion A debido a que estamos por encima de los 3000 m.s.n.m de acuerdo al EG(2013).

Tabla 4.1.1

Cuadro de análisis de resultados Cantera Pecosani

| Características | Cantera Pecosani | Bases (EG 2013) | Sub Bases (EG2013) | Afirmado (EG2013) | Evaluación |
|-------------------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------|
| Limite Liquido | 19.67% | ----- | 25% max | 35% max | Cumple |
| Índice de Plasticidad | 3.37% | 2% min | 4% max | 4%-9% | -Cumple |
| Desgaste de los Ángeles | 76.00% | 40% max | 50% max | 50% max | No Cumple |
| Equivalente de Arena | 22.00% | 45% min | 35% min | ----- | No Cumple |
| CBR | 63.50% | 80% min | 40% min | 40% min | No Cumple p/b |

El material proveniente de la Cantera Pecosani no cumple ciertas exigencias para afirmado ejemplo el IP es menor a 4%, desgaste los ángeles es mayor a 50% en cambio sí se utiliza para Bases de pavimento es aún más exigente tal como se muestra en la tabla 4.1.1, siendo el caso más crítico el desgaste de los ángeles no cumple su uso ni para afirmado. Por ello se plantea Combinar la

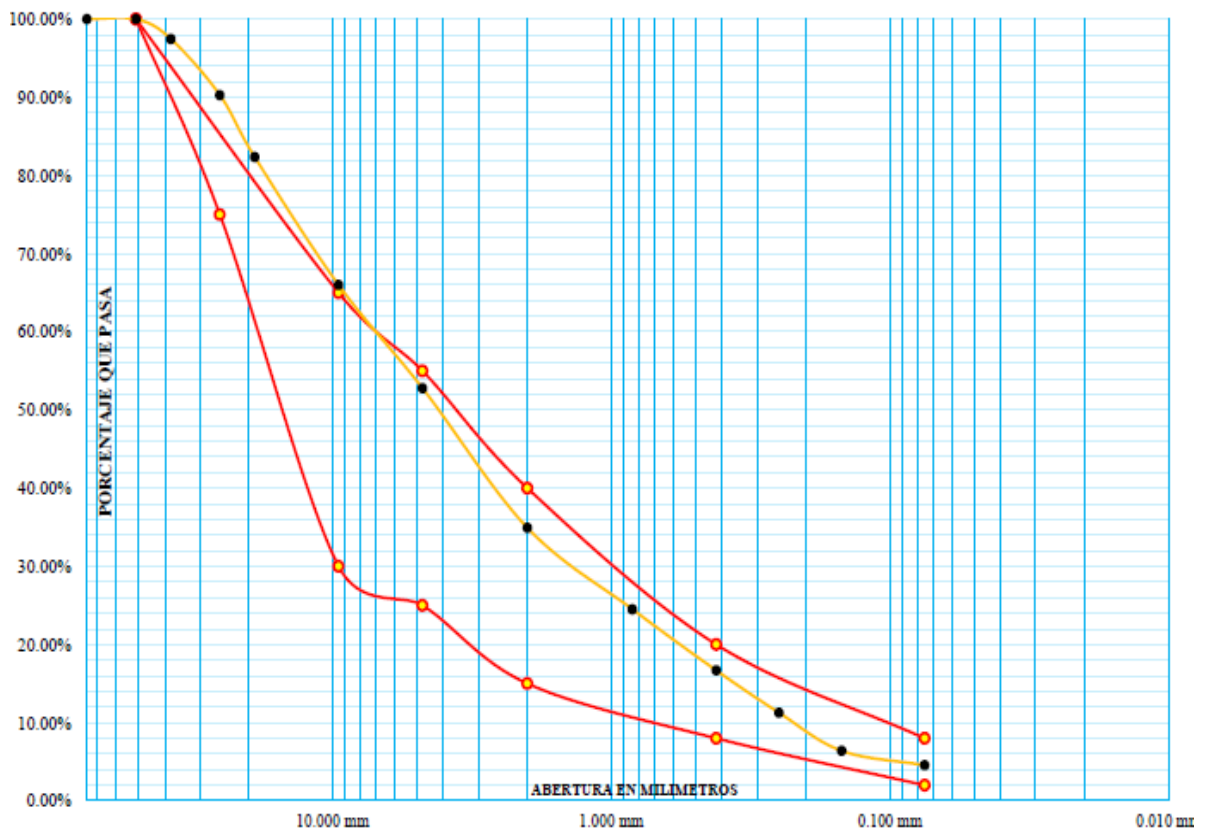
Cantera Pecosani con Hormigón de Río (Cantera Combinada), mejorar el material adicionando el cemento o emulsión asfáltica CSS-1h así Evaluar la condición que resulte más favorable.

4.1.3. Cantera Combinada

4.1.3.1. Clasificación de Suelos

Figura 4.1.4

Granulometría de la Cantera Combinada.



Para la Cantera Combinada se realizó el análisis granulométrico de la Cantera Samán tal como se muestra en el anexo 4. La Cantera Combinada es la combinación de material de Cantera Samán (según SUCS GP) y Pecosani (según SUCS SP-SM) cuya relación es 1: 1 por volumen. La Cantera combinada tiene grava en un 47.21%, arena de 48.24% y el

material fino de 4.55%, límite líquido de 18.53% y un índice de plasticidad de 2.89%, se clasifica según SUCS como un suelo SW (arena bien graduada con grava), tal como se muestra en el uso granulométrico. La gradación que se obtiene de la combinación de suelos es del tipo B, si se tomas criterios de altitud no se cumple. En cuanto al IP para estabilizar con emulsión asfáltica es menor a 10.

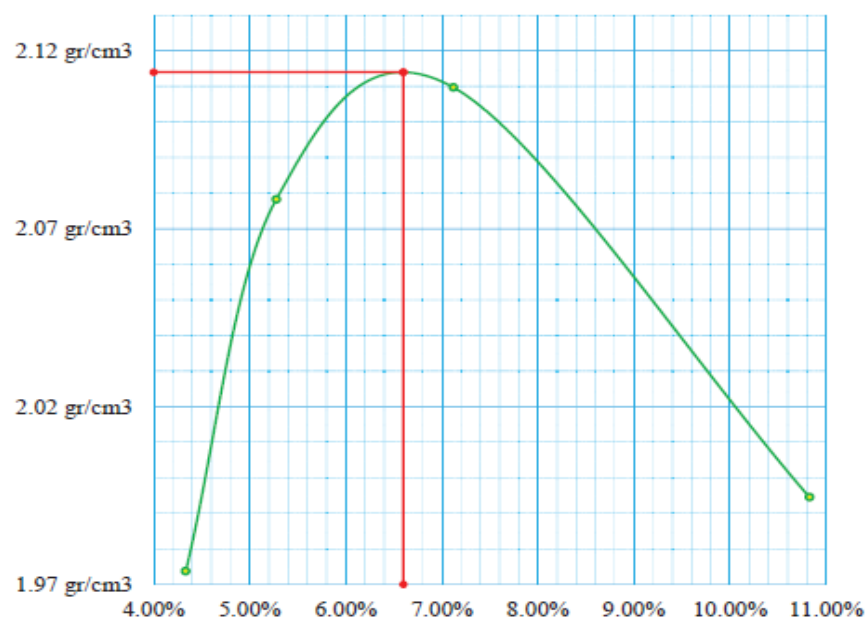
4.1.3.2. Equivalente Arena y Abrasión

El valor de equivalente arena de la Cantera Combinada es 46% cumple para su uso como base y para estabilizar; su abrasión es de 49% no cumple para su uso como material de base, pero si cumple como material de afirmado para su estabilización con cemento o emulsión asfáltica que exige máximo 50% de desgaste de los ángeles.

4.1.3.3. Ensayo CBR

Figura 4.1.5

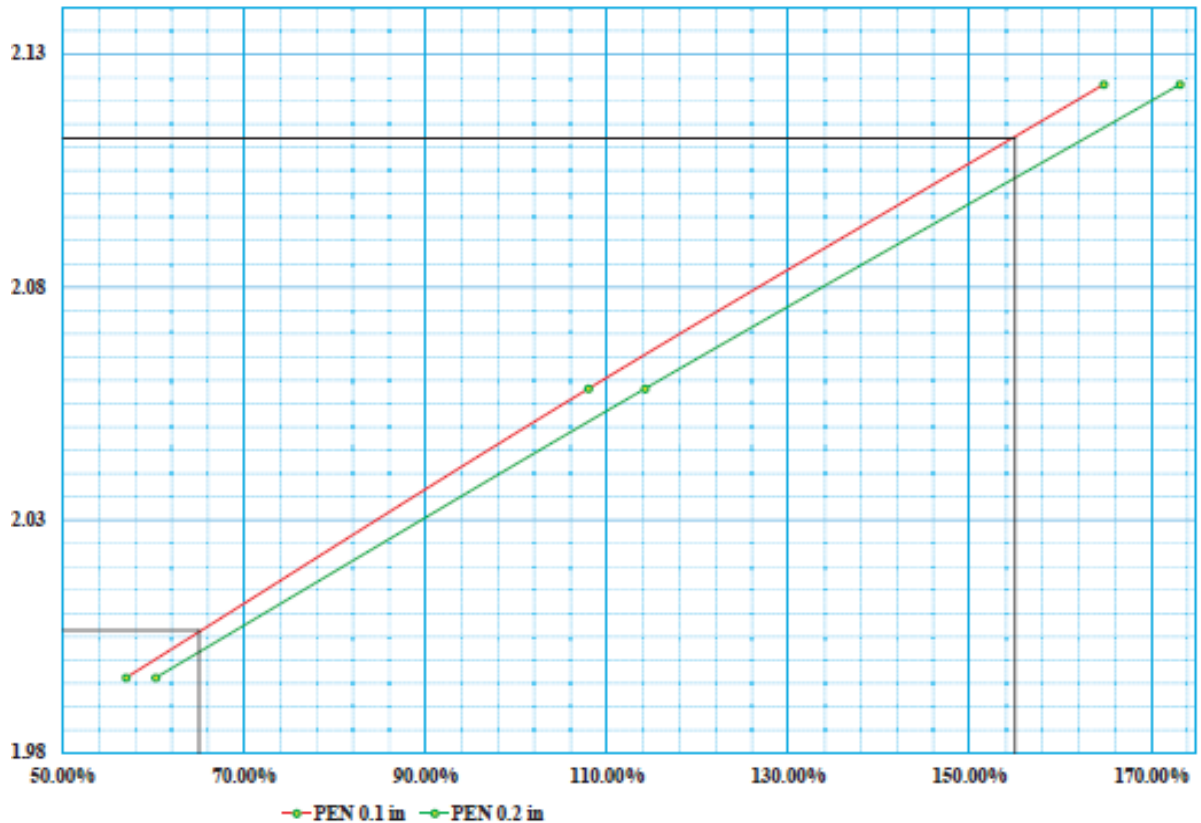
Densidad máxima Cantera Combinada



La densidad seca y humedad óptima es 2114 kg/m³ y 6.60% dicho valor es útil para realizar control de densidad en campo, y para elaborar los ensayos de CBR.

Figura 4.1.6

CBR Canteras Combinada



Los valores de CBR para la cantera combinada que se obtuvieron es de 155% al 100% de su densidad máxima. Cumple para su uso como bases de pavimento, sin embargo, es bastante sensible al agua, se desintegro por completo la briqueta compacta.

4.1.4. Característica Canteras Combinada

El material proveniente de la Canteras Combinada según AASHTO corresponde a un suelo A-1-a(0) y de acuerdo a SUCS se clasifica como un suelo

SW de Gradación B, sin embargo la franja granulométrica recomendable para Bases y Sub Bases de Pavimento es la Gradación A debido a que estamos por encima de los 3000 m.s.n.m, Si se toma en cuenta la gradación de afirmado es A-1 la más aproximada de acuerdo al EG(2013).

Tabla 4.1.2

Cuadro de análisis de resultados de la Cantera Combinada

| Características | Cantera Combinada | Bases (EG 2013) | Sub Bases (EG2013) | Afirmado (EG2013) | Evaluación |
|------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| Limite Líquido | 18.53% | ----- | 25% máx. | 35% máx. | Cumple |
| Índice de Plasticidad | 2.89% | 2% min | 4% máx. | 4%-9% | Cumple |
| Abrasión de Ángulos | 49.00% | 40% máx. | 50% máx. | 50% máx. | No Cumple |
| Equivalente Arena | 46.00% | 45% min | 35% min | ----- | Cumple |
| CBR | 155.00% | 80% min | 40% min | 40% min | Cumple |

El material procedente de la Cantera Combinada no cumple su uso para afirmados requiere 4.0% de IP, en cambio para Bases de pavimento es más exigente tal como se muestra en la tabla 4.1.2, la abrasión de los ángulos no cumple su uso para Base, pero sí cumple su uso para Sub Bases y Afirmados. Por ello se plantea mejorar el material adicionando el cemento o emulsión asfáltica CSS-1h así Evaluar la condición que resulte más favorable.

4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA 2 y 3

Mejora la resistencia con el uso emulsión asfáltica y el cemento en suelos provenientes de la Cantera Pecosani y Cantera Combinada.

4.2.1. Límites de Consistencia y CBR

Se describe a grandes rasgos las propiedades geotécnicas que afectan a la resistencia de compresión y la estabilidad en el agua del material proveniente de

la Cantera Pecosani y Cantera Combinada. Se presenta una tabla resumen de índice de plasticidad y el CBR.

Tabla 4.2.1

Resumen de IP y CBR Cantera Pecosani

| Características | Cantera Pecosani | | | Bases (EG 2013) |
|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | Sin aditivo | Con 7.6% de CSS-1h | Con 2% de Cemento | |
| Límite Líquido | 19.67% | 19.94% | 22.64% | ----- |
| Límite Plástico | 16.30% | 13.69% | 16.57% | |
| Índice de Plasticidad | 3.37% | 6.24% | 6.07% | 2% min |
| CBR | 63.50% | 88%* | 165%** | 80% min |

Nota: * CBR con 7.6% de CSS-1h al 100% de γ_d máx. **CBR con 2.0% de cemento al 100% de γ_d máx.

De la tabla 4.2.1 se observa que al adicionar la emulsión asfáltica y el cemento al suelo SP-SM de la Cantera Pecosani aumenta el índice de plasticidad de 3.37% a valores de 6.24% y 6.07% respectivamente esto implica que hay mayor cohesión de acuerdo a normativa no debe ser superior a 10% el IP. Además, el CBR mejora de 63.5% a 165% al adicionar 2% de cemento y si se adiciona 7.6% de emulsión asfáltica al suelo SP-SM mejora hasta 88%.

Tabla 4.2.2

Resumen de IP y CBR

| Características | Cantera Combinada | | | Bases (EG 2013) |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| | Sin aditivo | Con 7.2% de CSS-1h | Con 5.5% de Cemento | |
| Límite Líquido | 18.53% | 18.54% | 19.71% | ----- |
| Límite Plástico | 15.65% | 14.40% | 14.03% | |
| Índice de Plasticidad | 2.89% | 4.14% | 5.68% | 2% min |
| CBR | 155.00% | ----- | ----- | 80% min |

Nota: Cantera Combinada

De la tabla 4.2.2 al adicionar la emulsión asfáltica de 7.2% al suelo SW de la Cantera Combinada aumenta el índice de plasticidad de 2.89% a 4.14% y si se adiciona 5.5% de cemento mejora 2.89% a 5.68%.

4.2.2. Densidad seca máxima con CSS-1h

Se evalúa la densidad seca máxima de los suelos SP-SM (Cantera Pecosani) y suelos SW (Cantera Combinada) haciendo variar el porcentaje de emulsión asfáltica y cemento obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 4.2.3

Densidad seca máxima con emulsión CSS-1h

| CANTERA PECOSANI | | | CANTERA COMBINADA | | |
|------------------|-------|--------------------------|-------------------|-------|--------------------------|
| % de CSS-1h | W (%) | γ_a (maxima) | % de CSS-1h | W (%) | γ_a (maxima) |
| 0.00% | 8.40% | 2.131 gr/cm ³ | 0.00% | 6.60% | 2.114 gr/cm ³ |
| 6.00% | 7.46% | 2.030 gr/cm ³ | 5.50% | 6.72% | 2.092 gr/cm ³ |
| 6.80% | 7.60% | 2.024 gr/cm ³ | 6.40% | 6.60% | 2.089 gr/cm ³ |
| 7.60% | 7.55% | 2.021 gr/cm ³ | 7.20% | 6.58% | 2.075 gr/cm ³ |
| 8.50% | 7.34% | 2.018 gr/cm ³ | 8.10% | 6.50% | 2.068 gr/cm ³ |

Nota: Cantera Pecosani y Cantera Combinada

De acuerdo al resultado de la tabla 4.2.3 se demuestra que la densidad disminuye si se incrementa el % de CSS-1h para los 02 tipos de suelos SP-SM (Cantera Pecosani) de 2.131 gr/cm³ a 2.018 gr/cm³ y SW (Cantera Combinada) disminuye de 2.114 gr/cm³ a 2.068 gr/cm³, (Castillo Alcazar, 2021) su densidad máxima disminuye de 2.065 gr/cm³ a 1.997 gr/cm³ para la cantera Talamolle y para la Cantera Tambo la densidad disminuye 2.190 gr/cm³ a 2.155 gr/cm³.

4.2.2.1. Cantera Pecosani

Prueba de normalidad según Shapiro – Wilk para datos $N \leq 30$, nivel de confianza del 95% se obtiene:

Ho: Las variables tienen distribución normal

Ha: Los variables no tienen distribución normal

Figura 4.2.1

Correlación de densidad seca máxima y % de CSS-1h

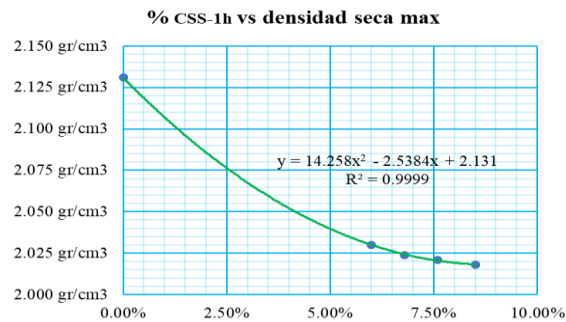


Tabla 4.2.4

Prueba de Normalidad γ l máx. y el porcentaje de CSS-1h

| Pruebas de Normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Emulsión CSS-1h | 0.806 | 5 | 0.09 |
| Densidad Seca Máxima | 0.638 | 5 | 0.002 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Si la significancia de las 02 variables ambas no son mayores iguales que 0.05 en conclusión las variables no tienen la distribución normal, para la prueba estadística se empleará la correlación Spearman.

Ho: El uso de emulsiones asfálticas no disminuye la densidad máxima seca

Ha: El uso de emulsiones asfálticas si disminuye la densidad máxima seca

Tabla 4.2.5

Análisis estadístico de correlación de % de CSS-1h y la densidad máxima seca

| Correlaciones | | % Emulsión CSS-1h | γ_d (máxima) |
|-----------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| Rho de Spearman | % EMULSIÓN CSS1h | Coefficiente de correlación | 1.000 |
| | | Sig. (bilateral) | -1.000** |
| | | N | 5 |
| | DENSIDAD SECA MÁXIMA | Coefficiente de correlación | -1.000** |
| | Sig. (bilateral) | 1.000 | |
| | N | 5 | |

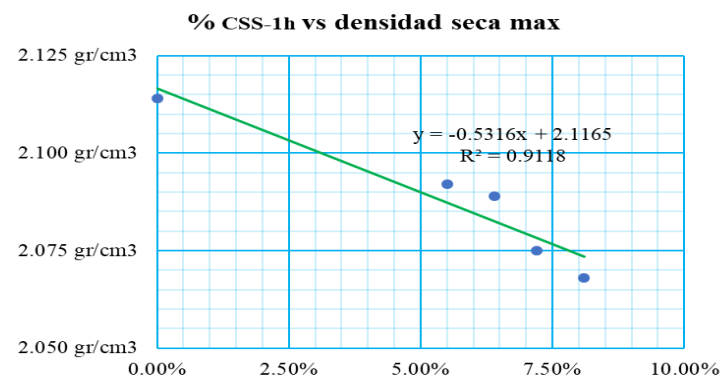
Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

De acuerdo a la figura 4.2.1 hay una correlación inversa grande lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ rechazamos H_0 y aceptamos H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.5 el uso de emulsiones asfálticas CSS-1h si disminuye la densidad máxima seca de suelos de la Cantera Pecosani.

4.2.2.2. Cantera combinada

Figura 4.2.2

Correlación máxima densidad seca y Emulsión asfáltica



Existe una correlación inversa, se plantea la prueba de normalidad para determinar si las variables son paramétricas o no paramétricas.

H_0 : Las variables tienen distribución normal

H_a : Las variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.6

Prueba de Normalidad y d. máx. y % de Emulsión

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Emulsión CSS-1h | 0.825 | 5 | 0.127 |
| Densidad Seca Máxima | 0.953 | 5 | 0.762 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Combinada

Si la significancia de las 02 variables ambas son mayores iguales que 0.05 Aceptamos la hipótesis inicial, se concluye que las variables

tienen una distribución normal, para lo cual el coeficiente de correlación a utilizar es el de Pearson.

Ho: El uso de emulsiones asfálticas no disminuye la densidad máxima seca

Ha: El uso de emulsiones asfálticas si disminuye la densidad máxima seca

Tabla 4.2.7

Análisis estadístico de correlación de % de CSS-1h y γ_d máx.

| Correlaciones | | % Emulsión CSS-1h | γ_d (maxima) |
|----------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| % Emulsión CSS-1h | Correlación de Pearson | 1 | -.955* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.011 |
| | N | 5 | 5 |
| Densidad seca máxima | Correlación de Pearson | -.955* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.011 | |
| | N | 5 | 5 |

Nota: *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

De acuerdo a la figura 4.2.1 hay una correlación inversa muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la *Ho* y aceptamos la *Ha* según el análisis estadístico de la tabla 4.2.7 el uso de emulsiones asfálticas CSS-1h si disminuye la densidad máxima seca de suelos proveniente de la Cantera Combinada.

4.2.3. Densidad Seca Máxima con Cemento

Tabla 4.2.8

Densidad seca máxima para la Cantera Pecosani y Combinada con Cemento

| CANTERA PECOSANI | | | CANTERA COMBINADA | | |
|------------------|-------|---|-------------------|-------|--------------------------|
| % de Cemento | W (%) | γ_d (maxima) gr/cm ³ | % de Cemento | W (%) | γ_d (maxima) |
| 0.00% | 8.40% | 2.131 | 0 % | 6.60% | 2.114 gr/cm ³ |
| 2.00% | 8.25% | 2.137 | 1.50% | 6.20% | 2.127 gr/cm ³ |
| 4.00% | 8.05% | 2.141 | 2.50% | 6.40% | 2.147 gr/cm ³ |
| 6.00% | 8.40% | 2.143 | 3.50% | 6.38% | 2.154 gr/cm ³ |
| 8.00% | 8.44% | 2.148 | 4.50% | 6.20% | 2.159 gr/cm ³ |
| 10.00% | 8.75% | 2.155 | 5.50% | 6.40% | 2.159 gr/cm ³ |
| | | | 6.50% | 6.54% | 2.163 gr/cm ³ |

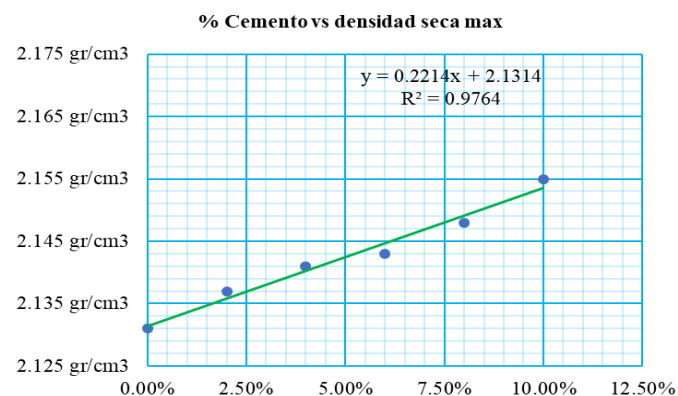
Se resume que la densidad del suelo aumenta siempre y cuando incrementa el % de Cemento para los 02 tipos de suelos SP-SM (Cantera Pecosani) de 2.131 gr/cm³ a 2.148 gr/cm³ para 8% de cemento y SW (Cantera Combinada) aumenta desde el valor de 2.114 gr/cm³ a 2.159 gr/cm³ para 5.5% de cemento. Mamani Laiza & Medina Cerna (2022), Castro Gonzales & Navarro Pereyra (2020), concluyen que el cemento mejora la densidad del suelo cemento.

Prueba de normalidad según Shapiro – Wilk para datos $N \leq 30$, nivel de confianza del 95% se obtiene:

4.2.3.1. Cantera Pecosani

Figura 4.2.3

Correlación máxima densidad seca y Cemento



Se plantea la hipótesis para la prueba de normalidad

H₀: Las variables tienen distribución normal

H_a: Las variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.9

Prueba de Normalidad y d máx. y el % de Cemento

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Cemento | 0.982 | 6 | 0.961 |
| Densidad Seca Máxima | 0.994 | 6 | 0.997 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Si la significancia de las 02 variables ambas son mayores iguales que 0.05 Aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la hipótesis alterna, en conclusión, las variables tienen una distribución normal, la prueba estadística a utilizar es Pearson.

- Ho: El uso de cemento portland no mejora la densidad máxima seca
- Ha: El uso de cemento portland si mejora la densidad máxima seca

Tabla 4.2.10

Análisis estadístico de correlación de % de Cemento y la γ_d máx.

| Correlaciones | | % Emulsión CSS-1h | γ_d (máxima) |
|----------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| % Emulsión CSS-1h | Correlación de Pearson | 1 | -.988* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.001 |
| | N | 6 | 6 |
| Densidad seca máxima | Correlación de Pearson | -.988* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.001 | |
| | N | 6 | 6 |

Nota: *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Según la figura 4.2.3 hay una correlación positiva muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la *Ho* y aceptamos la *Ha* según el análisis estadístico de la tabla 4.2.10 el uso de cemento portland mejora la densidad máxima seca de la Cantera Combinada.

4.2.3.2. Cantera combinada

Prueba de normalidad según Shapiro – Wilk para datos $N \leq 30$, nivel de confianza del 95% se obtiene:

- Ho: Los variables tienen distribución normal
- Ha: Los variables no tienen distribución normal

Figura 4.2.4

Correlación máxima densidad seca y cemento

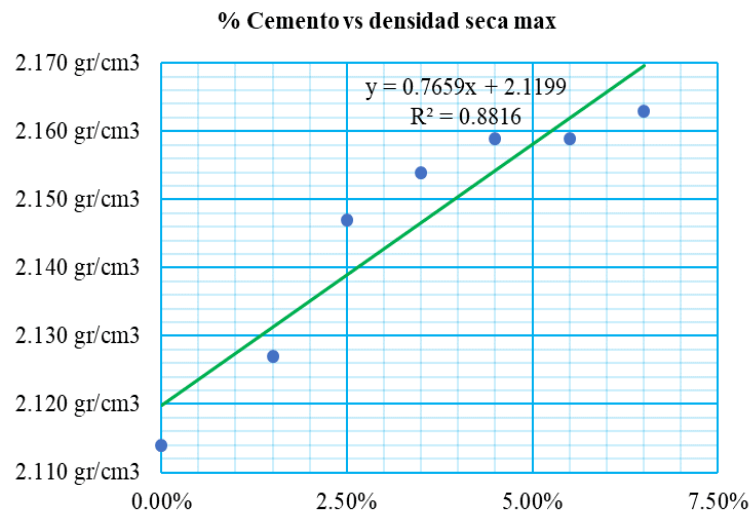


Tabla 4.2.11

Prueba de Normalidad máxima densidad seca y el porcentaje de Cemento

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Cemento | 0.985 | 7 | 0.980 |
| Densidad Seca Máxima | 0.846 | 7 | 0.113 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Si la significancia de las 02 variables ambas son mayores iguales que 0.05 Aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la hipótesis alterna en conclusión las variables tienen una distribución normal la prueba estadística a utilizar es el Pearson.

- Ho: El uso de cemento portland no mejora la densidad máxima seca
- Ha: El uso de cemento portland si mejora la densidad máxima seca

Tabla 4.2.12

Análisis estadístico de correlación de % de cemento y la densidad máxima seca

| Correlaciones | | % Emulsión CSS-1h | γ_d (maxima) |
|----------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | -.939* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.002 |
| | N | 7 | 7 |
| Densidad seca máxima | Correlación de Pearson | -.939* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.002 | |
| | N | 7 | 7 |

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Según la figura 4.2.4 hay una correlación positiva muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.12. el uso de cemento portland mejora la densidad máxima seca de la Cantera Combinada.

4.2.4. Resistencia a compresión suelo cemento

Tabla 4.2.13

Resumen de resistencia a compresión suelo cemento

| CANTERA PECOSANI | | CANTERA COMBINADA | |
|------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| % de Cemento | f'_{sc} (kg/cm ²) | % de Cemento | f'_{sc} (kg/cm ²) |
| 0.00% | 0.00 | 0.00% | 0.00 |
| 2.00% | 8.998 | 1.50% | 6.273 |
| 4.00% | 12.963 | 2.50% | 10.861 |
| 6.00% | 16.444 | 3.50% | 14.099 |
| 8.00% | 20.693 | 4.50% | 17.590 |
| 10.00% | 24.480 | 5.50% | 19.999 |
| | | 6.50% | 25.158 |

Nota: para cada porcentaje de cemento se toma la resistencia promedio de 03 briquetas.

El ensayo se realiza en condición saturada durante 5hrs sumergida en agua.

*se utiliza la ecuación de AASHTO ROAD TEST $Mr(\text{lb}/\text{pulg}^2) = 4326Ln$

$(\text{CBR}\%)+241$; seguidamente se utiliza la ecuación para determinar el número estructural

$a_2 = 0.249 * \log(E_{BS}) - 0.977$; con el número estructural conocido se utiliza el Abaco de la figura 2.13.2 para determinar la resistencia a compresión.

Tabla 4.2.14

Correlación de resistencia

| CANTERA PECOSANI | | | | |
|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|-------|
| % cemento | F ^{sc} | CBR | E _{bs} | a_2 |
| 0.00% | 5.620 kg/cm² | 63.50% | 18198.40 Psi | 0.084 |
| 2.00% | 8.998 kg/cm ² | | 25682.57 Psi | 0.121 |
| 4.00% | 12.963 kg/cm ² | | 27400.03 Psi | 0.128 |
| 6.00% | 16.444 kg/cm ² | | 29232.33 Psi | 0.135 |
| 8.00% | 20.693 kg/cm ² | | 30900.10 Psi | 0.141 |
| 10.00% | 24.480 kg/cm ² | | 31476.90 Psi | 0.143 |

Tabla 4.2.15

Correlación de resistencia

| CANTERA COMBINADA | | | | |
|-------------------|--------------------------------|---------|-----------------|-------|
| % cemento | F ^{sc} | CBR | E _{bs} | a_2 |
| 0.00% | 7.171 kg/cm² | 155.00% | 22058.86 Psi | 0.105 |
| 1.50% | 6.273 kg/cm ² | | 18240.81 Psi | 0.084 |
| 2.50% | 10.861 kg/cm ² | | 24296.41 Psi | 0.115 |
| 3.50% | 14.099 kg/cm ² | | 27400.03 Psi | 0.128 |
| 4.50% | 17.590 kg/cm ² | | 29778.00 Psi | 0.137 |
| 5.50% | 19.999 kg/cm ² | | 30615.67 Psi | 0.140 |
| 6.50% | 25.158 kg/cm ² | | 32362.36 Psi | 0.146 |

De la tabla 4.2.13 se aprecia la resistencia a compresión aumenta a medida que va incrementado el porcentaje de cemento. Para la cantera Pecosani incremento de 5.620 kg/cm² a 20.693 kg/cm² para 8.0 % de cemento. Para la Cantera Combinada incremento de 7.171 kg/cm² a 19.999 kg/cm², Aplicándose la correlación de CBR. Sin embargo, al no adicionar cemento a las briquetas en el agua se desmorona por completo. Se realizó la rotura con su humedad óptima de compactación tenía la resistencia que se obtuvo fue 2.50

kg/cm² y 4.608 kg/cm². La correlación de CBR con el Abaco de compresión simple no son concordantes.

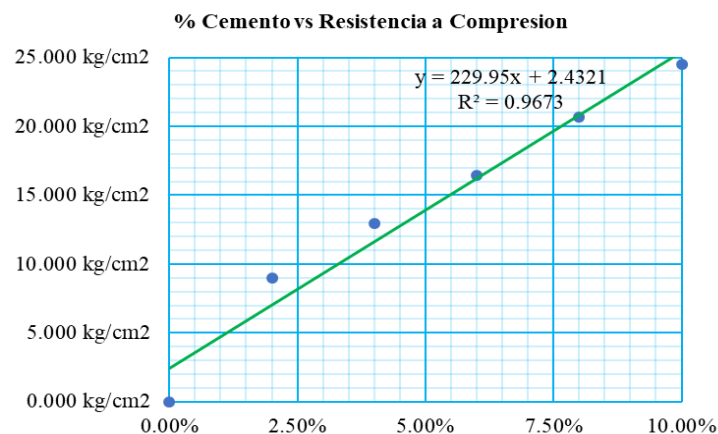
Mamani Laiza & Medina Cerna (2022), “demuestra que la resistencia a compresión para el suelo arenoso de 18.98 kg/cm², mientras que para el suelo arcilloso llega a 47.32 kg/cm² se usó 6% de cemento para ambos casos, concluye que el cemento mejora la resistencia, aumenta la densidad, el porcentaje óptimo de adición de cemento Viaforte es de 2%, debido a que con este porcentaje se superan los parámetros exigidos por el MTC”. Se evidencia que el cemento mejora positivamente la resistencia de suelos, tal como manifiesta en el EG2013.

4.2.4.1. Cantera Pecosani

Prueba de normalidad según Shapiro – Wilk para datos $N \leq 30$, nivel de confianza del 95% se obtiene

Figura 4.2.5

Correlación de resistencia y % de cemento



Planteamiento de hipótesis para realizar prueba de normalidad, se verifica si la variable tiene o no su distribución normal.

- Ho: Las variables tienen distribución normal
- Ha: Las variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.16

Prueba de Normalidad f'_{sc} y el % Cemento

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Cemento | 0.982 | 6 | 0.961 |
| Densidad Seca Máxima | 0.976 | 6 | 0.933 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Si la significancia de las 02 de las variables son mayores a 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la H_a , en conclusión, se afirma que las variables tienen una distribución normal, la prueba estadística a utilizar es Pearson.

- H_0 : El uso de cemento portland no mejora la resistencia a compresión
- H_a : El uso de cemento portland si mejora la resistencia a compresión

Tabla 4.2.17

Análisis estadístico de correlación de % de cemento y resistencia a compresión

| Correlaciones | | % Cemento | f'_{sc} |
|--------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | 0.984* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.001 |
| | N | 6 | 6 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | 0.984* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.001 | |
| | N | 6 | 6 |

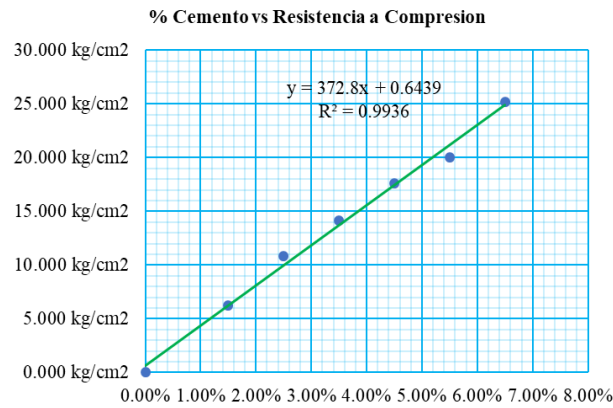
Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Según figura 4.2.5 hay una correlación positiva muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.17. El uso de cemento portland mejora la resistencia a compresión de la Cantera Pecosani.

4.2.4.2. Cantera combinada

Figura 4.2.6

Correlación de resistencia y % de cemento



Ho: Las variables tienen distribución normal

Ha: Las variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.18

Prueba de Normalidad f'c y el % de Cemento

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Cemento | 0.985 | 7 | 0.980 |
| Densidad Seca Máxima | 0.989 | 7 | 0.992 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Combinada

Como la significancia de las 02 de las variables son mayores de 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la hipótesis alterna, en conclusión, las variables tienen distribución normal, la prueba estadística a utilizar es Pearson.

- Ho: El uso de cemento portland no mejora la resistencia a compresión
- Ha: El uso de cemento portland si mejora la resistencia a compresión

Tabla 4.2.19

Análisis estadístico de correlación de % de cemento y resistencia a compresión

| Correlaciones | | % Cemento | f'sc |
|--------------------------|------------------------|-----------|--------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | 0.997* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.001 |
| | N | 7 | 7 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | 0.997* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.001 | |
| | N | 7 | 7 |

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01(bilateral).

Según figura 4.2.6 hay una correlación positiva muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.19. El uso de cemento portland mejora la resistencia a compresión de la Cantera Combinada.

4.2.5. Resistencia al humedecimiento y secado

El ensayo de humedecimiento y secado también es conocido como el ensayo durabilidad, la normativa peruana menciona hace referencia a la pérdida de peso que es sometida la muestra a la acción del agua y secado, más el desgaste por cepillado.

Tabla 4.2.20

Resumen de pérdida de peso

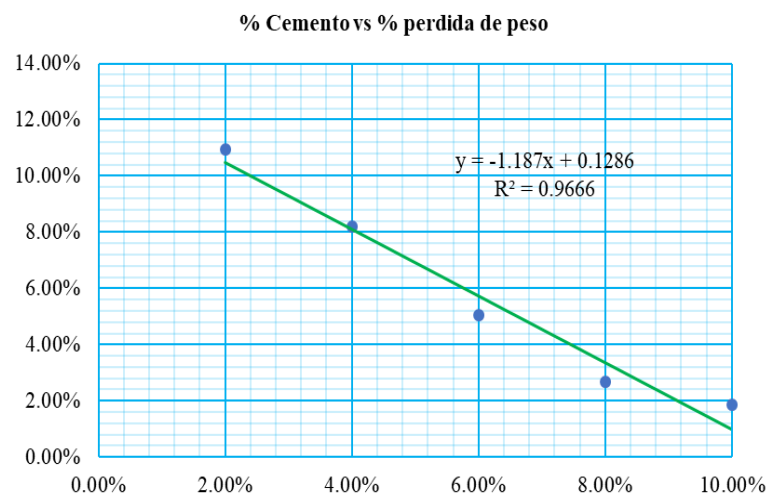
| CANTERA PECOSANI | | CANTERA COMBINADA | |
|------------------|--------------|-------------------|--------------|
| % de Cemento | Perdida Peso | % de Cemento | Perdida Peso |
| 2.00% | 10.95% | 2.50% | 9.67% |
| 4.00% | 8.20% | 3.50% | 7.10% |
| 6.00% | 5.04% | 4.50% | 5.88% |
| 8.00% | 2.66% | 5.50% | 3.38% |
| 10.00% | 1.85% | 6.50% | 2.14% |

De la tabla 4.2.18 se muestra que para 0% de cemento la briqueta se desintegra por completo en 02 ciclos para ambas Canteras, si se adiciona 2.0% de cemento mantiene su forma cilíndrica. De acuerdo a normativa la pérdida de peso es menor a 14%, (IECA, ANCADDE, & ANTER, 2008) indica que los diseños por humedecimiento y secado no se realizan en España, debido a que el diseño más crítico es por resistencia a compresión.

4.2.5.1. Cantera Pecosani

Figura 4.2.7

Correlación de % de pérdida de peso y % de cemento



Ho: Las variables tienen distribución normal

Ha: Las variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.21

Prueba de Normalidad pérdida de peso y el % de Cemento

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Cemento | 0.987 | 5 | 0.967 |
| Densidad Seca Máxima | 0.935 | 5 | 0.634 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Como la significancia de las 02 de las variables son mayores iguales a 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y se rechaza H_a , en conclusión, las variables tienen una distribución normal, la prueba estadística a utilizar es Pearson

- H_0 : El uso de cemento portland no mejora la resistencia al agua
- H_a : El uso de cemento portland si mejora la resistencia al agua

Tabla 4.2.22

Análisis estadístico de correlación de % de cemento y % pérdida de peso

| Correlaciones | | % Cemento | f'sc |
|--------------------------|------------------------|-----------|---------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | -0.983* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.003 |
| | N | 5 | 5 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | -0.983* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.003 | |
| | N | 5 | 5 |

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01(bilateral).

Según figura 4.2.7 hay una correlación negativa muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.12. El uso de cemento portland si mejora la resistencia al agua de la Cantera Pecosani.

4.2.5.2. Cantera Combinada

Prueba de normalidad según Shapiro – Wilk para datos $N \leq 30$, nivel de confianza del 95% se obtiene:

- H_0 : Las variables tienen distribución normal
- H_a : Los variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.23

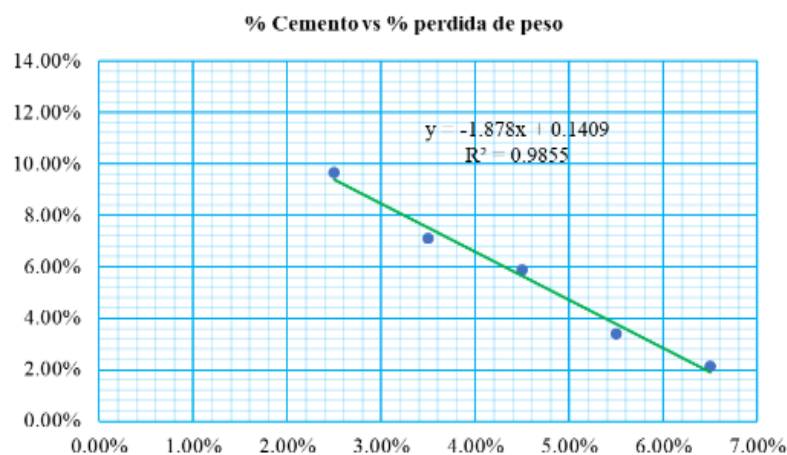
Prueba de Normalidad pérdida de peso y el % de Cemento

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Cemento | 0.987 | 5 | 0.967 |
| Densidad Seca Máxima | 0.974 | 5 | 0.897 |

Fuente: se emplea el software SPSS muestra Cantera Combinada

Figura 4.2.8

Correlación de pérdida de peso y % de cemento



Como la significancia de las 02 de las variables, ambas son mayores iguales a 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la hipótesis alterna, en conclusión, se tiene una distribución normal, la prueba estadística a utilizar es Pearson.

Se realiza la prueba de hipótesis si efectivamente el cemento mejora la resistencia a la acción del agua.

- Ho: El uso de cemento portland no mejora la resistencia al agua.
- Ha: El uso de cemento portland si mejora la resistencia al agua.

Tabla 4.2.24

Análisis estadístico de correlación de % de cemento y resistencia a compresión

| Correlaciones | | % Cemento | % perdida peso |
|--------------------------|------------------------|-----------|----------------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | -0.993* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.001 |
| | N | 5 | 5 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | -0.993* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.001 | |
| | N | 5 | 5 |

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Según figura 4.2.6 hay una correlación positiva muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.12. El uso de cemento portland si mejora la resistencia al agua de la Cantera Combinada.

4.2.6. Resistencia a Compresión con emulsión asfáltica

4.2.6.1. Cantera Pecosani

Tabla 4.2.25

Resistencia a compresión con emulsión asfáltica

| Condición seca | | Condición Saturada | |
|----------------|--------------|--------------------|--------------|
| % de emulsión | f'se(kg/cm2) | % de emulsión | f'se(kg/cm2) |
| 0.00% | 13.052 | 0.00% | 0.000 |
| 6.00% | 14.500 | 6.00% | 6.475 |
| 6.80% | 16.398 | 6.80% | 8.105 |
| 7.60% | 22.469 | 7.60% | 10.466 |
| 8.50% | 22.679 | 8.50% | 10.435 |

*se utiliza la ecuación de AASHTO ROAD TEST $Mr(\text{lb/pulg}^2) = 4326Ln$ (CBR%) +241; seguidamente se utiliza la ecuación para determinar el número

estructural $a_2 = 0.249 * \log(E_{BS}) - 0.977$; con el número estructural conocido se utiliza el Abaco de la figura 2.13.2 para determinar la resistencia a compresión

Para determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica se tendrá que romper a compresión simple las probetas curadas en seco y en húmedo. Resistencia Curado en Seco según (INVIAS, 2007) debe de ser de 1.50 Mpa y la resistencia conservada tras curado húmedo mínimo de 75%. De acuerdo a (Gustavo Rivera, E, 1997) la pérdida de estabilidad debe ser máximo 25%. Sin embargo, de acuerdo a la normativa peruana la estabilidad Marshall es de 50%. (MTC, 2013). Para la cantera Pecosani la resistencia en condición incrementa de 13.052 kg/cm² a 22.679 kg/cm² y en condición saturada incrementa de 0 a 10 kg/cm². La pérdida de estabilidad es mayor al 50% lo cual no se cumple los requerimientos de la EG2013.

Tabla 4.2.26

Correlación de resistencia

| CANTERA PECOSANI | | | | |
|------------------|--------------------------------|--------|--------------|-------|
| % CSS-1h | F ^{se} | CBR | Ebs | a_2 |
| 0.00% | 5.620 kg/cm² | 63.50% | 18198.40 Psi | 0.084 |
| 6.00% | 6.475 kg/cm ² | | 19281.49 Psi | 0.090 |
| 6.80% | 8.105 kg/cm ² | | 21346.04 Psi | 0.101 |
| 7.60% | 10.466 kg/cm ² | | 24749.95 Psi | 0.117 |
| 8.50% | 10.435 kg/cm ² | | 24749.95 Psi | 0.117 |

Prueba de normalidad según Shapiro – Wilk para datos $N \leq 30$, nivel de confianza del 95% se obtiene:

- Ho: Los datos tienen una distribución normal
- Ha: Los datos no tienen una distribución normal

Figura 4.2.9

Correlación de resistencia a compresión y % de emulsión

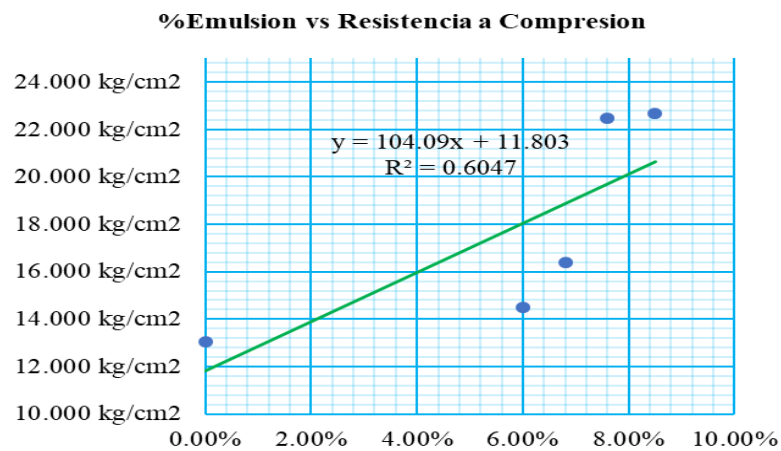


Tabla 4.2.27

Prueba de Normalidad f'se y % de emulsión

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Emulsión | 0.806 | 5 | 0.090 |
| Densidad Seca Máxima | 0.855 | 5 | 0.211 |

Fuente: Se analiza la compresión simple en estados seco. Se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Como la significancia de las 02 de las variables son mayores o iguales de 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la H_a , en conclusión, las variables tienen una distribución normal, para lo cual la prueba estadística a utilizar es Pearson.

Prueba de normalidad según Shapiro – Wilk para datos $N \leq 30$, nivel de confianza del 95% se obtiene:

Planteamiento de la prueba de hipótesis si el uso de la emulsión asfáltica CSS-1h mejora la resistencia en la condición seca.

- H_0 : El uso de emulsión asfáltica no mejora la resistencia a compresión

- H_a : El uso de emulsión asfáltica si mejora la resistencia a compresión

Tabla 4.2.28

Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y resistencia a compresión

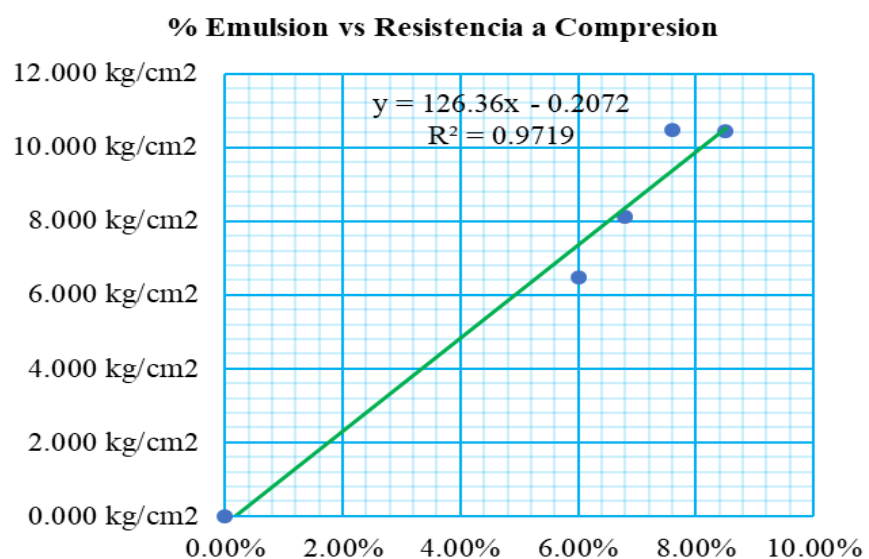
| Correlaciones | | % Emulsión | f'sc |
|--------------------------|------------------------|------------|-------|
| % Emulsión | Correlación de Pearson | 1 | 0.788 |
| | Sig. (bilateral) | | 0.122 |
| | N | 5 | 5 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | 0.788 | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.122 | |
| | N | 5 | 5 |

Nota: **. La correlación es significativa en nivel de 0,01 (bilateral).

Según figura. 4.2.9 hay una correlación alta, lo cual se puede afirmar Si: $p > \alpha$ se acepta la H_0 y rechazamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.25. El uso de emulsión asfáltica no mejora la resistencia a compresión en su estado seco.

Figura 4.2.10

Correlación de resistencia a compresión y % de emulsión CSS-1h



- H_0 : Las variables tienen distribución normal

- Ha: Los variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.29

Prueba de Normalidad f'se y el % Emulsión

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|--------------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Emulsión asfáltica | 0.806 | 5 | 0.090 |
| Resistencia a compresión | 0.843 | 5 | 0.173 |

Fuente: Se analiza la compresión simple en estados saturado.
Se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Si la significancia de las 02 de las variables son mayores o iguales de 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la Ha, en conclusión, las variables tienen distribución normal, la prueba estadística a utilizar es Pearson.

El planteamiento de hipótesis para ver si mejora o no la resistencia a compresión el uso de emulsión asfáltica en condición saturada.

- Ho: El uso de emulsión asfáltica no mejora la resistencia a compresión
- Ha: El uso de emulsión asfáltica si mejora la resistencia a compresión

Tabla 4.2.30

Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y f'se

| Correlaciones | | % Cemento | f'se |
|--------------------------|------------------------|-----------|---------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | 0.986** |
| | Sig. (bilateral) | | 0.002 |
| | N | 5 | 5 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | 0.986** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.002 | |
| | N | 5 | 5 |

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

De acuerdo a la fig. 4.2.10 hay una correlación alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.27. El uso de emulsión asfáltica si mejora significativamente la resistencia a compresión en su estado saturado.

4.2.6.2. Cantera Combinada

Tabla 4.2.31

Resistencia a compresión con emulsión asfáltica

| Condición seca | | Condición Saturada | |
|----------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| % de emulsión | f'se | % de emulsión | f'se |
| 0.00% | 12.812 kg/cm ² | 0.00% | 0.000 kg/cm ² |
| 5.50% | 18.110 kg/cm ² | 5.50% | 10.255 kg/cm ² |
| 6.40% | 20.367 kg/cm ² | 6.40% | 14.146 kg/cm ² |
| 7.20% | 26.092 kg/cm ² | 7.20% | 17.495 kg/cm ² |
| 8.10% | 26.370 kg/cm ² | 8.10% | 18.084 kg/cm ² |

*se utiliza la ecuación de AASHTO ROAD TEST $M_r(\text{lb/pulg}^2) = 4326 \ln(\text{CBR}\%) + 241$; seguidamente se utiliza la ecuación para determinar el número estructural $a_2 = 0.249 * \log(E_{BS}) - 0.977$; con el numero estructural conocido se utiliza el Abaco de la figura 2.13.2 para determinar la resistencia a compresión

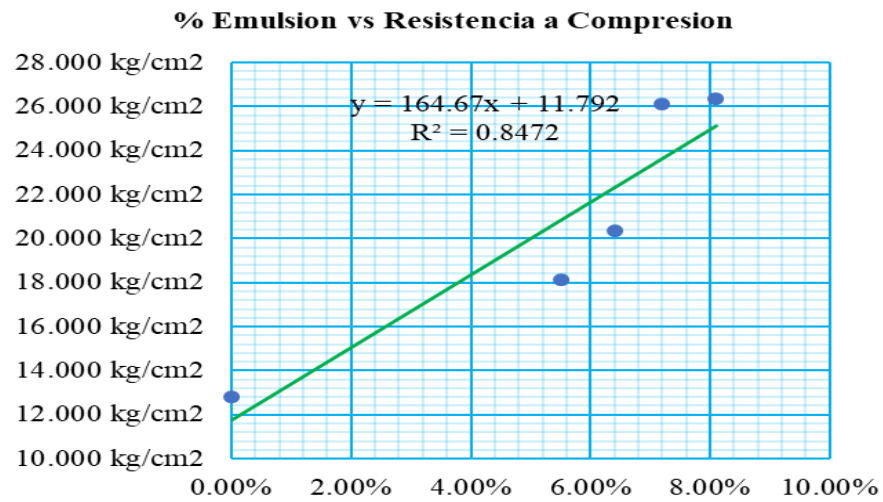
Tabla 4.2.32

Correlación de resistencia

| CANTERA COMBINADA | | | | |
|-------------------|--------------------------------|---------|--------------|-------|
| % CSS-1h | F'se | CBR | Ebs | a_2 |
| 0.00% | 7.171 kg/cm² | 155.00% | 22058.86 Psi | 0.105 |
| 5.50% | 10.255 kg/cm ² | | 24522.13 Psi | 0.116 |
| 6.40% | 14.146 kg/cm ² | | 27911.50 Psi | 0.130 |
| 7.20% | 17.495 kg/cm ² | | 29503.91 Psi | 0.136 |
| 8.10% | 18.084 kg/cm ² | | 29778.00 Psi | 0.137 |

Figura 4.2.11

Correlación de resistencia a compresión y % de emulsión



Ho: Las variables tienen distribución normal

Ha: Las variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.33

Prueba de Normalidad f'se y % de emulsión

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Cemento | 0.825 | 5 | 0.127 |
| Densidad Seca Máxima | 0.918 | 5 | 0.520 |

Fuente: Se analiza la compresión simple en estados seco.
Se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Como la significancia de las 02 de las variables son mayores de 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la Ha, en conclusión, las variables tienen una distribución normal, la prueba estadística a usar es Pearson.

- Ho: El uso de emulsión asfáltica no mejora la resistencia a compresión

- Ha: El uso de emulsión asfáltica si mejora la resistencia a compresión

Tabla 4.2.34

Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y f'sc

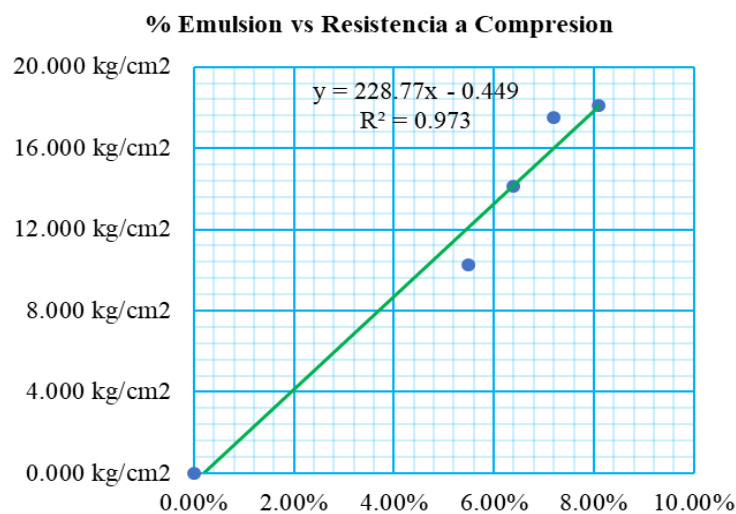
| Correlaciones | | % Emulsión | f'sc |
|--------------------------|------------------------|------------|--------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | 0.920* |
| | Sig. (bilateral) | | 0.027 |
| | N | 5 | 5 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | 0.920* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.027 | |
| | N | 5 | 5 |

Nota: *. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Según figura 4.2.9 hay una correlación alta, lo cual se puede afirmar Si: $p > \alpha$ se acepta la H_0 y rechazamos la H_a según el análisis estadístico de la tabla 4.2.25. El uso de emulsión asfáltica no mejora la resistencia a compresión en su estado seco.

Figura 4.2.12

Correlación de resistencia a compresión y % de emulsión CSS-1h



- H_0 : Las variables tienen distribución normal

- Ha: Los variables no tienen distribución normal

Tabla 4.2.35

Prueba de Normalidad Resistencia a compresión y % de Emulsión

| Pruebas de normalidad | Shapiro-Wilk | | |
|--------------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| % Emulsión asfáltica | 0.825 | 5 | 0.127 |
| Resistencia a compresión | 0.866 | 5 | 0.250 |

Fuente: Se analiza la compresión simple en estados saturado.
Se emplea el software SPSS muestra Cantera Pecosani

Como la significancia de las 02 de las variables son mayores de 0.05 aceptamos la hipótesis inicial y rechazamos la Ha, en conclusión, las variables tienen distribución normal, la prueba estadística a utilizar es Pearson.

- Ho: El uso de emulsión asfáltica no mejora la resistencia a compresión
- Ha: El uso de emulsión asfáltica si mejora la resistencia a compresión

Tabla 4.2.36

Análisis estadístico de correlación de % de emulsión y resistencia a compresión

| Correlaciones | | % Cemento | f ^{sc} |
|--------------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| % Cemento | Correlación de Pearson | 1 | 0.986** |
| | Sig. (bilateral) | | 0.002 |
| | N | 5 | 5 |
| Resistencia a Compresión | Correlación de Pearson | 0.986** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.002 | |
| | N | 5 | 5 |

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

De acuerdo a la fig. 4.2.32 hay una correlación muy alta, lo cual se puede afirmar Si: $p < \alpha$ se rechaza la Ho y aceptamos la Ha según el

análisis estadístico de la tabla 4.2.27. El uso de emulsión asfáltica si mejora significativamente la resistencia a compresión en su estado saturado.

4.2.6.3. Estabilidad al agua

Tabla 4.2.37

Resistencia conservada de la Cantera Pecosani

| % de emulsión | Perdida de estabilidad | Resistencia conservada |
|---------------|------------------------|------------------------|
| 0.00% | 100.00% | 0.00% |
| 6.00% | 55.34% | 44.66% |
| 6.80% | 50.57% | 49.43% |
| 7.60% | 53.42% | 46.58% |
| 8.50% | 53.99% | 46.01% |

Nota: Perdida de estabilidad máximo 50% de acuerdo al EG2013
Perdida de estabilidad máximo 25% de acuerdo a INVIAS

Figura 4.2.13

Perdida de estabilidad Cantera Pecosani

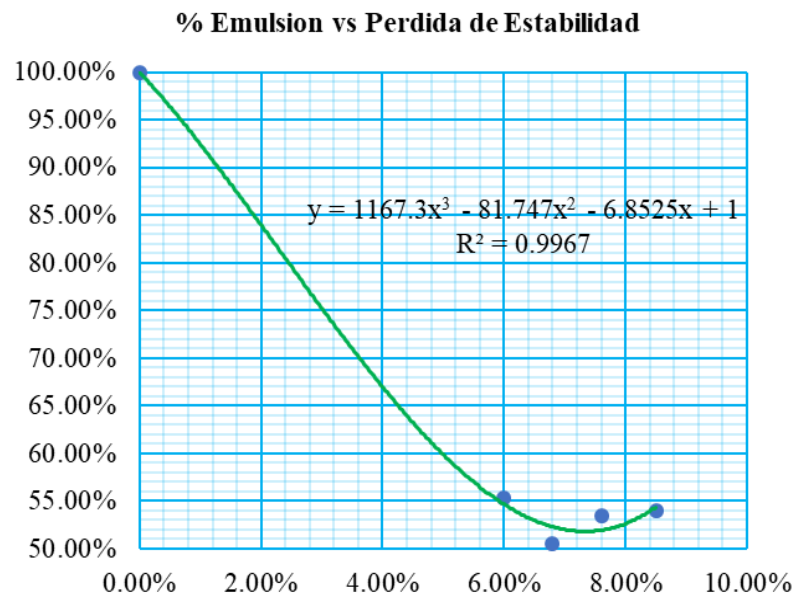


Tabla 4.2.38

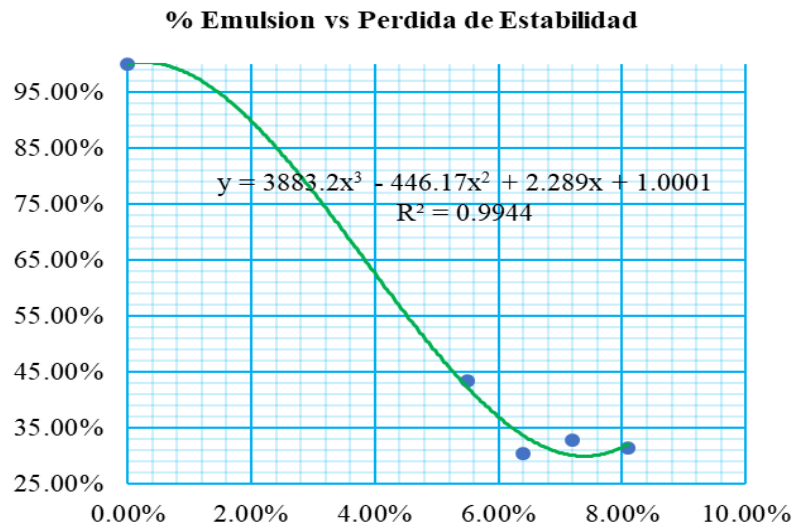
Resistencia conservada de la Cantera Combinada

| % de emulsión | Perdida de estabilidad | Resistencia conservada |
|---------------|------------------------|------------------------|
| 0.00% | 100.00% | 0.00% |
| 5.50% | 43.37% | 56.63% |
| 6.40% | 30.54% | 69.46% |
| 7.20% | 32.95% | 67.05% |
| 8.10% | 31.42% | 68.58% |

Nota: Perdida de estabilidad máximo 50% de acuerdo al EG2013
Perdida de estabilidad máximo 25% de acuerdo a INVIAS

Figura 4.2.14

Perdida de estabilidad Cantera Combinada.



4.3. HIPÓTESIS ESPECIFICA 4

Comparar el costo de mejoramiento de suelos con el uso de emulsión asfáltica y el cemento para conformar solución básica tramo Huancané -Cotapata-Huarisani.

Para realizar el análisis de costo primero se tiene que ver si es viable el mejoramiento de resistencia del suelo con emulsión asfáltica y cemento con las Canteras Pecosani y Combinada de acuerdo a los resultados que se ensayaron se hace un diseño y se valúa su costo.

Tabla 4.3.1

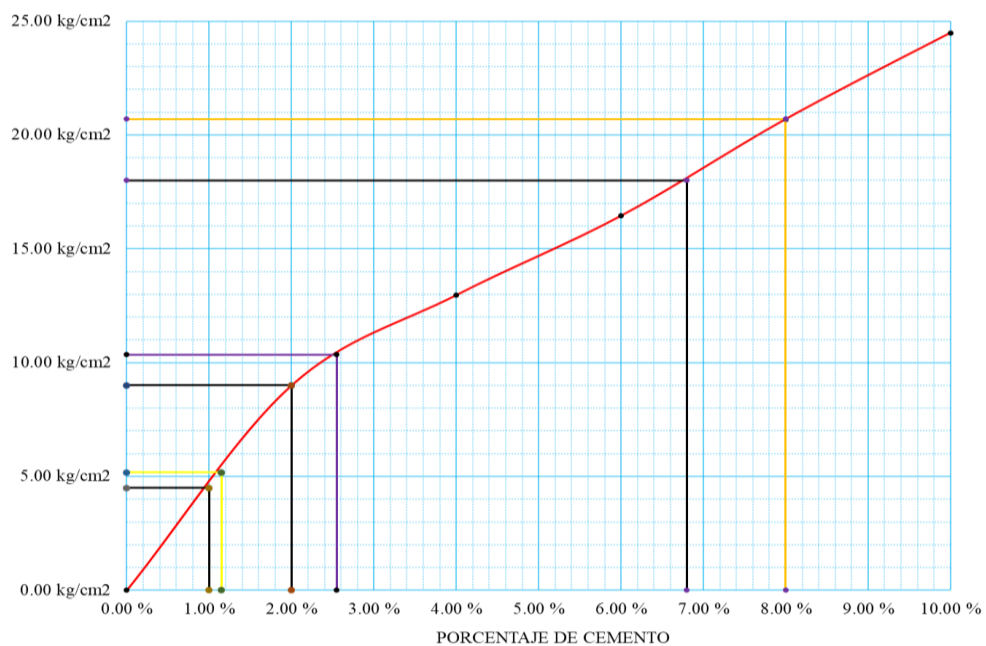
Tabla resumen para diseño de emulsiones asfálticas.

| Cantera Pecosani | | Cantera Combinada | |
|------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| % de emulsión | Perdida de estabilidad | % de emulsión | Perdida de estabilidad |
| 0.00% | 100.00% | 0.00% | 100.00% |
| 6.00% | 55.34% | 5.50% | 43.37% |
| 6.80% | 50.57% | 6.40% | 30.54% |
| 7.60% | 53.42% | 7.20% | 32.95% |
| 8.50% | 53.99% | 8.10% | 31.42% |

El porcentaje para el diseño con emulsiones asfálticas de acuerdo a la tabla 4.3.1 y a la norma peruana EG2013 se concluye: La Cantera Pecosani no es apto para mejorar porque su pérdida de Estabilidad supera el 50%, además de ello tiene una abrasión de 76%; La Cantera Combinada de acuerdo a las exigencias del MTC cumple la condición de estabilidad al agua para 6.40% de emulsión asfáltica, sin embargo, si somos más exigentes como la norma de INVIAS la perdida de estabilidad máximo sería de 25%, lo cual ya no cumpliríamos dichas exigencias, por lo tanto, no sería recomendable.

Figura 4.3.1

Resistencia Cantera Pecosani

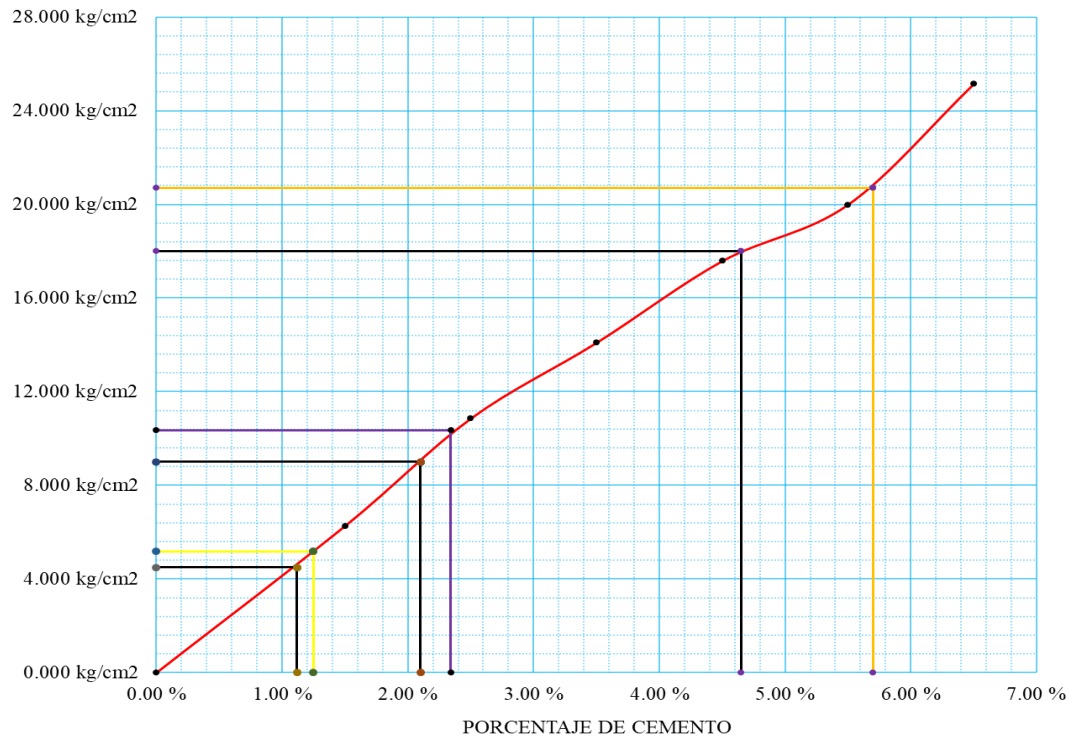


Nota: Los valores de resistencia están en condición saturada en agua a 5hras.

El porcentaje de diseño para suelos estabilizados con cemento por normativa es 18.00 kg/cm². Para la cantera Pecosani el porcentaje de cemento es 8.00% con resistencia de 20.7 kg/cm² y un factor seguridad de 15%.

Figura 4.3.2

Resistencia de Cantera Combinada



Nota: Los valores de resistencia están en condición saturada en agua a 5hras.

El porcentaje de diseño para suelos estabilizados con cemento por normativa es 18.00 kg/cm². Para la cantera Pecosani el porcentaje de cemento es 8.00% con resistencia de 20.7 kg/cm² y un factor seguridad 15%.

4.3.1. Evaluación de Costo

Para su análisis de costo se evaluará el tramo de:

- L=12540.00 m
- A=4.20 m

- E=0.10 m
- Volumen Compactado = 5266.80 m³
- Volumen Transportado = 7742.20 m³

Figura 4.3.3

Diagrama de Distancias Medias

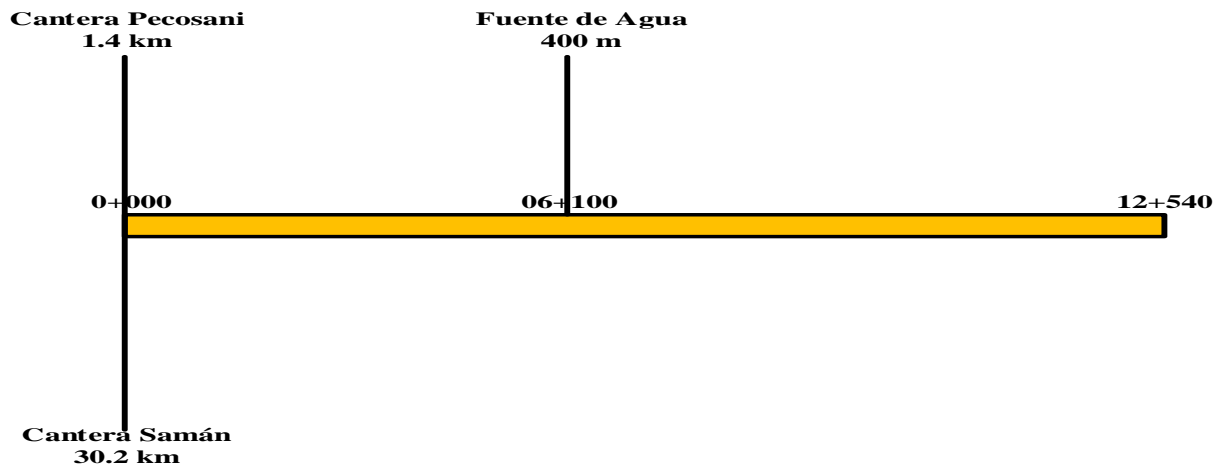


Tabla 4.3.2

Distancia Media Fuente de Agua

| Punto de Agua | Influencia | | Distancia de Acceso | Punto Medio | Distancia Total | Volumen(m ³) | Dist*Vol |
|-------------------|------------|-----------|---------------------|-------------|-----------------|--------------------------|-------------------|
| | Inicio(km) | Final(km) | km | m | km | m ³ | km*m ³ |
| Cota Pata | 0+000 | 6+100 | 0.4 | 3050.00 | 3+450 | 256.20 | 883890.00 |
| | 6+100 | 12+540 | 0.4 | 3220.00 | 3+620 | 270.48 | 979137.60 |
| distancia media = | | | 3.537 km | | | 526.68 | 1863027.60 |

Tabla 4.3.3

Distancia Media Cantera Pecosani

| Cantera | Influencia | | Distancia de Acceso | Punto Medio | Distancia Total | Volumen | Dist*Vol |
|-------------------|------------|-----------|---------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------------|
| | Inicio(km) | Final(km) | km | m | km | m ³ | km*m ³ |
| Pecosani | 0+000 | 12+540 | 1.4 | 6270.00 | 7+670 | 5266.80 | 40396356.00 |
| distancia media = | | | 7.670 km | | | 5266.80 | 40396356.00 |

Tabla 4.3.4*Distancia Media Cantera Samán*

| Cantera | Influencia | | Distancia de Acceso | Punto Medio | Distancia Total | Volumen | Dist*Vol |
|---------|-------------------|-----------|---------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------------|
| Samán | Inicio(km) | Final(km) | km | m | km | m ³ | km*m ³ |
| | 0+000 | 12+540 | 30.2 | 6270.00 | 36+470 | 5266.80 | 192080196.00 |
| | distancia media = | | 36.470 km | | | 5266.80 | 192080196.00 |

4.3.1.1. Rendimiento de Maquinaria:

Rendimiento de material Transportado de Cantera hacia Plataforma:

4.3.1.1.1. Transporte de Agua

Distancia Media: 3.537 km

Unidad de transporte: Camión cisterna 2,500 gln.

Velocidad Cargado: 20 km/hr.

Velocidad Descargado: 25 km/hr.

Tiempo de Trabajo: 6.4hrx60min/hr. = 384 min

Ciclo de Trabajo: 52.10 min

Tiempo de llenado = 15 min

Tiempo de riego = 18 min

Tiempo de recorrido cargado = $(3.537/20) * 60$; 10.611 min

Tiempo de recorrido descargado = $(3.537/25) * 60$; 08.489 min

Rend. Diario= $2500 * 3.785 \text{lt} * 384 \text{min} / 52.10 \text{ min} = 69.74 \text{m}^3/\text{día}$

4.3.1.1.2. Transporte de Material**Cantera Pecosani**

Distancia Media: 7.67 km

Unidad de transporte: Camión Volquete 15m³

Velocidad Cargado: 25 km/hr.



Velocidad Descargado: 35 km/hr.

Tiempo de Trabajo: 6.4hrx60min/hr. = 384 min

Ciclo de Trabajo: 36.17 min

Tiempo de carguío = 2.61 min

Tiempo de descarga = 2.00 min

Tiempo de recorrido cargado = $(7.67/25) * 60$; 18.408 min

Tiempo de recorrido descargado = $(7.67/35) * 60$; 13.149 min

Rendimiento Diario = $15m^3 * 384 \text{ min} / 36.17$
min=159m³/día

Cantera Samán

Distancia Media: 36.47 km

Unidad de transporte: Camión Volquete 15m³.

Velocidad Cargado: 25 km/hr.

Velocidad Descargado: 35 km/hr.

Tiempo de Trabajo: 6.4hrx60min/hr. = 384 min

Ciclo de Trabajo: 154.66 min

Tiempo de carguío = 2.61 min

Tiempo de descarga = 2.00 min

Tiempo de recorrido cargado = $(36.47/25) * 60$; 87.528 min.

Tiempo de recorrido descargado = $(36.47/35) * 60$; 62.52 min.

Rendimiento Diario = $15m^3 * 384 \text{ min} / 154.66$
min=38m³/día

4.3.1.2. Recursos

Tabla 4.3.5

Recursos Utilizados para la elaboración de presupuestos.

| Mano de obra | Unidad | Precio S/. |
|--------------------|--------|------------|
| capataz | hh | 28.10 |
| operario | hh | 23.93 |
| oficial | hh | 18.91 |
| peon | hh | 17.07 |
| operario topografo | hh | 25.50 |

Nota: Los costos de la mano de obra y materiales son basados al expediente técnico de la carretera Chapapampa – Jonsani.

Tabla 4.3.6

Materiales Utilizados para la elaboración de Presupuestos.

| MATERIALES | Unidad | Precio S/. |
|--|--------|------------|
| emulsión asfáltica | gal | 6.00 |
| emulsion otta seal | gal | 12.75 |
| viaje terrestre | vje | 400.00 |
| viaje terrestre de ida (en cama baja) | vje | 2100.00 |
| viaje terrestre de vuelta (en cama baja) | vje | 2100.00 |
| clavos para calamina | kg | 9.20 |
| gravilla | m3 | 36.00 |
| material granular para base | m3 | 14.38 |
| yeso bolsa 25 kg | bol | 14.00 |
| pintura esmalte | gal | 61.50 |
| pintura para tráfico standar | gal | 49.52 |
| microesferas de vidrio | kg | 3.26 |
| solvente de pintura de trafico | gal | 29.37 |
| wincha 155etálica de 50 m | und | 80.00 |

Tabla 4.3.7

Equipos para la elaboración de presupuesto

| EQUIPOS | Unidad | Precio |
|---|--------|--------|
| nivel topográfico | día | 150.00 |
| rodillo neumático | hm | 200.00 |
| rodillo tándem | hm | 200.00 |
| rodillo liso vibratorio autoprop.155h 13ton | hm | 200.50 |
| gravilladora | hm | 120.00 |
| rociador de pintura | hm | 45.00 |



| EQUIPOS | Unidad | Precio |
|---|--------|----------|
| cargador frontal | hm | 260.00 |
| excavadora | hm | 303.40 |
| retroexcavadora | hm | 150.00 |
| motoniveladora | hm | 190.00 |
| camión volquete | hm | 123.20 |
| camión cisterna (2,500 glns.) | hm | 130.00 |
| camión cisterna de emulsion | hm | 127.12 |
| camión baranda (4tn) | hm | 30.00 |
| camión imprimador 6x2 178-210 hp 1,800 gl | hm | 255.00 |
| compresora de aire | hm | 70.00 |
| termotanque | hm | 120.00 |
| instalación y desinstalación de zaranda | est | 2,500.00 |
| equipo autotransportado (volq/cist/etc) ida | und | 800.00 |

Fuente: Expediente técnico MPH (2022)

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 4.4.1

Comparación de resultados Cantera Pecosani

| Ensayos | CANTERA PECOSANI | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Sin mejorar | 8% Cemento | 7.6% CSS-1h |
| Limite liquido | 19.67 % | 22.64 % | 19.94 % |
| Limite plástico | 16.30 % | 16.57 % | 13.69 % |
| Índice plástico | 3.37 % | 6.07 % | 6.25 % |
| γ_d max. | 2.131 gr/cm ³ | 2.148 gr/cm ³ | 2.021 gr/cm ³ |
| UCS saturado | 0.000 kg/cm ² | 20.693 kg/cm ² | 10.466 kg/cm ² |
| Pérdida de peso | 100.00 % | 2.66 % | ---- |
| Perdida de estabilidad | 100.00 % | ---- | 53.42 % |
| Ensayos | Sin mejorar | 2% Cemento | 7.6% CSS-1h |
| CBR | 63.50 % | 165.00 % | 88.00 % |

La plasticidad del suelo con emulsión asfáltica incrementa más con emulsión asfáltica, la densidad máxima del suelo con cemento incrementa 0.80% y con emulsión asfáltica disminuye 5.16%. La resistencia compresión aumenta más con el uso del cemento de 0 kg/cm² a 20.693 kg/cm² siendo el valor casi doble, el CBR incrementa en suelos mejorados con cemento.

Tabla 4.4.2*Comparación de resultados Cantera Combinada*

| Ensayos | CANTERA COMBINADA | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Sin mejorar | 5.5% Cemento | 7.20% CSS-1h |
| Límite líquido | 18.53 % | 19.71 % | 18.54 % |
| Límite plástico | 15.65 % | 14.03 % | 14.40 % |
| Índice plástico | 2.88 % | 5.68 % | 4.14 % |
| Densidad máxima | 2.114 gr/cm ³ | 2.159 gr/cm ³ | 2.075 gr/cm ³ |
| UCS saturado | 0.000 kg/cm ² | 19.999 kg/cm ² | 17.495 kg/cm ² |
| Pérdida de peso | 100.00 % | 3.38 % | ---- |
| Perdida de estabilidad | 100.00 % | ---- | 32.95 % |
| CBR | 155.00 % | *** | *** |

La plasticidad del suelo con emulsión asfáltica incrementa más con cemento que la emulsión asfáltica, la densidad máxima del suelo con cemento incrementa 0.80% y con emulsión asfáltica disminuye 5.16%. La resistencia a la compresión aumenta más con el uso del cemento de 0 kg/cm² a 20.693 kg/cm², la resistencia con emulsión asfáltica aumenta de 0 kg/cm² a 17.495 kg/cm².

La plasticidad del suelo con emulsión asfáltica incrementa más con emulsión asfáltica, la densidad máxima del suelo con cemento incrementa 0.80% y con emulsión asfáltica disminuye 5.16%. La resistencia a la compresión aumenta más con el uso del cemento de 0 kg/cm² a 20.693 kg/cm² siendo el valor casi doble, el CBR incrementa en suelos mejorados con cemento.

La resistencia del suelo mejora al incrementar el porcentaje de cemento: La Cantera Pecosani aumenta su índice de plasticidad de 3.37% a 6.07% con un porcentaje de 8% de cemento, mejora su CBR de 63.50% a 165% con un 2% de cemento, mejora su resistencia al agua de humedecimiento y secado; es apto para conformar bases de pavimento en el tramo de Huancané -Cotapata-Huarisani. Para la muestra de la cantera Combinada al adicionar cemento aumenta el índice de plasticidad de 2.89% a 5.68% para



un porcentaje de 5.5% de cemento, mejora su CBR, mejora su resistencia al agua de humedecimiento y secado; es apto para conformar soluciones básicas y bases de pavimento en el tramo Huancane-Cotapata-Huarisani. Según (Castro Gonzales & Navarro Pereyra, 2020) caracteriza la Subrasante de la Av. Padre Salas, como un material CH de acuerdo a la clasificación SUCS o según AASHTO suelo A-7-6 (45) con un Límite líquido igual a 66.1%, Límite plástico 26.9% y un Índice de plasticidad de 36.9%, siendo la humedad natural del terreno 14.3%. Se clasifica como una subrasante inadecuada, la Expansión de la arcilla de alta plasticidad del suelo disminuye 7.18% al ser mejorada con cemento Portland. Además, el CBR con 10% de cemento mejora de 2.3% a 91.9%.

En cambio, si se emplea emulsión asfáltica CSS-1h para la Cantera Pecosani incrementa el Índice de plasticidad, Mejora su CBR de 63.5% a 88%, pierde estabilidad en el agua más del 50%; por lo tanto, no es apto para conformar las soluciones básicas en el tramo de Huancane-Cotapata-Huarisani. Si se emplea emulsiones asfálticas a la cantera Combinada mejora la cohesión del suelo, aumenta IP, mejora CBR, se reduce la pérdida de estabilidad a 30.54%; de acuerdo al manual EG2013 la Cantera Combinada es apto para conformar soluciones básicas en el tramo Huancane-Cotapata-Huarisani. (Castillo Alcazar, 2021) Para el Estudio la Cantera de Talamolle clasificada como GW con una abrasión de 10.20%, un equivalente arena 81.59% y una Cantera Combinada del río Tambo clasificada como SW-SM con una abrasión de 12.75%, un equivalente arena de 77.56%. Tomándose en cuenta que los materiales son no plásticos se busca mejorar la estabilidad en el agua. Para lo cual en la Cantera Talamolle al adicionarse 6% de emulsión asfáltica se incrementó el valor de CBR de 80.60% a 143% y para la cantera Río Tambo al adicionarse 6% de emulsión asfáltica se incrementa de 86.10% hasta 125.80%, cumpliéndose el mínimo requerido de 80% de CBR para base granular siendo el tráfico ligero y medio (<10%) referido al 100% de la MDS. Se evidencia que, si existe una mejora



de CBR en suelos que tienen un desgaste de los ángeles bajo de acuerdo a Castillo Alcazar, y el EG2013 que recomienda que el suelo tenga un desgaste los ángeles menores a 50%.

La Cantera Pecosani según SUCS se clasifica como un suelo SP-SM (arena mal graduada con limo y grava) y de acuerdo a AASHTO A-1-a(0), IP 3.37%, con un equivalente arena de 22% y el desgaste de los ángeles de 76%, CBR de 63.50%, no cumple las especificaciones técnicas por altitud como : gradación granulométrica, desgaste de los ángeles, equivalente arena , la briqueta compacta con una densidad máxima de 2131 kg/m³ y una humedad optima de 8.40% se desintegra por completo en el agua al sumergirse por 5 hrs, se considera no apto para conformar bases de pavimento por lo tanto se propone mejorar la resistencia a la acción del agua con cemento o emulsión asfáltica. La Cantera Combinada se clasifica como un suelo SW(arena bien graduada con grava) y de acuerdo a AASHTO A-1-a(0), con un equivalente de arena de 46%, IP 2.89%, CBR 155% y un desgaste de los ángeles de 49%, los valores que no se cumple con los criterios de altitud son: la gradación y el desgaste de los ángeles; la briqueta se compacta con una densidad máxima seca de 2114 kg/m³ y una humedad optima de 6.6% esta se desintegra por completo en el agua al sumergirse por 5 hrs; ante ello se propone mejorar su resistencia al agua con cemento o emulsión asfáltica.

Mejora la resistencia a compresión del suelo cemento de la muestra proveniente de la Cantera Pecosani 20.693 kg/cm² sometida a la acción del agua por 5hrs y luego es ensayada tal como propone el EG 2013 y el manual de ensayos de materiales del MTC para suelos estabilizados con cemento, se afirma que es apto para conformar bases de pavimento con 8.0% de cemento y un factor de seguridad de 15%. Mejora la resistencia a compresión del suelo cemento un valor de 19.999 kg/cm² del suelo SW proveniente de Cantera Combinada con 5.5% de cemento que es sometida a la acción del agua durante



5hras, finalmente se afirma apto para conformar bases de pavimento y soluciones básicas con un 5.70% de cemento y un factor de seguridad de resistencia de 15% de acuerdo al EG2013. Mejora la densidad de los suelos SP-SM y SW conforme se va incrementando el porcentaje de cemento. Mamani Laiza & Medina Cerna (2022), demuestra que la resistencia a compresión para el suelo arenoso de 18.98 kg/cm², mientras que para el suelo arcilloso llega a 47.32 kg/cm² se usó 6% de cemento para ambos casos, concluye que el cemento mejora la resistencia, aumenta la densidad, el porcentaje óptimo de adición de cemento Viaforte es de 2%, debido a que con este porcentaje se superan los parámetros exigidos por el MTC. Se evidencia que el cemento mejora positivamente la resistencia de suelos, tal como manifiesta en el EG2013.

Se mejora la resistencia del suelo a compresión al adicionarse emulsión asfáltica en la muestra proveniente de la cantera Pecosani (SP-SM) en su condición saturada y en la condición seca no existe mejoramiento, se evidencia que la pérdida de estabilidad supera el 50% lo cual no se cumple con las exigencias del EG2013 para suelos estabilizados con emulsión asfáltica; finalmente afirmamos que la mejora que se realiza con la emulsión asfáltica no es suficiente para conformar soluciones básicas y bases de pavimento. Existe mejora de resistencia a compresión de la Cantera Combinada (SW) conforme se va incrementando el porcentaje de emulsión asfáltica en condición seca mejora de 12.812 kg/cm² hasta 26.092 kg/cm² para 6.40% de CSS-1h, en condición saturada mejora hasta 17.495 kg/cm², se evidencia una pérdida de estabilidad mínima de 30.54% para 6.40% de emulsión asfáltica CSS-1h. Finalmente se puede afirmar que el suelo con emulsión disminuye su densidad seca máxima y aumenta su resistencia considerándose apto para conformar bases de pavimento de acuerdo a la norma EG2013. Galarreta Rodríguez & Llenque Quispe (2019), demuestra que la resistencia a compresión del suelo natural es de 1.64 kg/cm² se adiciona emulsión CRS 3% y se llega a una



resistencia de 2.13 kg/cm² en conclusión no es recomendable para suelos finos la emulsión CRS, mejora muy poco el CBR y resulta ser antieconómica. Zambrano Meza, Tejada Piusseaut, & Alonso Aaenlle (2019), Utilizo 02 canteras : Cantera San Jose con LL=44.9% un IP de 19.7% densidad seca de máxima 1.64 gr/cm³; Cantera Megarok LL 35.4% un IP 10.8% tiene una resistencia conservada de 11.8% y 12.6% el porcentaje de emulsión añadida es 5%, 7% y 9%. El desgaste de los angeles es 32% cantera San Jose y 19% cantera Megarock desarrolla un ensayo CBR en seco y Humedo. concluyéndose que con la incorporación de emulsión asfáltica de tipo catiónica ha mejorado significativamente la resistencia, lográndose elevadas resistencias en seco, aunque después de inmersión la resistencia decrece aproximadamente en un 40%. Sin embargo, con los tres porcentajes de emulsión utilizados en las pruebas se supera el 50% de resistencia conservada, mientras que el CBR no supera el 80% con ningún porcentaje de emulsión.

El costo de mejoramiento de suelos con el uso de emulsión asfáltica es de 2,767,564.69 soles para la Cantera combinada con un porcentaje de diseño de 6.40% de emulsión asfáltica, mientras que para la Cantera Pecosani no cumple las exigencias del MTC. En cambio, sí se utiliza 5.7% de cemento para conformar soluciones básicas con la Cantera Combinada el costo es de 2,163,059.22 soles para 12.54 km. La diferencia de costos de suelo cemento y suelo emulsión de la Cantera Combinada es de 604,505.47 soles. Para la Cantera Pecosani el porcentaje óptimo de cemento es de 8.0% cuyo monto es de 2,170,335.30 soles. Se evidencia como el mejoramiento más económico la Cantera Combinada con 5.7% de cemento a pesar de que se distancia media es mayor a la Cantera Pecosani. El costo de mejoramiento de suelos de una cantera con emulsión asfáltica es mucho más costoso que el costo de mejoramiento de suelos con cemento. De la Torre Illesca (2018), afirma que los suelos estabilizados con cemento portland en climas fríos



se contraen generando fisuras y grietas en la estructura del pavimento. las propuestas en cuanto al costo una base integral es de 26 315, 192.56 soles, mientras que un material tipo base estabilizada con cemento es de 28 670,040.85 soles y la propuesta de una base o solucion basica estabilizada con emulsion asfaltica es de 29 931,961.26 soles. En terminos porcentuales la propuesrta N°2 y N°3 son 8.95% y 13.74% mas costosas que la propuesta 1. Se evidencia que los costos para estabilizar con emulsion asfaltica son mayores que los de cemento. Gustavo rivera en su libro de reciclaje con emulsiones asfalticas menciona que es una buena opcion para suelos granulares que tengan un desgaste menor a 50%, su costo es mayor a lo que se estabiliza con cemento.



V. CONCLUSIONES

- La resistencia del suelo mejora al incrementarse el porcentaje de cemento a la muestra proveniente de la Cantera Pecosani y Combinada incrementa 42.11%, 27.47% respectivamente además mejora su resistencia al humedecimiento y secado se considera apto para conformar soluciones básicas. En cambio, sí se emplea emulsión asfáltica CSS-1h para la Cantera Pecosani mejora su resistencia 44.22%, sin embargo, pierde estabilidad más del 50%; no se considera apto para conformar bases de pavimento y soluciones básicas. Si se emplea emulsiones asfálticas a la cantera Combinada mejora la resistencia 97.27% pérdida de estabilidad a 30.54%.
- La Cantera Pecosani se clasifica como un suelo SP-SM (arena mal graduada con limo y grava), IP 3.37%, con una equivalente arena de 22% y el desgaste de los ángeles de 76%, CBR de 63.50%, no cumple las especificaciones técnicas se propone mejorar la resistencia a la acción del agua con cemento o emulsión asfáltica. La Cantera Combinada se clasifica como un suelo SW (arena bien graduada con grava) con un equivalente de arena de 46%, IP 2.89%, CBR 155% y un desgaste de los ángeles de 49%, no cumple los criterios de altitud por la gradación y el desgaste de los ángeles por lo tanto se propone mejorar su resistencia al agua con cemento o emulsión asfáltica.
- Se mejora la resistencia del suelo con emulsión asfáltica de la cantera Pecosani (SP-SM) incrementa 44.22% en su condición saturada y en la condición seca no existe mejoramiento de acuerdo a la prueba estadística, se evidencia que la pérdida de estabilidad supera el 50%, finalmente afirmamos que la mejora que se realiza con la emulsión asfáltica no es suficiente para conformar soluciones básicas. Existe mejora de resistencia 97.27% de la Cantera Combinada (SW) conforme se va incrementando



el porcentaje de emulsión asfáltica en condición seca mejora de 12.812 kg/cm² hasta 26.092 kg/cm² para 6.40% de CSS-1h, en condición saturada mejora hasta 17.495 kg/cm², se evidencia que disminuye su densidad seca máxima y aumenta su resistencia para conformar soluciones básicas.

- Mejora la resistencia a compresión del suelo cemento de la muestra proveniente de la Cantera Pecosani 20.693 kg/cm² con 8.0% de cemento que representa 268.28% respecto a su resistencia inicial y un factor de seguridad de 15% adicionada a la resistencia de 18 kg/cm², Mejora la resistencia del suelo cemento 178.89% con un valor de 19.999 kg/cm² para la Cantera Combinada con 5.5% de cemento. Además, se mejora la densidad de los suelos SP-SM y SW conforme se va incrementando el porcentaje de cemento.
- El costo de mejoramiento de suelos con el uso de emulsión asfáltica es de 2,767,564.69 soles para la Cantera combinada incrementa 11.11% respecto a la cantera Pecosani, en cambio para la Cantera Pecosani con emulsión asfáltica no cumple las exigencias del MTC. El costo de 2,170,335.30 soles corresponde a 8% de cemento implica que el costo incrementa 42.11%. Sí se mejora el suelo con el uso del cemento con el material proveniente de la Cantera Combinada su costo sería el más económico 2,163,059.22 soles con 5.7% de cemento, sin embargo, representa 63.10% de incremento.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las mejoras de resistencia con suelo cemento o emulsión asfáltica no solo a nivel de la subrasante como se realiza en la gran mayoría de casos, si no también otras estructuras que tengan un aporte estructural al pavimento con materiales de cantera, suelos combinados o suelos de fundación.
- Se recomienda caracterizar adecuadamente las propiedades geotécnicas de la muestra a estudiar, para dar una propuesta de solución idónea con un determinado estabilizante tomando en cuenta los criterios geotécnicos por altitud como el clima, drenaje (si es inundable) y al tráfico que va estar expuesta la vía en nuestra región.
- Se recomienda analizar más investigaciones al suelo cemento tomando en cuenta la acción del agua (humedecimiento y secado), las heladas, la resistencia a compresión propone una resistencia mínima de 18 kg/cm²(considero que es para carreteras de primera clase, vías de alto tránsito) en condición saturada tiene un comportamiento rígido. Para carreteras no pavimentadas se puede diseñar a un 50% o 25% de su resistencia para que tenga un comportamiento semirrígido.
- Se recomienda mejorar suelos granulares con emulsión asfáltica que tengan una abrasión menor a 50%, su función es unir partículas, no se recomienda en suelos finos debido a que tienen mayor superficie específica absorben mayor asfalto, La resistencia conservada debe ser mayor al 75% como lo establece INVIAS, El manual del MTC es más flexible considera a partir del 50%. Ejemplo la cantera combinada durante la compactación se evidencia en la briqueta manchas de roca molida al sumergirse en agua por 5 hrs quedan vacíos y poros (perdida de material), no recomiendo su aplicación.



VII. REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). *Guia AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos 1993*. Washington: ISBN 1-56051-055-2.
- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima-Peru: San Marcos.
- Alayo Delva, F. B. (2016). *Aplicacion del Aditivo Quimico Conaid Para Atenuar la Plasticidad del Material granular del Tramo de la Carretera Tauca-Bambas(km 73+514-km 132+537) de la ruta nacional PE-3NA*. Trujillo,Peru: Universidad Privada Antenor Orrego-UPAO.
- B. Peck, R., E. Hanson, W., & H. Thornburn, T. (1983). *Ingenieria de Cimentaciones*. Mexico: Limusa S.A.
- Bonifacio Vergara, W. M., & Sanchez Bernilla, J. A. (2015). *Estabilizacion Quimica en Carreteras no Pavimentadas Usando Cloruro de Magnesio,Cloruro de Calcio y Cemento en la Region Lambayeque*. Pimentel,Peru: Universidad de Señor de Sipan.
- Braja M. Das, D. E. (2015). *Fundamentos de la Ingenieria Geotecnica*. Mexico: Thompson Editores S.A.
- Caparo Chavez, E. F., & Escalante Otazu, L. M. (2015). *Estabilizacion de Suelos con Emulsion Asfaltica Insitu en la Av.Prolongacion Andres Avelino Caceres,Analisis Comparativo*. Arequipa,Peru: Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa.
- Castillo Alcazar, A. S. (2021). *Comportamiento Fisico-Mecanico de base estabilizada con emulsion asfaltica de las canteras Rio Tambo y Talamolle de la Provincia General Sanchez Cerro - Moquegua*. Arequipa - Peru: Universidad Catolica de Santa Maria.
- Castro Gonzales, M. A., & Navarro Pereyra, G. A. (2020). *Propuesta de mejora de suelos arcillosos de lata plasticidad a nivel de subrasante mediante la adicion de cemento Portland para disminuir el cambio volumetrico provocado por las condiciones climaticas en la Av.Padre Salas, Villa Rica , Oxapampa,Pasco*. Lima: Univercidad Peruana de Ciencias Aplicadas.



- Condori Quispe, R. A. (2022). *Correccion del indice de rugosidad de la superficie de rodadura del tramo vial Imata - Patahuasi mediante la colocacion del Slurry Seal , progresiva del km 124 al 130*. Puno: Repositorio Universidad Nacional del Altiplano.
- Cordova Zamora, M. (2006). *Estadistica Inferencial*. Lima-Peru: MOSHERA S.R.L.
- Cuadros Surichaqui, C. M. (2017). *Mejoramamiento de las Propiedades Fisico-Mecanicas de la Subrasante en una Via Afirmada de la Red Vial Departamental de la Region Junin Mediante la Estabilizacion Quimica con Oxido de Calcio*. Huancayo, Peru: Universidad Peruana los Andes.
- de la Fuente Lavalle, E. (1991). *Suelo Cemento Usos Propiedades y aplicaciones*. Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.
- De la Torre Illesca, M. J. (2018). *Evaluacion del diseño de pavimentos estabilizados con emulsion asfaltica y cemento portland para el proyecto de conservacion vial Puno-Tacna tramo Tarata-Capazo-Mazocruz*. Lima-Peru: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Doroteo Cid, C. (2014). *Mejoramamiento de Suelos por Sustitucion de Material*. Puebla: Benemerita Universidad Autonoma de Puebla.
- Escalante Zegarra, J. (20 de Mayo de 2020). *Webinar TDM (Estabilizacion de Suelos con Emulsion Asfaltica)*. Obtenido de TDM Asfaltos S.A.C: https://www.youtube.com/watch?v=_gSz-hifLJQ
- Galarreta Rodriguez, W. A., & Llenque Quispe, S. D. (2019). *Influencia de la Adicion de Emulsion Asfaltica en la Estabilidad de los Suelos del Centro Poblado de Vuilla Hermosa en el Distrito la Esperanza*. Trujillo,Peru: Universidad Nacional de Trujillo.
- Gustavo Rivera, E. (1997). *Reciclado de Pavimentos en Frio*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V.
- Gustavo Rivera, E. (1998). *Emulsiones Asfalticas*. Mexico: Alfaomega.
- Hernandez Sampieri, R. (2019). *METOTOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Mexico: Mc Graw Hill/Interamerica Editores.



- IECA, ANCADDE, & ANTER. (2008). *Manual de Estabilizacion de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- INVIAS. (2007). *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogota-Colombia: Instituto Nacional de Vias sobre la Infraestructura Carretera Nacional.
- John Huffman, Brown, Salinas Cansas. (1986). *Manual Basico de Emulsiones Asfálticas(Manual Serie N°19.)*. USA: Instituto del Asfalto.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2013). *Guia Para el Diseño de Materiales Granulares Estabilizados Con Emulsion y Ensayos de Control de Calidad*. San Jose-Costa Rica: LanmmeUCR.
- Mamani Laiza, S. R., & Medina Cerna, C. S. (2022). *Influencia de la Adicion de Cemento Viaforte en la Estabilizacion de Suelos Arenosos y Arcillosos para uso en vias de Bajo Volumen de Transito en Campiña la Merced,Trujillo y Huarhuarpamba,Cajabamba*. Trujillo,Peru: Universidad Nacional de Trujillo.
- MEF. (2015). *Pautas metodologicas para el desarrollo de alternativas de pavimento en la formulacion y evaluacion social de proyectos de inversion publica de carretera*. Lince-Lima: Direccion General de Inversion Publica.
- Minaya Gonzales, Silene; Ordoñez Huaman,Abel. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: Instituto de la Construccion y Gerencia.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de Pávimentos para Carreteras*. Bogota: Universidad Catolica de colombia.
- MTC . (2013). *Especificaciones Tecnicas Generales para la Construccion*. LIMA: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras Seccion De Suelos y Pavimentos*. Lima: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles.
- MTC. (2015). *Documento Tecnico Soluciones Basicas en Carreteras no Pavimentas*. Lima: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles.



- MTC. (2018). *Manual de Carreteras : Diseño Geometrico*. Lima: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles.
- Sanchez Nuñez, J. E., & Shoji Hirano, N. P. (2020). *Propuesta de Solucion de Estabilizacion en un Pavimento Sustituyendo la Capa Granular Espumada por una Emulsionada para Condiciones Criticas en el Proyecto de Conservacion Vial Puno-Tacna, Tramo Tarata-Capazo*. Lima, Peru: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Suxe Carrasco, R. (2018). *Aplicacion de Emulsion Asfaltica Para Estabilizar el Afirmado de la Carretera de Bagua Grande -Buena Vista,Region Amazonas*. Chiclayo,Peru: Universidad Cesar Vallejo.
- Talavera Rodriguez, R., Castaño Meneses, V. M., & Martinez Madrid, M. (2001). *Emulsiones Asfalticas*. Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte.
- UCR-PITRA, L. (2013). *Guia Para el Diseño de Materiales Granulares Estabilizados con Emulsion*. San Jose,Costa Rica: Laboratorio de Infraestructura Lanamme UCR.
- Vivar Romero, G. (1994). *Diseño y construccion de Pavimentos*. Lima - Peru: Consejo Departamental de Lima.
- Zambrano Meza, M. I., Tejeda Piusseaut, E., & Alonso Aaenlle, A. (2019). Materiales granulares tratados con Emulsion Asfaltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Arquitectura e Ingenieria*, 14.



ANEXOS

- **ANEXO 1:** Constancia de ensayos de laboratorio
- **ANEXO 2:** Ficha técnica del cemento
- **ANEXO 3:** Ficha técnica de la emulsión asfáltica
- **ANEXO 4:** Análisis granulométrico
- **ANEXO 5:** Límites de consistencia
- **ANEXO 6:** Proctor modificado
- **ANEXO 7:** CBR
- **ANEXO 8:** Equivalente arena
- **ANEXO 9:** Desgaste de los ángeles
- **ANEXO 10:** Compresión simple
- **ANEXO 11:** Humedecimiento y secado
- **ANEXO 12:** Diseño suelo cemento
- **ANEXO 13:** Presupuestos



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Javier Samuel Córdori Mamani
identificado con DNI 75853385 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Escuela profesional de Ingeniería civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Mejoramiento de la resistencia del suelo con emulsión Asfáltica
y cemento para la conformación de solución básica, Tramo
Huanacané - cotapata - Huarisani, 2023 "

Es un tema original.

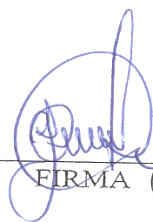
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, 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 04 de junio del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Javier Samuel Condori Mamani
Identificado con DNI 75853385 en mi condición de egresado de:

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

Escuela profesional de Ingeniería civil
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Mejoramiento de la resistencia del suelo con emulsión asfáltica y cemento para la conformación de solución básica, Tramo - Huancané - Cotapata - Hoarisani, 2023"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

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 existan necesarios para promover su difusión.

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

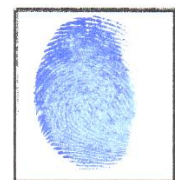
Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 04 de Junio del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella