

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO
PORTLAND Y EMULSION ASFALTICA EN BASES GRANULARES**

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

PRESENTADA POR:

**Bach. ALIAGA REZZA, FREDY RICHARD
Bach. SORIANO OCHOA, CARLOS ENRIQUE**

ASESOR: M. SC. ING. HUAMAN GUERRERO, NESTOR

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por apoyarme y brindarme un gran soporte emocional durante la presente investigación y a todos los que me apoyaron para concluir la tesis.

Aliaga Rezza, Fredy Richard

Para mi madre, por su amistad, sacrificio y coraje, porque hizo de mi un buen hombre, a quien le debo eternamente mi cariño, admiración y respeto.

Soriano Ochoa, Carlos Enrique

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a nuestro asesor de tesis, M. Sc. Ing. Huamán Guerrero, Néstor por su apoyo profesional, por el tiempo brindado a este proyecto de investigación.

A nuestro metodólogo, Dr. Ing. Valencia Gutiérrez, Andrés Avelino por orientarnos durante el proceso de la presente investigación.

Un agradecimiento especial al Ing. Estrada Oblea, Sergio por su apoyo incondicional, al Jefe de Planta Vera Pulido, Jesús y al Ing. Lazo Lazo, Diego por el tiempo y apoyo brindado en campo, para el presente proyecto de investigación.

Aliaga Rezza, Fredy R. – Soriano Ochoa, Carlos E

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1 Descripción de la realidad de la problemática	4
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema principal.....	5
1.2.2 Problemas secundarios.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1 Objetivo Principal	6
1.3.2 Objetivos Secundarios	6
1.4 Justificación e importancia de la investigación.....	7
1.4.1 Conveniencia.....	7
1.4.2 Relevancia social	7
1.4.3 Implicancia practica	7
1.5 Limitaciones de la investigación.....	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes de la investigación	9
2.1.1 En el ámbito Internacional	9
2.1.2 En el ámbito Nacional.....	11
2.2 Bases teóricas.....	14
2.2.1 Conceptos básicos sobre pavimentos	14
2.2.1.1 Evaluación del Pavimento.....	14
2.2.1.2 Tipos de pavimentos	15
2.2.2 Estabilización de la Base con Emulsión Asfáltica	19
2.2.2.1 Definición de las Emulsiones Asfálticas.....	19
2.2.2.2 Composición de las Emulsiones Asfálticas	20
2.2.2.3 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.....	24
2.2.2.4 Fabricación de las Emulsiones	29
2.2.2.5 Almacenamiento de las Emulsiones	30
2.2.3 Estabilización de la Base con Cemento Portland.....	33
2.2.3.1 Definición de Cemento Portland.....	33

2.2.3.2	Composición y constitución del cemento Portland.....	34
2.2.3.3	Reacciones de los componentes del cemento con el agua	38
2.2.3.4	Definición del Suelo - Cemento.....	40
2.2.3.5	Componentes del Suelo - Cemento.....	41
2.2.3.6	Química de la estabilización con Cemento Portland.....	42
2.2.3.7	Tipo de Estabilización con Cemento	44
2.2.3.8	Obtención del suelo cemento portland.....	45
2.3	Definiciones conceptuales	46
2.4	Estructura teórica y científica que sustenta la investigación.....	49
2.5	Formulación de hipótesis	49
2.5.1	Hipótesis general.....	49
2.5.2	Hipótesis específicas.....	49
2.5.3	Variables	50
2.5.3.1	Definición Conceptual de las Variables.....	50
2.5.3.2	Operacionalización de las Variables	51
CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....		52
3.1	Tipo y nivel.....	52
3.2	Diseño de investigación	52
3.3	Población y muestra.....	53
3.4	Técnicas de recolección de datos.....	53
3.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos	53
3.4.2	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	54
CAPITULO IV: ESTUDIO DE MATERIAL EN CANTERA		55
4.1	Estudio de la cantera	55
4.1.1	Generalidades.....	55
4.1.2	Especificaciones técnicas.....	56
4.2	Estudio del Suelo	61
4.2.1	Base Granular.....	61
4.2.2	Sub Base Granular	62
4.2.3	Sub Rasante.....	63
4.2.4	Contenido de Humedad.....	63
4.2.5	Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422, MTC 107)	65
4.2.6	Limite Liquido (ASTM D-4318, MTC E-110).....	66
4.2.7	Limite Plástico (ASTM D-4318, MTC E-111).....	67
4.2.8	Índice de Plasticidad	67

4.2.9	Equivalente de Arena (ASTM D-2419, AASHTO T-176, MTC E-114).....	69
4.2.10	Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (AASHTO T 85, ASTM C217)	70

CAPITULO V: ENSAYOS DE LABORATORIO 71

5.1	Ensayo Próctor Modificado	71
5.1.1	Objetivo	71
5.1.2	Equipos	71
5.1.3	Procedimiento	73
5.1.4	Cálculo	79
5.1.5	Ensayo de compactación de suelos Próctor Modificado Suelo – Cemento Portland.....	80
5.1.6	Ensayo de compactación de suelos Próctor Modificado Suelo – Emulsión Asfáltica.....	85
5.1.6.1	Cálculo del Contenido tentativo de Emulsión.....	85
5.1.6.2	Cálculo del contenido óptimo de emulsión.....	88
5.2	Ensayo California Bearing Ratio (CBR ASTM 1883).....	92
5.2.1	Objetivos	92
5.2.2	Procedimiento	93
5.2.3	Ensayo CBR de suelo – Cemento Portland.....	95
5.2.4	Ensayo CBR de suelo – Emulsión Asfáltica.....	97

CAPITULO VI DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO..... 101

6.1	Métodos de diseño	101
6.2	Método AASHTO 1993.....	101
6.2.1	Ecuación de diseño estructural del pavimento	104
6.2.2	Variables para el diseño	104
6.2.2.1	Periodo de diseño.....	105
6.2.2.2	Parámetro de transito W18.....	105
6.2.2.3	Módulo de Resilencia MR	105
6.2.2.4	Confiabilidad (%R).....	106
6.2.2.5	Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r)	107
6.2.2.6	Desviación estándar combinada (S_o).....	108
6.2.2.7	Índice de Serviciabilidad presente (PSI).....	109
6.2.2.8	Serviciabilidad inicial (P_i)	109
6.2.2.9	Serviciabilidad final o terminal (P_t).....	110
6.2.2.10	Variación de serviciabilidad (ΔPSI).....	111
6.2.2.11	Numero estructural requerido (SNR).....	112
6.2.3	Datos y Cálculos del Método de diseño AASHTO 1993.....	112

6.3	Método de diseño NAASRA – AUSTROADS.....	119
6.3.1	Cálculo del método NAASRA.....	119
CAPITULO VII ANALISIS DE COSTOS.....		120
7.1	Objetivos.....	120
7.2	Antecedentes.....	120
7.3	Generalidades.....	120
7.4	Procedimiento.....	122
7.4.1	Análisis de costos unitarios.....	122
7.4.2	Presupuesto.....	127
7.5	Análisis Comparativo.....	131
CAPITULO VIII PRESENTACION DE RESULTADOS.....		132
8.1	Resultados de la investigación.....	132
8.1.1	Resultados de los ensayos a la Base Granular.....	132
8.1.2	Resultados de los ensayos al Agregado Grueso de la Base Granular.....	132
8.1.3	Resultado de los Ensayos al Agregado Fino.....	133
8.1.4	Resultados de los ensayos con los estabilizadores en la base granular.....	133
8.2	Análisis e interpretación de los resultados.....	135
8.3	Contrastación de Hipótesis.....	136
CONCLUSIONES.....		142
RECOMENDACIONES.....		145
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		147
ANEXOS.....		150
ANEXO 1: Matriz de Consistencia.....		151
ANEXO 2: Matriz de Operacionalización de Variables.....		152
ANEXO 3: Cotización de la Emulsión Asfáltica.....		153
ANEXO 4: Ficha Técnica de la Emulsión Asfáltica.....		154
ANEXO 5: Ficha Técnica del Cemento Portland.....		155
ANEXO 6: Certificado de Calibración del Horno Eléctrico.....		157
ANEXO 7: Certificado de Calibración de la Balanza.....		161
ANEXO 8: Ensayo de Equivalente de Arena de la Base.....		164
ANEXO 9: Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de los Agregados de la base.....		165
ANEXO 10: Ensayo de Limite de Consistencia de la base.....		166

ANEXO 11: Ensayo de Contenido de Humedad Natural de la base	167
ANEXO 12: Ensayo del Análisis Granulométrico de la base	168
ANEXO 13: Ensayo de Próctor Modificado y CBR del material Natural.....	169
ANEXO 14: Ensayo de Proctor Modificado y CBR suelo – Emulsión Asfáltica.....	172
ANEXO 15: Ensayo de Próctor Modificado y CBR suelo – Cemento Portland	175
ANEXO 16: Presupuesto General del Programa de Titulación 2019	178

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Emulsiones asfálticas y su aplicación en diferentes países.....	10
Tabla 2: Uso principales de las Emulsiones.....	11
Tabla 3: Ejecutadas con emulsiones asfálticas	13
Tabla 4: Requerimiento de Emulsión asfáltica Catiónica	23
Tabla 5: Composición de las Emulsiones Asfálticas	24
Tabla 6: Nomenclatura para la clasificación de las Emulsiones	26
Tabla 7: Tipo de emulsión asfáltica característica y aplicación.....	29
Tabla 8: Cuadro Comparativo de los Materiales Asfálticos	32
Tabla 9: Minerales que componen el Cemento.....	35
Tabla 10: Constitución mineral.....	38
Tabla 11: Operacionalización de Variables	51
Tabla 12: Requerimientos Granulométricos para Base y Sub-Base Granular	56
Tabla 13: Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular (*)	61
Tabla 14: Valor Relativo de Soporte, CBR en Sub-Base Granular (*).....	62
Tabla 15: Requerimientos de Ensayos Especiales	62
Tabla 16: Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo.....	70
Tabla 17: Elección del método a usar en el ensayo	75
Tabla 18: Porcentaje en cemento según la clasificación del suelo.....	81
Tabla 19: Rango típico cemento según clasificación de suelo.....	81
Tabla 20: Granulometría del material a estabilizar	86
Tabla 21: Contenido de Emulsión.....	88
Tabla 22: Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el carril de diseño	103
Tabla 23: Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2tn, en el carril de diseño	103
Tabla 24: Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2tn, en el carril de diseño	104
Tabla 25: Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño.....	107
Tabla 26: Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Zr)	108
Tabla 27: Índice de serviciabilidad inicial (Pi) según rango de tráfico.....	109
Tabla 28: Índice de serviciabilidad final (Pt) según rango de tráfico	110
Tabla 29: Diferencial de serviciabilidad (Δ PSI) según rango de tráfico.....	111
Tabla 30: Resultados y parámetros obtenidos.....	112
Tabla 31: Resultados de Numero estructural según fórmula de base granular	112
Tabla 32: Datos de CBR	113
Tabla 33: Resultados de Modulo Resiliente	113
Tabla 34: Valores de Coeficiente estructurales.....	114

Tabla 35: Valores recomendados de coeficientes de drenaje para la bases y sub base.....	114
Tabla 36: Coeficientes de drenaje.....	114
Tabla 37: Dimensiones de la Bases Granulares	115
Tabla 38: Verificaciones de dimensiones de la base.....	115
Tabla 39: Dimensiones de las bases.....	116
Tabla 40: Numero estructural para la base granular	116
Tabla 41: Parámetros y cálculos de diseño estructural	116
Tabla 42: Resultados de los SN calculado para cada caso.....	118
Tabla 43: Cuadro de resumen y valores finales de espesores	118
Tabla 44: Resultado del espesor de la capa de afirmado	119
Tabla 45: Resultados de Ensayos realizados a la Base Granular	132
Tabla 46: Pesos Específicos de la Base Granular	133
Tabla 47: Resultados de Ensayos realizados al Agregado Fino de la Base Granular	133
Tabla 48: Resultado de Ensayo realizado a la mezcla Suelo-Cemento y Suelo-Emulsión.....	134
Tabla 49: Presupuesto del programa de titulación 2019	178

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección típica del pavimento.....	16
Figura 2: Diagrama de esfuerzos en pavimentos	16
Figura 3: Sección típica del pavimento flexible.....	17
Figura 4: Representación esquemática de una emulsión aniónica y catiónica.....	25
Figura 5: Ruptura de una Emulsión Asfáltica.....	27
Figura 6: Diagrama de una emulsión	28
Figura 7: Diagrama de una planta de Elaboración de Emulsión Asfáltica.....	30
Figura 8: Principales componentes minerales del Clinker.....	36
Figura 9: Silicato Tricálcico – Silicato Dicálcico	37
Figura 10: Aluminato Tricálcico - Ferrita Aluminato Tetra cálcico	38
Figura 11: Ubicación de la cantera	55
Figura 12: Selección de Material Apropriado	57
Figura 13: Agregados de la cantera.....	58
Figura 14: Agregados de la cantera.....	58
Figura 15: Tipo de agregado: Afirmado	59
Figura 16: Tipo de Agregado: Piedra Chancada.....	60
Figura 17: Tipo de Afirmado: Arena Fina	60
Figura 18: Balanza	64
Figura 19: Horno Secador para las muestras.....	64
Figura 20: Tamiz Granulométrico.....	66
Figura 21: Esquema de Aparato de Casagrande	67
Figura 22: Carta de Plasticidad de Casagrande.....	68
Figura 23: Determinación del Equivalente de Arena.....	69
Figura 24: Molde para Próctor modificado.....	71
Figura 25: Pistón o martillo modificado	72
Figura 26: Herramientas para elaboración de los ensayos	73
Figura 27: Tamizado de la muestra.....	73
Figura 28: Tamizado de la muestra.....	74
Figura 29: Suelo tamizado	74
Figura 30: Muestra de los especímenes	76
Figura 31: Curvas de compactación Próctor Modificado	79
Figura 32: Muestra de cemento al 5%	82
Figura 33: Muestra de afirmado y cemento	82
Figura 34: Mezcla de cemento, afirmado y agua	83

Figura 35: Proceso de compactación de ensayo Próctor modificado.....	83
Figura 36: Proceso de compactación de ensayo Próctor modificado.....	84
Figura 37: Peso de molde con muestra para ensayo próctor modificado.....	84
Figura 38: Emulsión Asfáltica al 3%	89
Figura 39: Emulsión Asfáltica al 5%	89
Figura 40: Emulsión Asfáltica al 7%	90
Figura 41: Muestra de suelo – Emulsión	90
Figura 42: Muestra Suelo – Emulsión.....	91
Figura 43: Muestra Suelo – Emulsión.....	91
Figura 44: Mezclas Suelo – Emulsión	92
Figura 45: Compactación de CBR de muestra con cemento.....	96
Figura 46: Moldes de CBR de muestra con cemento en saturación	97
Figura 47: Preparación de los moldes para el CBR	98
Figura 48: Moldes para el CBR de la mezcla Suelo - Emulsión en saturación.....	98
Figura 49: Ensayo de CBR Suelo – Emulsión	99
Figura 50: Realizando el ensayo del CBR	100
Figura 51: Costos según el diseño AASHTO	129
Figura 52: Costos según el diseño NAASRA	130
Figura 53: Comparación grafica de la MDS entre las bases estabilizadas y una sin estabilizar	134
Figura 54: Resumen de CBR de las diferentes mezclas con 0.1" de penetración	135

RESUMEN

La presente tesis realizó el análisis del desempeño de las estabilizaciones con cemento portland y emulsión asfáltica en una base granular a fin de comparar el comportamiento de cada uno a través de ensayos de laboratorio. Para esta investigación se utilizó el material de cantera SEOING E.I.R.L. como agregado para nuestros ensayos.

Como parte del análisis se realizaron ensayos de laboratorios sobre el material de cantera con estabilizadores. Los valores de las características físicas del material ensayado, en su integridad fueron determinados en el laboratorio JCH S.A.C.

Utilizamos los resultados de cantera y otros valores teóricos para desarrollar el diseño estructural del pavimento usando el método ASSHTO 1993 y el método NAASRA, también conocido como el método AUSTRROADS para un pavimento flexible de bajo volumen de tráfico, y poder definir las dimensiones en los espesores del pavimento, para posteriormente analizar los costos unitarios.

Esta comparación e interpretación final se hizo entre el material sin estabilizadores y con cada estabilizador, con el propósito de medir el cambio en los resultados para cada caso.

Finalmente, al haber realizado la comparación, concluimos que la estabilización que presenta mejores resultados según los ensayos de laboratorio, es el cemento portland. Esto nos lleva a recomendar, optimizar los porcentajes en la dosificación de cada estabilizador, con la finalidad de reducir sus cantidades y, por ende, reducir costos de material.

Palabras Clave: Estabilizaciones en pavimentos, Cemento portland, Emulsión asfáltica, Método ASSHTO 1993, Método NAASRA

ABSTRACT

The present thesis carried out the performance analysis of the stabilizations with portland cement and asphalt emulsion on a granular base in order to compare the behavior of each one through laboratory tests. For this investigation used the quarry material SEOING E.I.R.L. As aggregate for our essays.

As part of the analysis, laboratory tests were carried out on the quarry material with stabilizers. The values of the physical characteristics of the material tested, in their entirety were determined in the laboratory JCH S.A.C.

We use the quarry results and other theoretical values to develop the structural design of the pavement using the ASSHTO 1993 method and the NAASRA method, also known as the AUSTROADS method for a flexible pavement of low traffic volume, and to be able to define the dimensions in the thicknesses of the pavement, to later analyze the unit costs.

This comparison and final interpretation was made between the material without stabilizers and with each stabilizer, in order to measure the change in the results for each case.

Finally, having made the comparison, we conclude that the stabilization that presents the best results according to laboratory tests is portland cement. This leads us to recommend, optimize the percentages in the dosage of each stabilizer, in order to reduce their quantities and, therefore, reduce material costs.

Keywords: Pavement stabilization, Portland cement, Asphalt emulsion, ASSHTO 1993 method, NAASRA method

INTRODUCCIÓN

Este trabajo está motivado por el problema de la comunicación vial, en el ámbito de pavimentos; desarrollar soluciones viales y aportar información con respecto a la utilización de estabilizadores en bases granulares.

Para ello, nos apoyamos en información validada de las características del material seleccionado en cantera, además de los ensayos realizados en laboratorio como aporte para esta investigación, basándonos en información pasada y relacionada al tema en estudio.

En este trabajo presentamos dos propuestas de estabilización a una base granular, la cual alcanza mejorar las condiciones naturales del material, basado en los resultados de laboratorio que nos ayuden a visualizar y comprender el sentido de estas propuestas.

Nuestro problema de investigación es consecuencia de la falta de desarrollo vial, la que se ve reflejada en la realidad de nuestro país. A lo largo de nuestra investigación, comprobamos que hay escasa información didáctica para el tema de estabilización en bases granulares de pavimentos.

Por lo tanto, proponemos la elaboración de un análisis comparativo, diseñando estructuralmente el pavimento sin carpeta asfáltica, estabilizando las bases granulares para mejorar su estabilidad y comparando los costos del proceso que corresponde a dicha estabilización. De esta manera aportamos información que mejore el aprendizaje de los profesionales encargados en investigar temas relacionados a estabilizaciones y que, a partir de ello, puedan alcanzar mejores avances y soluciones.

La validez y confiabilidad de nuestro análisis comparativo, se da en el transcurso de los métodos de diseño estructural, la correcta elaboración de los ensayos y los cálculos necesarios.

En el Capítulo I se realizó el planteamiento de problema, reconociendo la problemática vial que se tiene la ciudad de Lima, la formulación del problema, objetivos, importancia y las limitaciones de la investigación.

El Capítulo II comprende el marco teórico, establece los antecedentes de la investigación, bases teóricas, definiciones conceptuales y la formulación de hipótesis.

El Capítulo III está conformado por el diseño metodológico, en el que se encuentra el tipo, nivel, población, muestra y técnicas de la investigación.

En el Capítulo IV se desarrolla el estudio de material en cantera, detallando las partes del pavimento como: base granular, subbase granular y subrasante; además de sus propiedades físico químicas como: contenido de humedad, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, equivalente de arena, peso específico y absorción de agregado grueso.

En el Capítulo V veremos los ensayos de laboratorio: próctor modificado y CBR, sin aplicar estabilizadores al material natural, así como con la aplicación del cemento portland y emulsión asfáltica al material natural.

En el Capítulo VI se desarrolló el diseño estructural utilizando el método ASSHTO 1993 y el método NAASRA, también conocido como AUSTROADS, para la base sin estabilizadores y con cada estabilizador.

En el Capítulo VII se analizó los costos unitarios de la base granular sin estabilizadores y aplicando los estabilizadores, con los métodos de diseño estructural anteriormente mencionados y se detalló en un presupuesto final para cada km de carretera.

En el Capítulo VIII se presentan los resultados de la investigación, el análisis e interpretación de resultados y contrastación de hipótesis.

Finalmente, se describen las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas, así como los anexos que contienen las matrices de investigación, fichas técnicas, certificados de calibración de los equipos utilizados, resultados de ensayos de laboratorio, entre otros.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad de la problemática

Actualmente en el Perú, en la ciudad de Lima, el efecto del crecimiento poblacional, ha traído como consecuencia, el que las personas vivan en lugares cada vez más alejados; las cuales tienen como único acceso, caminos constituidos por suelo natural, el cual posee la composición granulométrica y la plasticidad, así como el grado de humedad necesario para que, una vez apisonado, presente las características de resistencia que lo hace un camino estable; también podemos encontrar caminos que no cumplen con las condiciones mínimas de pavimentación, además existen caminos ya pavimentados en mal estado, que por falta de mantenimiento, efectos climáticos, incremento de carga, entre otros; presentan deterioros y/o deformaciones, los cuales reducen su capacidad de carga, y esto a su vez puede ocasionar accidentes.

1.2 Formulación del problema

Uno de los principales problemas en el mundo viene a ser la falta de redes viales, lo cual impide la comunicación y desarrollo de un país. El Perú no es ajeno a este problema, dentro y fuera de la capital, encontramos estas obsolescencias; esto es a consecuencia de la desatención de los municipios regionales, causado por altos costos de construcción o desconocimiento de soluciones viales.

Por ello, hemos dirigido nuestra atención a brindar estas soluciones viales por tener conocimiento como ingenieros y ser parte de nuestra responsabilidad como profesionales, además considerando que estas soluciones sean económicas y viables.

De acuerdo a nuestros recursos, aplicamos esta problemática en la ciudad de Lima por la facilidad de acceso con la que contamos actualmente para la investigación.

En la ciudad de Lima, generalmente, podemos reconocer esta problemática en lugares alejados, donde si encontramos pavimentos existentes, ya no tienen carpeta asfáltica por condiciones climáticas, variación de cargas, y presentan deterioros tales como: agrietamientos, hundimientos, entre otros. Tomando en cuenta que estos caminos son de bajo volumen de tránsito.

Por lo que encontramos una solución en las estabilizaciones, que consisten en agregar un producto químico, aplicar un tratamiento físico o realizar un proceso mecánico, logrando así, modificar las características de los suelos, bases o sub bases. Corrigiendo el material elegido para darle mayor resistencia y disminuyendo su plasticidad.

Existen muchos tipos de estabilizadores, pero desarrollamos la comparación entre la estabilización con cemento portland, por representar a un tratamiento físico; y la estabilización con emulsión asfáltica representando a un tratamiento químico; ya que el proceso mecánico consiste solo en compactar el material y no adicionar algún tipo de agente estabilizador, éste proceso no será objeto de estudio en la presente investigación; teniendo como meta mejorar las propiedades físico químicas del material a estabilizar.

1.2.1 Problema principal

¿En qué medida el análisis de la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica aplicado al material para a una base granular permite realizar una comparación según ensayos de laboratorio?

1.2.2 Problemas secundarios

a) ¿En qué medida el material natural a aplicar la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica, es adecuada para ensayos de laboratorio?

- b) ¿En qué medida la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica de una base granular, aplica su dosificación en ensayos de laboratorio según normas nacionales e internacionales?
- c) ¿En qué medida el diseño estructural de un pavimento flexible, puede variar sus espesores de diseño para la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica según normas nacionales?
- d) ¿En qué medida los costos unitarios y presupuesto de un pavimento flexible, pueden variar según el diseño estructural para la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo Principal

Analizar la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica a fin de comparar resultados de su aplicación a una base granular a través de ensayos de laboratorio

1.3.2 Objetivos Secundarios

- a) Analizar el material de cantera a fin de aplicar la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica, a través de ensayos de laboratorio.
- b) Analizar la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica de una base granular a fin de aplicar su dosificación para ensayos de laboratorio a través normas nacionales e internacionales
- c) Analizar el diseño estructural de un pavimento flexible para la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica a fin de obtener espesores a través de normas nacionales

- d) Analizar los costos unitarios de un pavimento flexible a fin de obtener un presupuesto para la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica a través de su variación en el diseño estructural

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Conveniencia

Esta investigación se realizó con el propósito de aportar al conocimiento existente de los profesionales de Ingeniería Civil, el uso de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica. Cuyo resultado de estudio podría sistematizarse en una propuesta, para ser incorporada como solución para temas de construcción vial.

Los estabilizadores mencionados, son soluciones amigables con el medio ambiente, además de económicas y de poco tiempo de desarrollo, lo cual facilita su aplicación, mejora la base granular, siempre y cuando se haga un correcto uso de la propuesta.

1.4.2 Relevancia social

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de difundir propuestas de solución para mejorar las redes viales en nuestra sociedad. El fin de éstas propuestas es mejorar las vías de comunicación, trayendo en el futuro mejores oportunidades en educación, salud y trabajo a través del acceso a lugares alejados.

1.4.3 Implicancia practica

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de mejorar o reforzar el conocimiento en la competencia de indagación científica en los profesionales encargados de dar soluciones viales o de aporte para mejorar investigaciones

actuales. El análisis comparativo realizado, cubre la necesidad de mejorar las propiedades de carga en una base granular, con el uso de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica, como alternativa vial.

1.5 Limitaciones de la investigación

Espacial:

El trabajo de estudio se realizó en la ciudad de Lima, se obtuvo información y muestras de la cantera SEOING – Cajamarquilla, Lurigancho – Chosica, además de ensayos de laboratorio.

Temporal:

El periodo que comprendió la investigación, fue en el periodo Junio – Septiembre 2019.

Conceptual o temática:

Se realizó una comparación, de acuerdo a los resultados de ensayos de laboratorio, sobre las estabilizaciones en estudio, utilizando dichos resultados, usando normas nacionales e internacionales, para su desarrollo en el diseño estructural y análisis de costos.

Se puede usar esta información para investigaciones similares.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 En el ámbito Internacional

Cemento portland

Amies, J. (2006) presenta:

La estabilización con suelo cemento se inicia en 1917 en los Estados Unidos, patentó un primer mejoramiento de suelos a nivel de base luego de mezclar proporcionalmente variables de cemento portland. El esfuerzo conjunto de la Asociación del Cemento Portland (PCA), de la Oficina de Caminos Públicos y el Departamento de Carreteras del Estado de Carolina del Sur, se unieron para contribuir de manera importante al desarrollo tecnológico de la estabilización con cemento. (P.1)

Sánchez J. (2015) En su tesis desarrolló un estudio sobre estabilización de suelos expansivos con cemento en el sector Calcical del cantón Tosagua, provincia de Manabí, Ecuador. La investigación se aplicó sobre arcillas de alta plasticidad donde se utilizó 7 y 9% de cemento como estabilizante, con lo cual se redujo el índice de plasticidad en un 11.5 y 36% para cada porcentaje de cemento respectivamente. (P.2)

Emulsión

Las emulsiones fueron desarrolladas por primera vez a comienzo del siglo XX. En 1920 se generalizó su aplicación para el sector vial. Se empezó a utilizar para aplicaciones de riego y luego como paliativos de polvo. El uso de las emulsiones asfálticas creció un poco lenta, por la limitación de los tipos de emulsiones asfálticas disponibles y la ausencia de conocimiento de su correcta aplicación.

El desarrollo ininterrumpido de nuevos tipos y grados de emulsión, sumado a nuevos equipos y practicas mejoradas de construcción, se da una amplia gama de productos derivados. La selección y el uso juicioso pueden resultar en beneficios económicos y ambientales.

El uso de emulsión asfáltica se extendió rápidamente por todo el mundo. A partir de esta fecha se conocen fábricas de emulsiones en estados unidos, Francia, Inglaterra, Alemania entre otros. Se estima que la producción mundial de emulsiones en el año 1926 fue de 150.000 toneladas. En la Tabla 1 se detalla el uso y la aplicación de las emulsiones asfálticas en diferentes países.

Tabla 1:
Emulsiones asfálticas y su aplicación en diferentes países

País	Tratamientos Superficiales	Estabilización de Suelos %	Carpetas y Bacheo	Morteros o Slurry Seal %
USA	60	16	18	6
Japón	80	15	5	-
Francia	40	29	20	11
México	30	30	30	10
España	20	10	40	10

Fuente: Dante Pérez Bravo-Universidad Antonio Abad del Cuzco-CONEIC Emulsiones asfálticas y su aplicación en altura

Las primeras fabricaciones de emulsiones asfálticas fueron de naturaleza aniónica, las cuales empleaban jabón a partir de la neutralización de ácidos grasos de cadena larga, como ácido oleico y ácido naftenicos. En 1951 aparecen en el mercado las emulsiones catiónicas, que confieren a la emulsión una universalidad de uso (adecuada para cualquier tipo de árido y condición meteorológica) es en ese momento cuando las emulsiones asfálticas alcanzan su

pleno desarrollo. Tanto es así que, en 1962 el 50% de las toneladas fabricadas fueron catiónicas y en 1971 fueron más del 92%. En la Tabla 2 presentamos los usos principales de las emulsiones asfálticas.

Tabla 2:
Uso principales de las Emulsiones

Los Usos Principales de las Emulsiones Asfálticas		
Tratamiento de superficie	Reciclado de asfalto	Otras Aplicaciones
Riego Pulverizado	Frio in situ	Estabilización (suelo y base)
Sellado con arena	Full Depth	Riego de liga
Lechadas	Caliente in situ	Bacheo de mantenimiento
Micro aglomerado	En planta central	Paliativos de polvo
Cape seal		Riego de imprimación
		Sellado de fisuras
		Recubrimiento de protección

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

2.1.2 En el ámbito Nacional

Cemento Portland

Ramos, B. & Torres, J. (2012) estudió el mejoramiento del material para afirmado de las canteras adyacentes para el terraplén de la carretera Lircay – Ccochaccasa, en la provincia de Angaraes, Huancavelica, mediante el uso de cemento Portland. En este estudio se utilizó 1% de cemento, lo cual incrementó la densidad seca de 2.16 gr/cm³ a 2.22 gr/cm³ y el índice CBR de 48% a 48.5%. (P.1)

La industria peruana del cemento, por el año de 1924, inicia su actividad productiva, con la planta de Maravillas propiedad de la Compañía Peruana de Cemento Portland, la cual explotaba los yacimientos de Atocongo. En esta

misma década se inicia el uso extensivo del concreto en la ciudad de Lima, en pavimento y edificaciones.

Posteriormente entran al mercado empresas como: Cemento Pacasmayo S.A. 1957, Cemento Andino S.A. en la provincia de Tarma en 1958, luego Cemento Sur S.A. en la localidad de Juliaca en 1963 y Cementos Yura S.A. en Arequipa en 1966.

A partir del año 1980 hasta la actualidad el uso de cemento se ha generalizado en todo el mundo. En la actualidad se encuentra con modernos equipos y maquinarias que facilitan la estabilización, teniendo más potencia y rendimiento, según su dosificación facilitan la trabajabilidad en campo y garantizan la calidad de mezclado y colocación.

Se encontró un estudio de estabilización de material de cantera para afirmado con cemento Portland, la cual sirve como referencia.

Emulsión

El empleo de la tecnología de la emulsión asfáltica en el Perú es relativamente joven pues llevamos de atraso tecnológico alrededor de 12 años con respecto a nuestros países vecinos tales como Brasil, Argentina y Chile.

En la Tabla 3 se presentan algunas de las últimas obras ejecutadas con emulsiones asfálticas

Tabla 3:
Empresas ejecutadas con emulsiones asfálticas

Año	Empresa	Empleo / Tipo
2003	Minera Antamina	Mezcla Asfáltica
2003	Complejo agrícola Las Dunas (Pisco)	Mezcla Asfáltica (aeropuerto particular)
2003	GyM – Red Vial N°5 – Huacho Pativilca	Mezcla Asfáltica
2003	Minera Yanacocha	Mortero y Tratamiento Superficial
2003	Provías Conococha	
2003	Municipalidad Tarma (MTC)	Mezcla Asfáltica
2003	Municipalidad Huánuco (MTC)	Mezcla Asfáltica
2003	Municipalidad Ferreñafe (MTC)	Mezcla Asfáltica
2003	Municipalidad La Libertad (MTC)	Mezcla Asfáltica
2003	Municipalidad Ancash	Mezcla Asfáltica
2003	Pluspetrol	Mezcla Asfáltica
2004	JJC – San Pedro de Lloc	Mezcla Asfáltica
2004	GyM (Concar) – Aeropuerto Internacional Jorge Chávez	Mezcla Asfáltica
2004	Municipalidad Tarma (MTC)	Tratamiento Superficial
2005	GyM (Concar) – Lima	Tratamiento de fisuras
2005	Consorcio Vial Sur - Palpa	Sello - arena
2005	GyM (Concar) – Chancay - Huacho	Mantenimiento
2006	Yanacocha	Mortero
2006	GyM (Concar) - Chancay	Mortero / Mantenimiento
2006	Municipalidad Tarma (MTC)	Tratamiento Superficial
2007	Antamina	Mantenimiento

Fuente: Laboratorios Bituper

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Conceptos básicos sobre pavimentos

a) Pavimento y Calzada

Calzada: Camino o parte de una calle o carretera reservada a los vehículos.

Pavimento: Sistema de capas superpuestas, de diferentes materiales, y compactadas en forma adecuada.

b) Rasante: línea que marca la cota del camino terminado

c) Subrasante: Línea que marca la cota del movimiento de tierra terminado sobre el cual se construye el pavimento.

2.2.1.1 Evaluación del Pavimento

El pavimento es una de las pocas estructuras civiles que tiene un periodo de diseño finito, esto significa que, durante el periodo de vida de una estructura de pavimento, la misma inicia un proceso de deterioro tal que al final de su vida útil manifiesta un conjunto de fallas que reducen su calidad de rodaje y en definitiva incrementa los costos de los usuarios y los costos de mantenimiento.

Independientemente del proceso del deterioro natural en toda estructura de pavimento, se deben iniciar labores de mantenimiento y rehabilitación de las mismas, prácticamente desde el inicio de su periodo de diseño, con el objetivo de reducir el impacto que las diferentes fallas pueden afectar a la estructura y de esta manera optimizar los recursos disponibles para una eventual rehabilitación, sin necesidad de ejecutar trabajos de reconstrucción de la estructura.

Corredor, G., Corros, M. & Urbáez, E. (2009). Resalta que “en proceso de deterioro de una estructura de pavimento, en especial del pavimento flexible, el

tránsito de carga representa una de las principales variables que inducen la fatiga de la estructura” (P.1).

Los tipos de evaluación son:

- **Evaluación Estructural:** Permite medir distintos parámetros, tales como: fallas presentes en el pavimento, deflexión superficial, radio de curvatura del cuenco de deflexiones del pavimento, tipos de materiales que conforman la estructura del pavimento, espesores de cada una, su condición entre otros.
- **Evaluación Funcional:** Es la ejecución de ensayos que permitan determinar las características superficiales del mismo, traducidas en parámetros como: textura, rugosidad, fricción entre otros, que tienden a evaluar la calidad de rodaje del pavimento, la cual a pesar de estar asociada con su capacidad estructural no necesariamente es un indicativo de esta, en vista que pueden existir sectores con buena calidad de rodaje y sin embargo poseer una estructura débil, que con el paso de la carga se fatigará y presentará un agrietamiento severo.

2.2.1.2 Tipos de pavimentos

Montejo, A. (2002), Señala que “en el análisis de los pavimentos se clasifican en: pavimentos rígidos, pavimentos semirrígidos, pavimentos flexibles y pavimentos semiflexibles” (P.3).

Pavimentos Rígidos

Un pavimento rígido es aquel que está conformado por una losa de concreto simple o armado, se apoya directamente sobre una base o sub-base de material granular. Debido a la alta rigidez del concreto, la losa absorbe considerablemente los esfuerzos que se aplican directamente en la estructura del

pavimento producto del tráfico de vehículos, distribuyendo las cargas de las ruedas y produciendo tensiones muy bajas en la subrasante. Las secciones típicas para un pavimento rígido se muestran en la Figura 1.

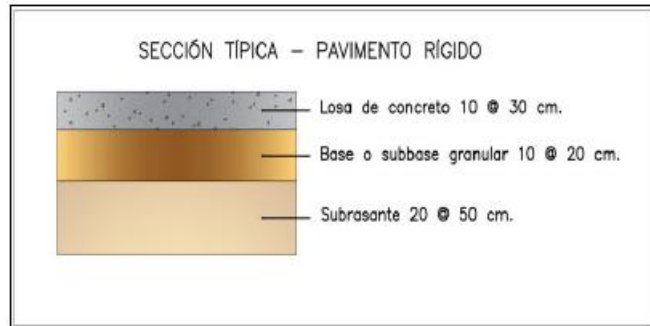


Figura 1. Sección típica del pavimento

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

Pavimentos semirrígidos

Un pavimento semirrígido es aquel en el que se combinan los dos tipos de pavimentos mencionados anteriormente; se podría decir que es un pavimento que posee ambas características y generalmente las capas rígidas están ubicadas en la zona inferior y las capas flexibles en la zona superior de la estructura.

La distribución de esfuerzos de cada estructura varía de acuerdo a las capas que posean, siendo las de mejor desempeño las estructuras rígidas, pero cabe mencionar que los costos de construcción son más elevados que una estructura flexible. Se demuestran para ambos casos en la Figura 2.



Figura 2: Diagrama de esfuerzos en pavimentos

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

Pavimentos Flexibles

Está constituido por una serie de capas que permiten transmitir las cargas de tránsito hasta el terreno natural sin que este se deforme.

No siempre es necesario colocar todas las capas señaladas (depende del tránsito, tipo de suelo, entre otros).

La calidad estructural de estas capas varía con la profundidad. En un pavimento flexible, las diferentes capas pueden ser granulares y asfálticas.

El pavimento flexible no sólo está formado por la capa de rodado sino por todas las que conforman la estructura. Se muestra la sección típica del pavimento flexible en la Figura 3.

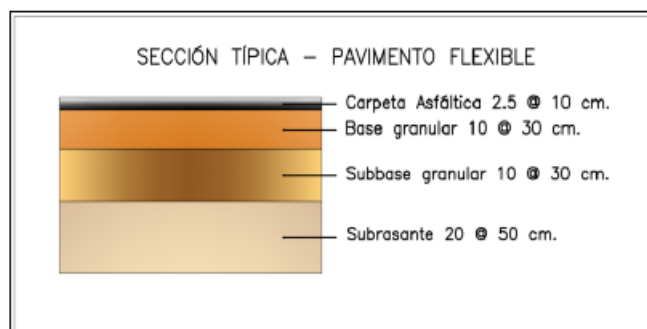


Figura 3: Sección típica del pavimento flexible

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

Pavimentos Semiflexibles

Se caracterizan por usar una carpeta de rodado asfáltica y como base una grava cemento (estabilizada con cemento).

Pavimentos y revestimientos asfálticos

➤ Capas de Protección

Corresponde a todas aquellas capas que no aportan estructura al pavimento y en general a aplicaciones cuyo espesor final no sobrepasan los 3 cm.

Dentro de esta clasificación tenemos:

- Riegos asfálticos

Consiste en la aplicación de un asfalto líquido, ya sea sobre una capa granular o sobre una capa asfáltica, el cual cumple un objetivo específico.

- Riegos asfalto agregado

Estos corresponden a riegos asfálticos cubiertos por una o más capas de agregado ya sea arena fina (para preservar por corto tiempo bases estabilizadas) o grava (para tratamiento superficial simple o doble).

El espesor del tratamiento lo da el tamaño del agregado pétreo de la primera capa, por cuanto las capas sucesivas de agregados pétreos, sólo llenan huecos de la capa anterior.

- Sellos de mezcla

Corresponde a una mezcla de ligante asfáltico cubierto con capa(s) de agregado colocado sobre un pavimento existente. Dependiendo del tamaño del agregado será la función u objetivo de cada sello.

- Sellos de fricción

Mezclas abiertas colocadas en espesores delgados para mejorar el drenaje superficial.

- Lechadas

Agregado fino más filler, más agua y más emulsión.

Mezclas abiertas colocadas en espesores delgados para mejorar el drenaje superficial.

➤ Capas Estructurales

Las capas asfálticas estructurales son aquellas que, por condiciones de mezcla y espesor, forman una estructura resistente en el diseño de un pavimento flexible.

Las capas asfálticas estructurales se pueden clasificar de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Posición relativa dentro de la estructura
- Por su Granulometría,
- Huecos en la mezcla,
- Según el proceso constructivo

2.2.2 Estabilización de la Base con Emulsión Asfáltica

2.2.2.1 Definición de las Emulsiones Asfálticas

Becher P. (1972). Define la emulsión como un sistema heterogéneo termodinámicamente inestable, formado al menos por dos fases líquidas no miscibles, de las cuales una está dispersa en la otra bajo la forma de pequeñas gotas (glóbulos) cuyo diámetro es en general superior a 0.1 μm . Tal sistema posee una estabilidad mínima que puede aumentarse por adición de agentes apropiados, tales como tensioactivos emulsificantes.

(P.1)

Gonzales W, Jiménez M. & López R. (2007) Define a la emulsión como una dispersión de un líquido en otro, en forma de partículas microscópicas. Siendo el tamaño de los glóbulos microscópicos de asfalto de 4 y 6 de superficie, que se localizaran disperso en agua jabonosa.

Por lo tanto, el sistema queda constituido por el agua como fase continua y las micrométricas gotas de asfalto como fase dispersa.

El asfalto por su naturaleza es hidrófobo, fenómeno que nos obliga a usar en el proceso de fabricación productos denominados "emulsificante". Su función es reducir la "Tensión superficial"; actúan elevando el área

interfacial, manteniendo de esta forma a los glóbulos de asfalto dispersos. (P.1)

2.2.2.2 Composición de las Emulsiones Asfálticas

La emulsión asfáltica está conformada por tres componentes básicos: asfalto, agente emulsivo y agua. En algunas ocasiones puede contener ciertos aditivos como estabilizantes mejorados de recubrimiento, mejoradores de adherencia o agentes de control de rotura.

Dentro de una emulsión, los líquidos que la forman constituyen dos partes que son: fase dispersante o continua y fase dispersa o discontinua.

Existen además dos tipos de emulsiones según la concentración de cada una de estas fases: La emulsión directa donde la fase hidrocarbonada está dispersa en la parte acuosa y la emulsión inversa donde la fase acuosa está dispersa en la fase hidrocarbonada.

En breve describiremos los tres componentes principales de la emulsión, es decir: el asfalto, agua y la emulsión.

a) Asfalto

El asfalto es un constituyente natural de la mayoría de los petróleos de los cuales puede ser extraído evaporando o destilando sustancias volátiles que contenga.

Si bien la mayoría de los asfaltos provienen de la destilación de los petróleos, también existen en la naturaleza grandes yacimientos, presentándose en forma de lagos, impregnando rocas porosas, entre las fisuras de las rocas, entre otros.

Resultado de la metamorfosis de los petróleos sometidos a la acción de altas presiones y temperaturas durante el correr del tiempo. El asfalto es un material ligante, de color marrón oscuro a negro, en el cual los componentes que predominan son betunes. Químicamente está constituido por una mezcla

compleja de hidrocarburos de alto peso molecular. Esta identificado como uno de los ligantes más antiguos utilizados por el hombre, por sus excepcionales cualidades adhesivas, flexibilidad, de impermeabilidad y durabilidad, además de su alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y álcalis.

Los ligantes son materiales termoplásticos que funden gradualmente al ser calentados.

b) Agua

El agua es el segundo componente en una emulsión asfáltica. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final no puede ser minimizada. El agua contiene minerales u otros elementos que puedan afectar a la producción de emulsiones asfálticas estables. Consecuentemente el agua potable puede no ser adecuado para las emulsiones asfálticas.

El agua encontrada en la naturaleza puede ser inadecuada debido a impurezas, sean en solución o en suspensión coloidal. Preocupa particularmente la presencia de iones de calcio y de magnesio. Estos iones favorecen la formación de una emulsión catiónica estable. Se suele adicionar cloruro de calcio a las emulsiones catiónicas, con el objeto de aumentar la estabilidad durante el almacenamiento. En ocasiones dichos iones son perjudiciales para las emulsiones aniónicas, ello se debe a que sales de calcio y de magnesio, insolubles en agua se forman en la reacción con sales de sodio y potasio, solubles en agua, normalmente utilizadas como emulsiones. De igual forma, aniones de carbonatos y bicarbonatos pueden facilitar gracias a su efecto amortiguador, la estabilización de emulsiones, pero pueden desestabilizar emulsiones catiónicas al reaccionar con emulsiones compuestos de hidroclouros de aminas solubles en agua.

El agua que contiene partículas no se debería utilizar en la elaboración de emulsiones sin antes ser evaluadas; estas aguas pueden ser perjudiciales para las emulsiones catiónicas. Por lo general éstas están cargadas negativamente. El uso de aguas impuras puede dar un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar en forma adversa la performance o causar una rotura prematura.

c) Agentes Emulsivos

Los agentes de superficie, conocidos como emulsionantes, surfactantes o tensioactivos, contienen en su molécula uno o varios grupos hidrofílicos que pueden ser de tipo iónico o no iónico.

Se clasifican por la forma en que se disocian o ionizan en el agua. En lo que hace a la estructura, poseen un equilibrio molecular entre una larga cadena lipofílica hidrocarbonada y una cabeza polar hidrofílica. Los surfactantes son absorbidos en la interface entre líquidos y gases o líquidos y sólidos. Tienden a concentrarse en la interface de modo que los grupos hidrofílicos se orientan hacia la fase más polar y los grupos lipofílicos hacia la fase menos polar. La molécula o ión surfactante actúa como un puente entre las dos fases.

Existen tres tipos de surfactante aniónico, no aniónico y catiónico. El agente emulsivo, empleado en combinación con un asfalto aceptable, agua de buena calidad y adecuados procedimientos mecánicos, es el factor principal en la emulsificación. En estabilidad de la emulsión y en el comportamiento de la aplicación final en la carretera. En la Tabla 4 se observan los requerimientos para una emulsión asfáltica catiónica.

Tabla 4:
Requerimiento de Emulsión asfáltica Catiónica

Características	Ensayos	CSS-1h	
		Min	Max
Viscosidad. Saybort Furol a 77 °F (25 °C).	MTC 403	20	100
Estabilidad de Almacenamiento, 24-h, %	MTC 404		1
Carga de partícula	MTC 407	Positivo	
Prueba de Tamiz %	MTC E 405		0.1
Mezcla por Cemento %	ASTM D-6935		2.0
Destilación:			
-Residuo %	MTC E 401	57	
Pruebas sobre el Residuo de destilación:			
-Penetración, 77 °F (25 °C), 100g, 5s	MTC E 304	40	
-Ductilidad, 77 °F (25 °C), 5cm/min, cm	MTC E 306	40	90
-Solubilidad en Tricloroetileno %	MTC E 302	97.5	

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

Hecho estas consideraciones es evidente que el agua y el asfalto no se mezclan entre sí, por lo tanto, es necesario condiciones controladas, utilizando equipos de alta estabilización y aditivos químicos. Con el objeto de lograr una formulación donde la dispersión sea lo suficiente estable entre el agua y el cemento asfáltico, almacenada durante un tiempo prolongado y mezclada.

Los agentes catiónicos, en su mayoría, son aminas, diaminas, imidazolinas y amidoaminas. Las aminas se convierten en jabón al reaccionar con el ácido clorhídrico. Otro tipo de agente emulsivo son las sales grasas cuaternarias de amonio, se emplea para producir emulsiones catiónicas; son sales solubles en agua, y no requieren la adición del ácido siendo agentes emulsivos estables y efectivos.

El agente emulsivo es uno de los componentes individuales de la emulsión asfáltica más importante. Para ser un agente emulsivo eficaz, el surfactante debe ser soluble en agua y poseer un adecuado equilibrio entre las propiedades hidrofílicas y lipofílicas. El agente emulsivo, empleado en combinación con un asfalto aceptable, agua de buena calidad y adecuados procedimientos mecánicos, es el factor principal en la emulsificación, la estabilidad de la emulsión y en la performance de la aplicación final en el camino. En la Tabla 5 se muestra la composición de las emulsiones asfálticas normales y modificadas con polímeros.

Tabla 5:
Composición de las Emulsiones Asfálticas

Elemento	Emulsión Normal	Emulsión modificada con polímero
Cemento asfáltico	40 – 70	50 – 70
Emulsificante	0.2 – 1.5	0.2 – 1.5
Agua	40 – 60	35 – 45
Polímero	0	1 - 4

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

2.2.2.3 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas

Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocia, quedando con cargas negativas o positiva según el tipo de emulsificante. En la Figura 4 se muestra una representación pictórica de la emulsión aniónica y la catiónica.

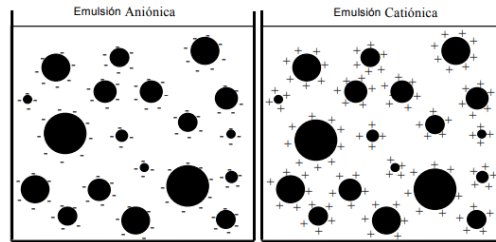


Figura 4: Representación esquemática de una emulsión aniónica y catiónica

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

El tipo de emulsificante define el tipo de emulsión: los emulsificantes aniónicos, tienen grupos ácidos en su parte hidrofílica, con carga eléctrica negativa; éstos tienen como fórmula general: R-COONa.

Cuando este tipo de emulsificantes se encuentra en un medio acuoso se disocia resultando:



Y el grupo carboxilato COO⁻ se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica.

Los emulsificantes catiónicos son generalmente grupos aminos con carga eléctrica positiva y con fórmula general R-NH₃Cl. Cuando este tipo de emulsificantes actúa en un medio acuoso se disocia resultando:



Y el grupo de amino NH₃⁺ se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica. Presentamos la nomenclatura de la clasificación de las emulsiones asfálticas en la Tabla 6.

Tabla 6:
Nomenclatura para la clasificación de las Emulsiones

Emulsión Asfáltica	Emulsión Asfáltica Catiónica
(ASTM D977, AASHTO M140)	(ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1 (RR-1)	CRS-1 (CRR-1)
RS-2	CRS-2
HFRS-2	----
MS-1 (RM-1)	----
MS-2	CMS-2 (CRM-2)
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	----
HFMS-2	----
HFMS-2h	----
SS-1 (RL-1)	CSS-1 (CRL-1)
SS-1h	CSS-1h

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

Los emulsificantes son los que, producida la emulsión, se sitúan en su mayor parte de la “interfase”. Se parte hidrofóbica se dirige hacia el asfalto y su parte polar hacia el agua. Con estos emulsificantes iónicos las partículas adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos y estabilizando al sistema.

Dependiendo de la carga del emulsivo usado en la fabricación, podemos tener una primera clasificación de las emulsiones asfálticas, ya que este define la carga eléctrica de las partículas de asfalto.

✓ **Emulsiones Aniónicas:** Los glóbulos de asfalto están cargados electronegativamente

✓ **Emulsiones Catiónicas:** Los glóbulos de asfalto están cargados electropositivamente.

✓ **Emulsiones No Iónicas:** Los glóbulos de asfalto son neutros.

De estos tres tipos, las más ampliamente utilizadas en la industria vial son las Emulsiones Catiónicas debido a la mayor afinidad que las mismas presentan con la mayoría de los agregados pétreos.

Teniendo en cuenta la cantidad de asfalto utilizado en la preparación, la cantidad y el tipo de emulsión y la modificación o no del residuo, se puede realizar una segunda clasificación de distintos grados.

La segunda clasificación de las emulsiones se basa en la velocidad con que las gotas del asfalto se juntan, restaurando el volumen de cemento asfáltico, produciéndose la rotura luego de un tiempo determinado, fenómeno que se produce por la mezcla íntima de la emulsión con el agua y el agregado, donde se evapora gran parte del agua que sirvió en un principio para la estabilidad de las emulsiones asfálticas, estas se pueden clasificar según el tipo de rotura que experimenta la emulsión - agregado con el agua. El cual podemos visualizar en la Figura 5.

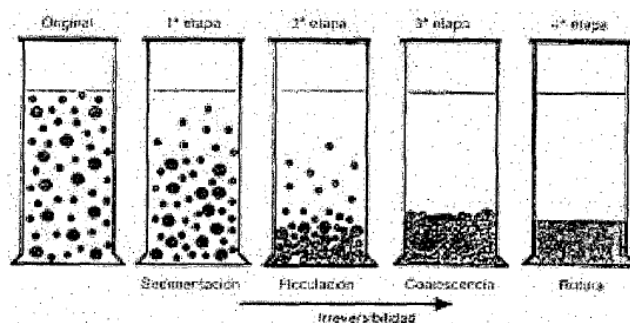


Figura 5: Ruptura de una Emulsión Asfáltica

Fuente: Rivera E, 1998

- ✓ **Rotura Rápida RS:** estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
- ✓ **Rotura Media MS:** Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheas, re-nivelaciones y sobre carpetas.
- ✓ **Rotura Lenta SS:** Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. La tendencia a la coalescencia está íntimamente ligada con la rapidez con que la emulsión se vuelve inestable y rompe al entrar en contacto con los agregados.

Las fases de rotura en la emulsión pueden ser visualizadas en la Figura 6.

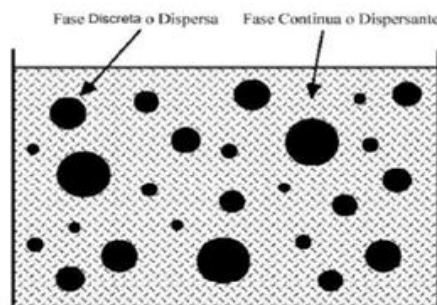


Figura 6: Diagrama de una emulsión

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2001

Las emulsiones RS tienen poca capacidad de mezclarse con los agregados

Las emulsiones MS se mezclan con el agregado grueso y no con el agregado fino

Las emulsiones SS se diseñan para mezclarse con agregados finos.

Las emulsiones se identifican por una serie de números y letras que tienen que ver con la viscosidad de las emulsiones y la consistencia de la base de cemento asfáltico. La letra "C" al principio identifica a una emulsión asfáltica catiónica, la ausencia de esta letra indica que es una emulsión asfáltica aniónica, según

especificaciones ASTM y AASTHO. Los números en la clasificación indican viscosidad relativa, mientras mayor el número mayor viscosidad relativa de la emulsión. Por ejemplo: una emulsión MS-2, es más viscosa que una emulsión MS-1. La "h" incluida en algunos grados, significa simplemente que la base asfáltica es más consistente o dura. La "s" significa que la base asfáltica es más blanda. Las letras "HF" que preceden a algunas emulsiones aniónicas indican alta flotación, tienen características de gel, lo que permite la formación de una película de asfalto más gruesa alrededor del agregado, impidiendo la separación del asfalto de las partículas de agregado. Estos grados de emulsiones se usan principalmente para mezclas de plantas en caliente y en frío, para sellados y para mezclas en caminos. Según su aplicación, adherencia y mezclado con los materiales, la Tabla 7 muestra las características físicas y químicas que se presentan en cada tipo de rotura.

Tabla 7:
Tipo de emulsión asfáltica característica y aplicación

Características	Rotura rápida	Rotura media	Rotura lenta
Rotura	Rápido al contacto con el agregado	Mayor estabilidad al mezclado, rompe en pocos minutos	Máxima estabilidad en el mezclado, rompe por evaporación
Se mezcla perfectamente con:	Agregados finos	Agregados gruesos	Agregados finos densamente graduados
Aplicación	Riegos (con arena o arenisca, tratamientos superficiales)	Mezclas asfálticas	Mezclas, riegos y estabilidad de suelos
Adherencia	Se obtendrá mejores resultados a medida que los glóbulos de asfaltos de la emulsión y los agregados sean de signo diferente.		

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

2.2.2.4 Fabricación de las Emulsiones

El equipo de producción para la fabricación de emulsiones es muy sencillo y fácil de conseguir en el mercado.

A continuación, se dan unas recomendaciones para el correcto almacenamiento de las emulsiones:

- Almacenar las emulsiones como se almacena agua líquida, entre 10°C y 85°C, dependiendo del uso buscado y del producto en cuestión.
- Almacenar la emulsión a la temperatura específica para el grado y aplicación particular.
- No permita que la emulsión sea calentada a altas temperaturas (por encima de los 85°C), esto evaporaría el agua, modificando las características de la emulsión asfáltica.
- No permita que la emulsión asfáltica se congele, esto produce la ruptura de la emulsión, separando el asfalto del agua. El resultado será dos capas, una de asfalto y otra de agua en el tanque, ninguna de las cuales será la adecuada para el uso deseado; además será difícil vaciar el tanque.

Ventajas que ofrecen las emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas tienen la ventaja de ser utilizadas en todas las capas de un pavimento, en revestimientos asfálticos por construir, en mejoramiento de pavimento y hasta en trabajos de parcheo.

Las ventajas de las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos rebajados (líquidos) y asfaltos en caliente, siendo las siguientes:

- Es un ligante asfáltico que no pone en riesgo el ambiente, es decir no es contaminante, ya que contiene del 35 % al 40 % de agua como solvente.
- Es de manejo seguro y sencillo, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- Su almacenamiento tiene un tiempo límite y es muy amplio, ya que puede ser almacenado por semanas o meses.

- Tiene una gran adhesión con cualquier agregado pétreo.
- Su aplicación se realiza en un corto tiempo, lo que permite la pronta funcionalidad de la obra.
- Presenta un bajo costo de la fase dispersante, que es el agua.
- Se puede utilizar materiales pétreos locales, lo que permite no realizar la transportación de estos materiales por grandes distancias.

La Tabla 8 nos detalla la comparación de estos materiales asfálticos siendo obviamente las emulsiones asfálticas la mejor opción.

Tabla 8:
Cuadro Comparativo de los Materiales Asfálticos

Material asfáltico	Ventajas	Desventajas	Proceso de curado
Mezclas en caliente	Aplicación directa	Humos y costos de combustibles	Por enfriamiento
Asfaltos rebajados	Trabajabilidad	Contaminación atmosférica	Evaporación del solvente
Emulsiones asfálticas	Menor polución, menor costo de combustible	Cuidado en el manejo de la emulsión	Rotura, coalescencia, evaporación del agua

Fuente: Instituto del Asfalto, 2005

Aplicaciones de las emulsiones asfálticas

La aplicación de las emulsiones asfálticas es principalmente considerada como un método para la conservación o construcción de un pavimento. Entre los principales, tenemos las siguientes aplicaciones:

a. Tratamientos a la superficie

- Tratamientos superficiales (Chip seal)
- Sellos de niebla (Fogseal)

- Sellos de lechada asfáltica (Slurryseal)
- Microcapas (Microsurfacing)
- Combinación de tratamientos superficiales con sellos de lechada (Cape seal)

b. Asfaltos reciclados

- Reciclado en frío en sitio (Cold in-place)
- Mejoramiento de base (Full depth)
- Reciclado en caliente en sitio (Hot in-place)
- Reciclado en caliente en planta

c. Otras aplicaciones

- Estabilización de suelos y bases
- Bacheo
- Riego de imprimación
- Riego de liga
- Sellado de grietas

2.2.3 Estabilización de la Base con Cemento Portland

2.2.3.1 Definición de Cemento Portland

Goma, Fernando (1979). Es un polvo de color gris, la pasta de cemento (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa del hormigón y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del concreto. (P.1)

El cemento portland, de todos los conglomerantes hidráulicos y sus derivados, son los más empleados en la construcción debido a estar conformados por mezclas de caliza, arcilla y yeso, que son minerales abundantes en la naturaleza, además de ser su precio relativamente bajo en comparación con otros materiales y a su vez de tener las propiedades adecuadas para la construcción.

El proceso de fabricación de cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de Clinker, éste se encuentra compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene una o más formas de sulfato de calcio como adición durante la molienda.

Es decir: Cemento Portland = Clinker + Yeso

El cemento Portland puede ser utilizado para modificar y mejorar la calidad del suelo o para transformar el suelo en una masa de cemento con una mayor resistencia y durabilidad. La cantidad de cemento utilizado depende de si el suelo tiene que ser modificada o estabilizado. En principio, según la norma peruana, cualquier cemento puede utilizarse en la estabilización de suelos, siempre y cuando se analice previamente su diseño de mezclas; proceso en el cual se asigna los porcentajes necesarios para la estabilización con cemento y etapa en el cual se va reduciendo agentes perjudiciales para la resistencia del suelo-cemento, como es el caso de los sulfatos, que con porcentajes mayores 0.2% reducen la resistencia a la compresión.

2.2.3.2 Composición y constitución del cemento Portland

Martinez R. (2009). “Los componentes principales del cemento portland son silicatos y aluminatos de calcio, estos componentes se asocian químicamente como el óxido de calcio (CaO), la sílica (Si O₂), alúmina (Al₂ O₃) y el óxido de hierro (Fe₂ O₃).” (P.25)

Los minerales que contienen los componentes principales del cemento, según la producción nacional, señalado por ASOCEM, en la Tabla 9 presentan los siguientes porcentajes de participación en la elaboración del cemento:

*Tabla 9:
Minerales que componen el Cemento*

Mineral	Símbolo	Porcentaje
Oxido de calcio	CaO	62.5% - 64.5%
Oxido de silicio	SiO ₂	19% - 22%
Oxido de aluminio	Al ₂ O ₃	4% - 6%
Oxido de fierro	Fe ₂ O ₃	3% - 3.5%
Oxido de magnesio	MgO	0.9% - 2.9%
Anhídrido sulfúrico	SO ₃	2.3% - 2.6%

Fuente: Elaboración propia

Siendo los componentes de mayor participación para la fabricación de Clinker los siguientes:

Componente calcáreo. La caliza (CaCO₃), representa entre 70-80% de las materias primas necesarias para fabricar el Clinker.

Componente arcilloso (silicato de aluminio hidratados), representa entre el 15-25% de las materias primas necesarias para fabricar el Clinker.

Componentes correctores, como la arena se usa para elevar el contenido de sílice, minerales de hierro y elevar el contenido de óxido de hierro.

En la Figura 8 tenemos los principales componentes minerales del Clinker.

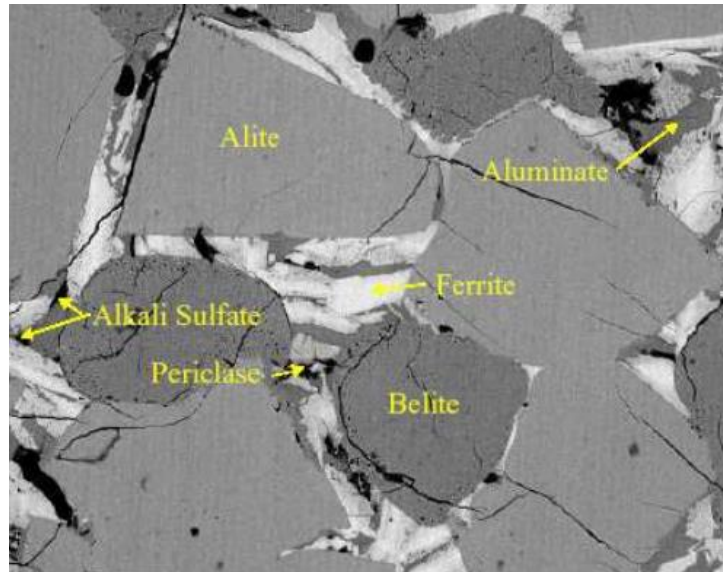


Figura 8: Principales componentes minerales del Clinker

Fuente: Cementos Sol

Silicato Tricálcico- JCaO.SiO_2 (C3S):

Componente principal y decisivo que aporta resistencia, principal del fraguado inicial y del rápido endurecimiento del cemento.

Silicato Dicálcico- 2CaO.SiO_2 (C2S):

Endurece más lentamente que el C3S, sin embargo, a largo plazo alcanza la misma resistencia.

Contribuye al incremento de la resistencia a edades mayores de 7 días.

En la Figura 9 podemos ver los silicatos anteriormente descritos.

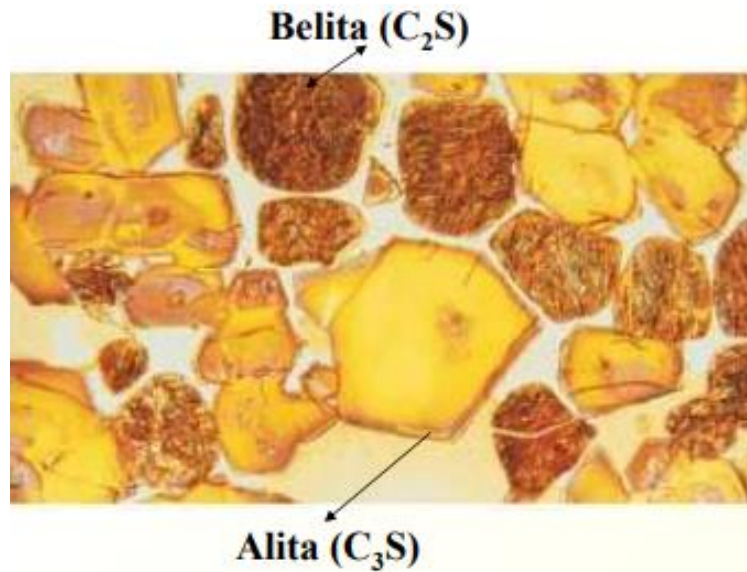


Figura 9: Silicato Tricálcico – Silicato Dicálcico

Fuente: Cemento Sol

Aluminato Tricálcico- $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A):

Reacciona muy rápidamente con el agua, pero no posee ninguna propiedad hidráulica destacable, una gran cantidad de calor durante los primeros días de endurecimiento. Cementos con bajos contenidos de C_3A son resistentes a los suelos y aguas que contengan sulfatos.

Ferrita Aluminato Tetra cálcico- $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF):

Contribuye poco en la resistencia del cemento. La formación de C_4AF reduce la temperatura de clinkerización, constitución mineral, según ASOCEM, de los cementos Portland de producción nacional, se encuentra dentro del siguiente porcentaje de participación, tal como se muestra en la tabla 10.

En la Figura 10 podemos ver los componentes anteriormente descritos

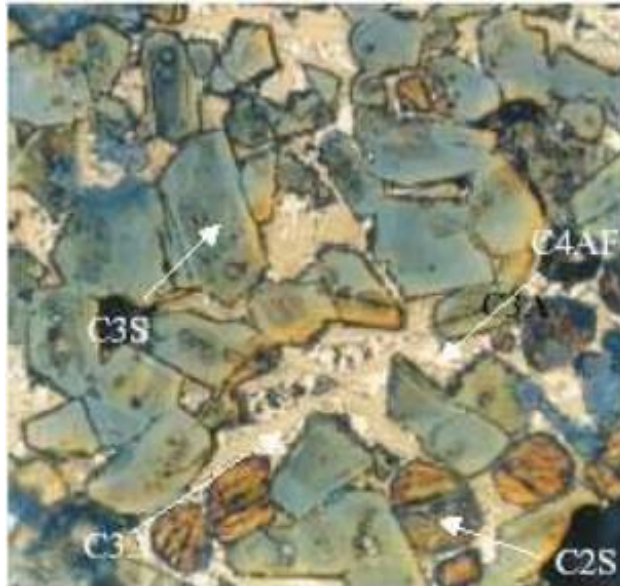


Figura 10: Aluminato Tricálcica - Ferrita Aluminato Tetra cálcico

Fuente: Cemento Sol

Tabla 10:
Constitución mineral

Símbolo	(%)
C3S	48 – 52
C2S	17 – 27
C3A	6 – 10
C4AF	9 - 11

Fuente: Elaboración propia

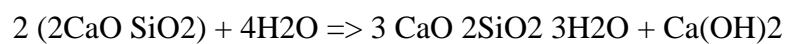
2.2.3.3 Reacciones de los componentes del cemento con el agua

Las reacciones químicas que se producen cuando los componentes minerales del cemento son mezclados con el agua.

Silicato tricálcico + agua => tobermorita Calcio hidratado:



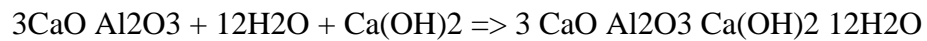
Silicato bicálcico + agua => tobermorita Calcio hidratado:



Aluminio ferrito tetra cálcico + agua + Calcio hidratado => Calcio Aluminio ferrito hidratado:



Aluminato tricalcico + agua + Calcio hidratado => Aluminato tetra cálcico hidratado:



Siendo el silicato tricálcico y el silicato bicálcico, componentes minerales que constituyen el 75% del cemento portland que, al ser mezclarse con agua, dan en gran medida la resistencia del cemento.

En consecuencia, es necesario conocer las reacciones que intervienen en los diferentes componentes del cemento según el tiempo, como se muestra a continuación:

- Intercambio Catiónico + Flocculación / Aglomeración = En pocas horas
- Hidratación del cemento + Flocculación / Aglomeración = Incremento de resistencia 28 días
- Hidratación del cemento + Reacción puzolánica = Incremento lento resistencia a lo largo de años

Se realiza a continuación la descripción de cada uno de los intercambios producidos en el cemento conforme va adquiriendo resistencia en el tiempo.

a) Intercambio catiónico

Cationes monovalentes (Na^+ y K^+) pueden ser reemplazados por cationes de valencia mayor. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} . En términos prácticos el intercambio iónico reduce el espaciamiento entre las láminas de arcilla.

b) Intercambio catiónico - floculación/aglomeración

Floculación ocurre porque la unión en el plano se debilita y además se comienzan a depositar material cementado en las caras de la arcilla. Modifica la textura de un material plástico a un material "fino - granular" y aumenta la fricción interna.

c) Hidratación

Este proceso ocurre solo con el cemento. La cementación estabiliza las partículas floculadas. Se desarrollan enlaces muy fuertes entre el cemento hidratado y las partículas de arcilla.

Nota: Al principio, el calcio que se usa para la estabilización, es localizado sobre la superficie de masas de suelo. Con el tiempo, el calcio se traslada a la arcilla, mejorando la estabilización. Esto ocurre con el tratamiento de cal y con el cemento.

d) Reacción puzolánica (solo en minerales de arcilla con aluminio)

Es una reacción secundaria en la estabilización de suelos que se desarrolla en un ambiente con pH alto (>12,5) aumentando la solubilidad y reactividad de la sílice y aluminio contenido en la arcilla.

2.2.3.4 Definición del Suelo - Cemento

El ACI 116R, define al suelo cemento como una mezcla con cantidades medidas de cemento portland y agua, compactada a una densidad elevada. De una manera más amplia. El ACI 230.1R-90, define al suelo cemento como un material producido por mezcla, compactación y curado de una mezcla de suelo/agregado, cemento portland, posiblemente aditivos incluyendo puzolanas y agua para

formar un material endurecido con propiedades específicas. Las partículas de suelo/agregado están unidas por la pasta de cemento, pero a diferencia del concreto las partículas individuales no están completamente revestidas con la pasta de cemento. Por lo tanto, una particularidad del suelo cemento es que se coloca como suelo y se comporta posteriormente como concreto.

2.2.3.5 Componentes del Suelo - Cemento

Agua: debe ser libre de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos y material orgánico. El agua potable es satisfactoria para su uso.

Suelo: como anteriormente se mencionó, prácticamente todos los suelos pueden ser estabilizados con cemento. No es necesario que sean materiales bien graduados pues la cohesión se alcanza por hidratación del cemento. Cabe mencionar que materiales mal graduados o mayor porcentaje de finos, requieren mayor contenido de cemento de allí la conveniencia de que los vacíos, estén rellenos con material sólido (grueso).

En cuanto a la variedad de materiales, es necesario destacar que es aplicable el cemento a suelos granulares fundamentalmente y mezclas de ellos, ejemplo: limos, arenas gruesas, finas y gravas o mezclas de estas fracciones. Distinguimos tres tipos de suelos:

Arenoso y gravas: en ellos es posible efectuar un adecuado trabajo de pulverización y mezclado con cemento, observándose que la cantidad del cemento no es elevada en relación con las demás mezclas.

Suelos arenosos: con deficiencia de partículas finas, como puede ser una arena de playa que demanda mayor cantidad de cemento. En la etapa constructiva

pueden generarse problemas debido a la falta de cohesión, aunque aumenta la plasticidad de la mezcla.

Suelos limosos y arcillosos: suelen dar lugar a problemas de pulverización y mezcla íntima, fenómeno más notorio en aquellos suelos que contienen elevada cantidad de arcilla. Generalmente cuanto más arcilloso es el suelo, más cemento es necesario para estabilizarlo además se encuentra con la dificultad de pulverizarlo, por ello, para las arcillas es poco aplicable el cemento, quedando reservado para tal fin la aplicación de la cal.

2.2.3.6 Química de la estabilización con Cemento Portland

La acción estabilizadora del cemento consta de varias etapas, la primera de las cuales es la acción de la naturaleza fibrosa del silicato de calcio, que se forma cuando los granos del cemento entran en contacto con el agua. Debido a esta reacción se forma masas de fibras minúsculas que se traban fuertemente unas con otras y con otros cuerpos. La solución formada por la mezcla de cemento y agua reacciona con las partículas de suelo, reacción en la que los iones de calcio tienden a agrupar las partículas de suelos cargadas negativamente produciéndose su floculación por acción de la gravedad, pero que básicamente consisten en reacciones de cemento con los componentes sílicos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan las gravas, arenas y limos; este es el efecto básico de los suelos gruesos. Finalmente, si se compacta la mezcla se produce una reacción de calcio con la sílice y alúmina de tamaños coloidales produciéndose complejos compuestos y aluminatos que aumentan lentamente la resistencia y la durabilidad de la mezcla suelo cemento con el tiempo.

La reacción favorable suelo-cemento se ve muy impedida o anulada cuando el material contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan, dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas. Por esta razón las especificaciones de casi todos los países exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo no sobrepase de 1 - 2% en peso, para poder ser considerado apropiado para ser estabilizado con cemento.

También es nociva la presencia en el suelo de sulfatos de calcio, de magnesio u de otras sustancias ávidas de agua, pues impiden a los aglomerantes de la humedad necesaria para su función.

El efecto del cemento en los suelos arcillosos resulta más complicado y menos comprendido que, en los suelos más gruesos, por lo que pudiera resultar conveniente detallar algo más. En primer lugar, se produce un efecto primario, en el que la hidratación del cemento produce silicatos y aluminatos hidratados de calcio, hidróxido de calcio e iones de Ca, que elevan la concentración de electrolitos de agua intersticial, aumentando su pH, viene luego un proceso secundario en dos fases: En la primera, se produce un intercambio iónico entre los iones de calcio y otros absorbidos por los minerales de arcilla. La segunda fase, tienen lugar a reacciones químicas puzolánicas entre el cemento y elementos que componen los cristales de arcilla. Los elementos silícicos y alumínicos reaccionan con los compuestos cálcicos para formar elementos cementantes; el resultado final de esta reacción es la transformación de una estructura arcillosa originalmente floculada y vaporosa, en un agregado resistente que evoluciona la resistencia con respecto al tiempo. En esta misma

segunda fase, el hidróxido de calcio que se va consumiendo puede reponerse por la cal y se libera durante el proceso primario de hidratación del cemento.

2.2.3.7 Tipo de Estabilización con Cemento

Suelo tratado con cemento

Es una mezcla íntima de suelo y cemento con adición de agua para la cual no existen requerimientos de calidad, es una mezcla no endurecida o semiendurecida de suelo y cemento. El mejoramiento que se alcanza depende de la cantidad de cemento que se incorporara y del tipo de suelo. Lo que hace el cemento incorporado al suelo en tan baja proporción es modificar la avidez de agua del suelo disminuyendo su plasticidad. El suelo modificado con cemento puede emplearse en bases, subbases y subrasantes.

Suelo cemento

Este material contiene suficiente cemento como para endurecer el suelo al cual se ha incorporado al grado de humedad necesaria para lograr una buena compactación y conseguir la hidratación con cemento. La denominación de este material es variada, por ejemplo: suelo estabilizado con cemento, agregado estabilizado, etc. todos ellos indican un material al cual se ha incorporado cemento en proporción tal que es capaz de endurecer.

Suelo cemento plástico

Es una mezcla de suelo y cemento endurecido que contiene en el momento de elaborarla, suficiente cantidad de agua como para lograr una consistencia similar a la del mortero plástico. Este producto para taludes, áreas irregulares o confinadas como puede ser revestimientos e cunetas, etc. Donde no es posible emplear la construcción convencional.

En todos los casos podemos decir que el suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, cemento portland y agua.

2.2.3.8 Obtención del suelo cemento portland

El suelo cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuado. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

Las propiedades que deberán tenerse en cuenta al elaborar un suelo cemento a efectos de lograr un producto resultante que sea durable y estable:

Modificación de la cantidad óptima

a) Compactación uniforme y una máxima densidad

Incorporación de suficiente cantidad de cemento para reducir la pérdida de peso u cambios de volumen y humedad a cantidades despreciables después de los ensayos de durabilidad. Además de tales condiciones es necesario lograr una mezcla íntima de suelo pulverizando cemento y agua.

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

aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. El cemento que se incorpora al suelo actúa según dos procesos que se describen a continuación los cuales son:

b) Fijación de los Iones cálcicos por el suelo

Este primer proceso modifica las propiedades de suelo (LP), los silicatos cálcicos del cemento, al ponerse en contacto con agua origina silicatos cálcicos hidratados tomando a la solución del agua en alcalina (pH desde más de 7 hasta aproximadamente 12) con abundancia de calcio que tomado por el suelo para modificar sus cargas superficiales variando de manera sus condiciones de plasticidad, ocurriendo esto en el segundo proceso.

c) Cementación de las partículas

Modificadas las propiedades de plasticidad del material habiendo sido absorbidos los iones calcio por el suelo, comienza un segundo proceso en el cual el cemento actúa sobre el suelo adhiriendo sus partículas dando lugar a una cementación casi irreversible que origina una cohesión por cementación que aumenta la resistencia al corte del producto resultante. Ocurre una especie de modificación íntima en el material de cada material de cada partícula que las suelda unas con otras.

2.3 Definiciones conceptuales

- **AASHTO:**

Siglas que corresponden a la entidad americana “American Association of state highway and transportation officials”. (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).

- **Afirmado:**
Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas.
- **Agregado:**
Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
- **ASTM:**
Siglas que corresponden a la entidad americana “American Society for Testing and Materials”. (Sociedad Americana para Pruebas y materiales).
- **Cantera:**
Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de carreteras.
- **Capacidad de carga del terreno:**
Es la resistencia admisible del suelo de cimentación considerando factores de seguridad apropiados al análisis que se efectúa.
- **Carretera:**
Es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. La red vial peruana está clasificada en tres tipos de vías, según sus características, dentro de las cuales se encuentran la red primaria, red secundaria y red terciaria.
- **Carreteras primarias:**
Este tipo de carreteras pueden ser calzadas divididas según las exigencias propias de cada proyecto. Deben funcionar pavimentadas.

- **Carreteras secundarias:**

Vías municipales que se unen entre sí y/o que conectan con una carretera primaria.

Pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

- **Carreteras terciarias:**

Vías municipales que unen con sus veredas o unen veredas entre sí. Pueden

funcionar en afirmado. Si se pavimentan deben cumplir las condiciones geométricas

fijadas para las vías secundarias.

- **CBR (California Bearing Ratio):**

El ensayo CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos

compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la

clasificación de terrenos.

- **Compactación:**

Procesos manuales o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de

suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland.

- **Estabilidad:**

Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo

las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción

interna del material.

- **Estabilizadores:**

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los

suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos

aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de

soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al

terreno o bien, disminuir su plasticidad.

- **Granulometría:**

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

2.4 Estructura teórica y científica que sustenta la investigación

La estructura teórica y científica que sustenta el modelo de estudio son dadas por la relación que hay entre el cemento portland y la emulsión asfáltica aplicado al material natural, el cual busca despertar el interés de su aplicación, por la comparación realizada, descrito en el índice general.

2.5 Formulación de hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Si a la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica se le aplican los mismos ensayos de laboratorio, entonces se pueden comparar resultados de su aplicación a una base granular

2.5.2 Hipótesis específicas

- a) Si aplicamos la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica al material para la base granular, entonces los ensayos de laboratorio para cada caso son iguales
- b) Si se estabiliza con cemento portland y emulsión asfáltica una base granular, entonces la dosificación para los ensayos de laboratorio según normas nacionales e internacionales son iguales
- c) Si el diseño estructural de un pavimento flexible para cada estabilizador según las normas nacionales, entonces podemos reducir los espesores
- d) Si los costos unitarios de un pavimento flexible varían de acuerdo a cada estabilizador, entonces podemos variar sus costos según su diseño estructural

2.5.3 Variables

2.5.3.1 Definición Conceptual de las Variables

Estabilización de bases granulares que se realizara un análisis comparativo con respecto a: emulsiones asfálticas y cemento portland.

a) Variable independiente

Estabilizadores

Llamamos estabilizadores de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme, estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

b) Variable dependiente

Bases Granulares.

Es un material granular grueso compuesto por trituradores, arena y material fino, posee resistencia a la deformación lo que hace que soporte presiones.

2.5.3.2 Operacionalización de las Variables

La operacionalización de variables se encuentra descrita en la Tabla 11.

Tabla 11:
Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>ESTABILIZADORES</p> <p>Conceptualización</p> <p>Los estabilizadores de suelos son un complemento de paisajismo destinado a reforzar y estabilizar suelos de cualquier superficie. El estabilizador de suelos sirve tanto para aplicaciones con césped como para aplicaciones con gravas y permiten que los suelos se mantengan firmes y estables frente a las inclemencias del tiempo. Asimismo, los estabilizadores de suelos son el sistema ideal para zonas con mucho tráfico pues protege al césped evitando la compactación de la zona de enraizamiento.</p> <p>Fuente: Asphalt Institute, Asphalt Emulsion Manufacture. "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19". USA.</p>	<p>Emulsiones Asfálticas</p> <p>Cemento Portland</p>	<p>1. Métodos Internacionales - Método ILLINOIS - Método TACOMA Se emplean para el diseño de mezclas en frío elaboradas en laboratorio para estabilizaciones.</p> <p>1.-Normas Nacionales e Internacionales - Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos - American concrete Institute ACI - Federal Highway Administration FHWA</p>
<p>VARIABLE</p> <p>BASES GRANULARES</p> <p>Conceptualización</p> <p>Es un material granular grueso compuesto por trituradores, arena y material fino, posee resistencia a la deformación lo que hace que soporte presiones.</p> <p>Fuente: Ugaz Palomino, Roxana María. "Tesis- Estabilización de Suelos y su Aplicación en el mejoramiento de Subrasante". Facultad Nacional De Ingeniería. Lima- Perú, 2006.</p>	<p>DIMENSIONES</p> <p>Diseño Estructural</p> <p>Ensayos de Laboratorio</p>	<p>INDICADORES</p> <p>1.-Espesores: El Manual de diseño nos permite diseñar espesores mínimos en una base granular aplicado los estabilizadores con el método ASSHTO 1993 y NAASRA (AUSTROADS)</p> <p>1.-Dosificación - Proctor: Permite conocer el contenido óptimo de humedad - CBR: el cbr aumenta o disminuye su capacidad portante de acuerdo al tipo de dosificación que se utiliza en la mezcla</p>

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel

- Tipo

Es Aplicada porque a través de la recopilación de datos y ensayos de laboratorio, se obtiene resultados sobre la influencia de los estabilizadores con cemento portland y emulsiones asfálticas en las bases granulares, los cuales son útiles para ampliar el conocimiento de los profesionales implicados en el desarrollo y construcción de pavimentos de bajo volumen de tránsito.

- Nivel

Investigación explicativa, porque se describe los resultados de las estabilizaciones con cemento portland y emulsiones asfálticas aplicadas a una base granular, estableciendo mediante la contrastación de hipótesis e interpretaciones, las conclusiones finales para esta investigación.

Investigación descriptiva, porque se especifica la utilización de estabilizadores, que se van a aplicar en las bases granulares para realizar ensayos de laboratorio, y posteriormente interpretar los resultados para su comparación.

3.2 Diseño de investigación

Es experimental, porque se utilizó muestras de la cantera SEOING E.I.R.L como material de base, para modificar sus propiedades físico químicas y aplicar los estabilizadores ya mencionados, buscando obtener, a partir de la experiencia y resultados de ensayos de laboratorio, la evidencia necesaria para validar nuestra investigación.

3.3 Población y muestra

a) Población

Los pavimentos sin carpeta asfáltica, los cuales necesiten mejorar su comportamiento estructural en la base granular para pavimentos de bajo volumen de acuerdo al diseño con estabilizadores en la ciudad de Lima.

b) Muestra

El material para base granular, cemento portland tipo I y la emulsión asfáltica.

Aproximadamente necesitamos para cada ensayo 3 moldes de 6 kg cada uno, siendo un ensayo por cada estabilizador y uno sin estabilizadores, además de tomar en cuenta el porcentaje de finos y gruesos que es casi el 50% de la muestra total, y agregar un desperdicio del 10%. Haciendo un total aproximado de 200 kilogramos de material granular. Por lo tanto, tenemos como muestra 8 bolsas de 25 kilogramos cada uno. Alrededor de 10kg de cemento sol Tipo I y un galón de emulsión asfáltica.

3.4 Técnicas de recolección de datos

3.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

Documentos y registros:

Se empleará información bibliográfica, virtual y ensayos realizados en laboratorio para tener más alcance sobre nuestra investigación.

Instrumentos de Investigación:

- Hojas de Cálculo del Programa Excel 2016
- Laboratorio de suelos JCH S.A.C.:

Análisis granulométrico por tamizado Norma ASTM C 136

Próctor Modificado Norma ASTM D 1557

Relación de Soporte de California CBR Norma ASTM D 1883

3.4.2 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

El análisis de procesos implica: revisar, reconocer con criterio, observar e inspeccionar todos los componentes de su proceso en laboratorio y cuál es su impacto en el pavimento, resaltando información útil, teniendo relación y coherencia con los objetivos, variables, indicadores y dimensiones.

CAPITULO IV: ESTUDIO DE MATERIAL EN CANTERA

4.1 Estudio de la cantera

4.1.1 Generalidades

Parcela la capitana lote 8 zaracoto alto, Av. Cajamarquilla, Lurigancho-Chosica.

Esta cantera es un cono fluvioaluvional, de muy corto recorrido. Visualizamos la ubicación de la cantera en la Figura 11.

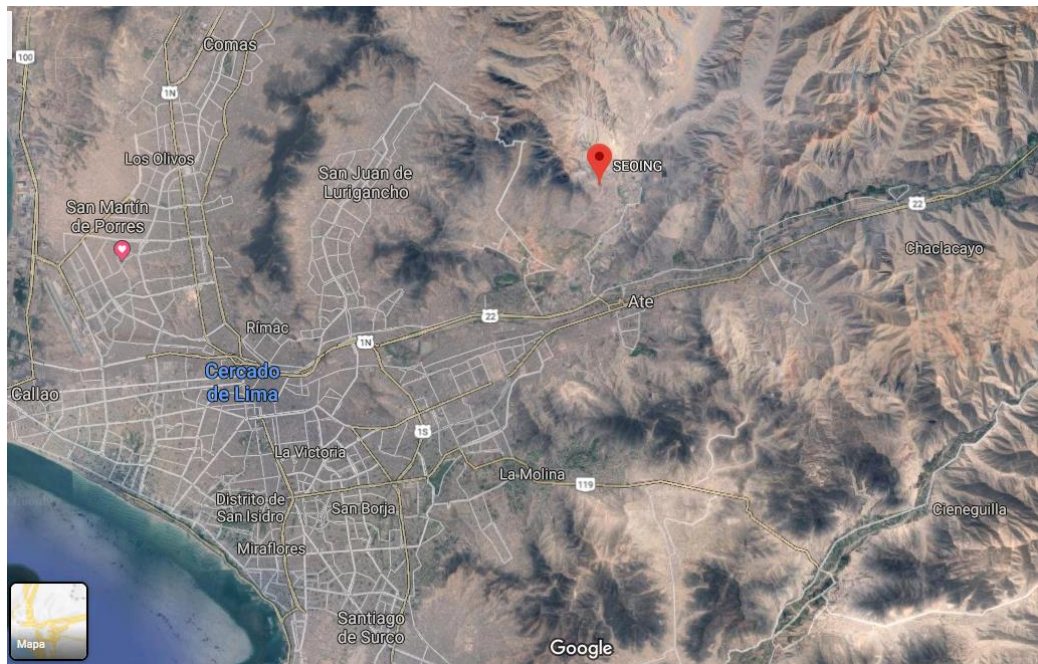


Figura 11: Ubicación de la cantera

Fuente: Google Maps

La cantera SEOING E.I.R.L tiene orientación Sur-Oeste, es un depósito fluvioaluvional de gran recorrido, constituido por cantos de orden de los decímetros de grano de osita fresca, con matriz que contiene desde sedimentos finos hasta arena gruesa con pocas micas y de grano-redondeado a sub-anguloso, también se observa bloques redondeados de hasta 70cm.

Esta cantera viene siendo explotada hace 14 años.

El hormigón es el agregado que se encuentra al natural en la cantera, mientras que, para conseguir otros agregados, estos tienen que ser transportados por tractores hasta una planta clasificadora que separa la piedra de la arena, luego la piedra es llevada por medio de una faja transportadora hasta la chancadora, de donde luego de ser triturada y zarandeada se obtiene la piedra chancada.

4.1.2 Especificaciones técnicas

Los requerimientos que debe cumplir el agregado para garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12:
Requerimientos Granulométricos para Base y Sub-Base Granular

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

Fuente: ASTM D 1241

Resumen de resultados característicos de la cantera

CANTERA

Ubicación : Parcela la capitana lote 8 zaracoto alto, Av.
Cajamarquilla, Lurigancho-Chosica

Acceso : Ingreso principal 4m de ancho

Tipo de material : Afirmado, hormigón, piedra chancada, arena gruesa y arena fina

Clasificación AASHTO: A – 1 – a

Clasificación SUCS : GP – GM

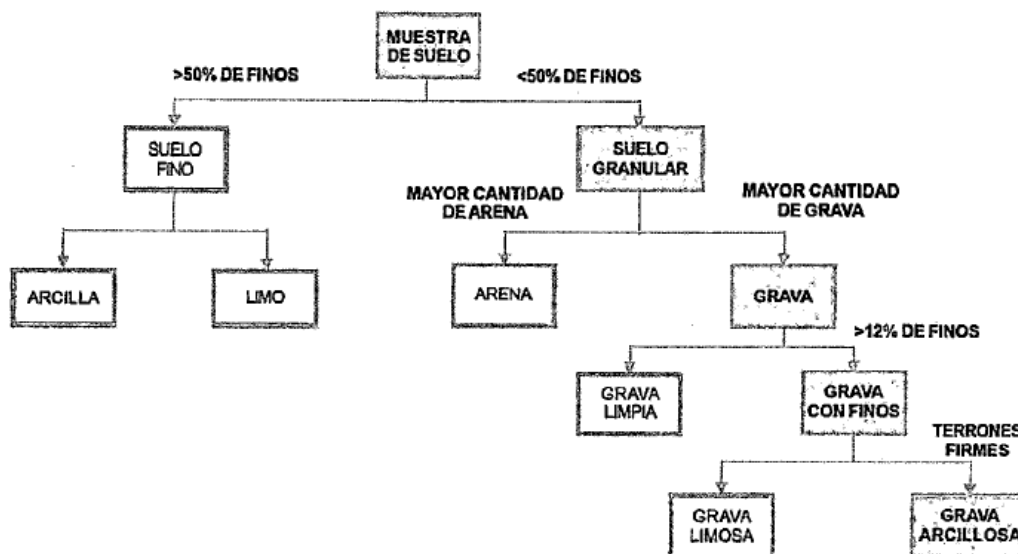


Figura 12: Selección de Material Apropiado

Fuente: Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas: Manual Técnico

En la Figura 12, tenemos el proceso para la selección de un material adecuado.

A continuación, en las Figuras 13 y 14, nos encontramos en la cantera SEOING E.I.R.L. para la visita y acarreo de material de base granular.



Figura 13: Agregados de la cantera

Fuente: Elaboracion propia



Figura 14: Agregados de la cantera

Fuente: Elaboracion propia

AFIRMADO

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla.

Se emplea para el diseño de caminos de bajo volumen de tránsito, esta capa se compacta de forma manual o mecánica sobre la capa de subrasante o suelo. Ver Figura 15.



Figura 15: Tipo de agregado: Afirmado

Fuente: Elaboración propia

PIEDRA CHANCADA

Es de roca ígnea (andesita), formada por el enfriamiento y solidificación de materia rocosa fundida (magma), compuesta casi en su totalidad por silicatos.

Se obtiene por trituración artificial de rocas o gravas y en tamaño, que en nuestro caso es de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ". Ver Figura 16.



Figura 16: Tipo de Agregado: Piedra Chancada

Fuente: Elaboración propia

ARENA FINA

Este material es un conjunto de partículas de rocas disgregadas, de origen aluvial y coluvial, en partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm (milímetros). La naturaleza de nuestro producto hace que sea requerida para muchas de las grandes edificaciones que se construyen en nuestra ciudad capital. Ver Figura 17.



Figura 17: Tipo de Afirmado: Arena Fina

Fuente: Elaboración propia

4.2 Estudio del Suelo

4.2.1 Base Granular

Constituye el principal elemento portante de la estructura del firme, debiendo repartir y absorber la totalidad de las cargas verticales que, aunque atenuadas, penetren en su seno. En firmes rígidos y semirrígidos, esta función de reparto de cargas está distribuida entre el pavimento y la propia capa de base, al tener características resistentes similares. La capa de base presenta, por tanto, una función eminentemente resistente, debiendo ser además compacta y duradera para que sus características mecánicas sean lo más homogéneas posibles durante todo el periodo de proyecto.

El material granular para la capa de base deberá cumplir los requisitos de calidad establecidos de las Especificaciones Técnicas Generales para la construcción de Carreteras mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13:
Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular ()*

Para Carreteras de Segunda Clase, Tercera Clase, Bajo Volumen de Tránsito; o para carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^6$	Mínimo 80%
Para Carreteras de Primera Clase, Carreteras Duales o Multicarril, Autopistas; o para carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $> 10 \times 10^6$	Mínimo 100%

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carretera

(*) Retenido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1”

4.2.2 Sub Base Granular

Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material grueso. Uso y aplicaciones: se emplea como capa en la instalación de pavimentos asfálticos y de concreto.

El material granular para la capa de la sub base deberá cumplir los requisitos mínimos establecidos en las especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras mostradas en la Tabla 14 y 15.

Tabla 14:
Valor Relativo de Soporte, CBR en Sub-Base Granular ()*

CBR en Sub-Base Granular	Mínimo 40%
--------------------------	------------

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carretera

(*) Retenido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1”

Tabla 15:
Requerimientos de Ensayos Especiales

Ensayo	MTC	ASTM	AASHTO	Requerimiento
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	D 1888	-	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas (2)	MTC E 211	D 4791	-	20% máx.

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Sub Rasante

Coronado, J. (2002) “La sub rasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la sub rasante se conoce como Modulo de Resiliencia”. (P.2-4)

La subrasante, denominado también terreno de fundación, presenta características diferentes para cada sección y/o tramo evaluado, los componentes de los suelos son generalmente finos y granulares.

4.2.4 Contenido de Humedad

El contenido de humedad de la muestra del suelo, es la relación del peso de agua contenida a una muestra, al peso de la muestra después de ser secada al horno.

Equipos:

- Balanza, sensible a:
 - +/- 0.01 gr para muestra de menos de 100gr.
 - +/- 0.1 gr para muestras de 200 a 1000gr.
 - +/-1.0gr para muestras de más de 1000gr.

La balanza utilizada se muestra en la Figura 18.



Figura 18: Balanza

Fuente: Elaboración propia

- Un horno secador termostáticamente controlable, con capacidad de mantener una temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, mostrado en la Figura 19.



Figura 19: Horno Secador para las muestras

Fuente: Elaboración propia

- Recipientes adecuados, fabricados de material resistente a la corrosión y/o susceptibles a variar su peso, o romperse por efectos del frío o calor.

4.2.5 Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422, MTC 107)

La granulometría de un suelo indica o da una idea de cómo están distribuidos los granos de este en una muestra representativa de suelo, se utilizan mallas o tamices discriminadores donde quedan materiales eliminados, pasantes y retenidos.

El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo, se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciado uniforme entre hilos denominado abertura o luz de malla, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar.

La denominación de los tamices se hace por la medida de la abertura en pulgadas hasta el de 3/8" y los más pequeños por el número de aberturas en una pulgada lineal.

El análisis granulométrico por tamizado se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices agitando el conjunto. La cantidad de suelo retenido en cada tamiz se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz.

El porcentaje de material que pasa por cada tamiz, determinado de la forma anterior, se representa en gráfico semilogarítmico. El diámetro de la partícula se representa en una escala logarítmica (abscisas), y el porcentaje del material que pasa se representa en escala aritmética (ordenadas). Ver Figura 20.



Figura 20: Tamiz Granulométrico

Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Limite Líquido (ASTM D-4318, MTC E-110)

Un diagrama esquemático de un dispositivo para determinar el límite líquido se muestra en la Figura, que consiste en una copa de bronce y una base de hule duro. La copa de bronce se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela. Para la prueba del límite líquido se coloca una pasta en la copa. Se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar. Luego, con la leva operada por la manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10mm. El contenido de agua en porcentaje para cerrar una distancia de 12.7mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes se define como el límite líquido. Ver Figura 21.

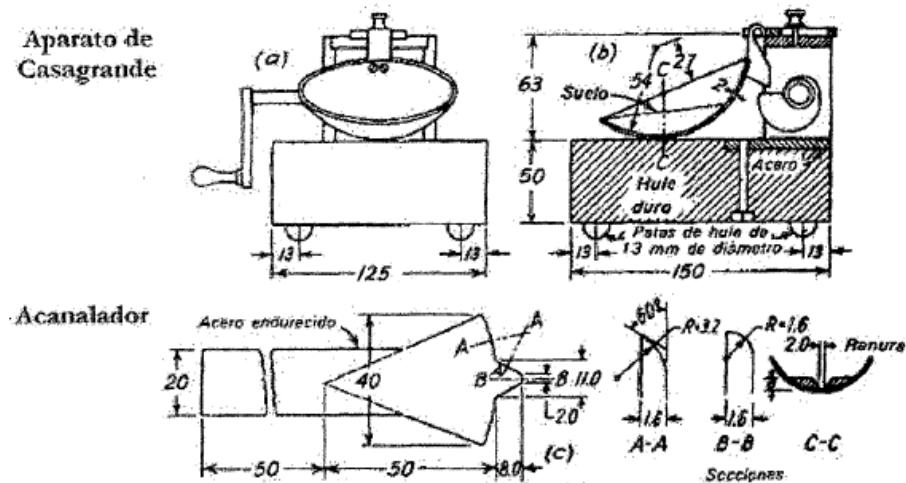


Figura 21: Esquema de Aparato de Casagrande

Fuente: DAS, 1985

4.2.7 Limite Plástico (ASTM D-4318, MTC E-111)

El límite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo de forma elipsoidal.

El índice de plasticidad IP, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.

4.2.8 Índice de Plasticidad

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudio la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad que

muestra la figura. La característica importante de esta carta es la línea A empírica dada por la ecuación: $IP = 0.73(LL-20)$. la línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos orgánicos. las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos para las arcillas inorgánicas se encuentran arriba de la línea A y aquellas para limos inorgánicos se hayan debajo de la línea A. los limos orgánicos se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad. La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base de la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos.

Debe notarse, además que una línea llamada línea U se encuentra arriba de la línea A. la línea U es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. La ecuación para la línea U se da como: $IP=0.9(LL-8)$. Podemos ver en la Figura 22 como se derivan las formulas según la carta de plasticidad de Casagrande.

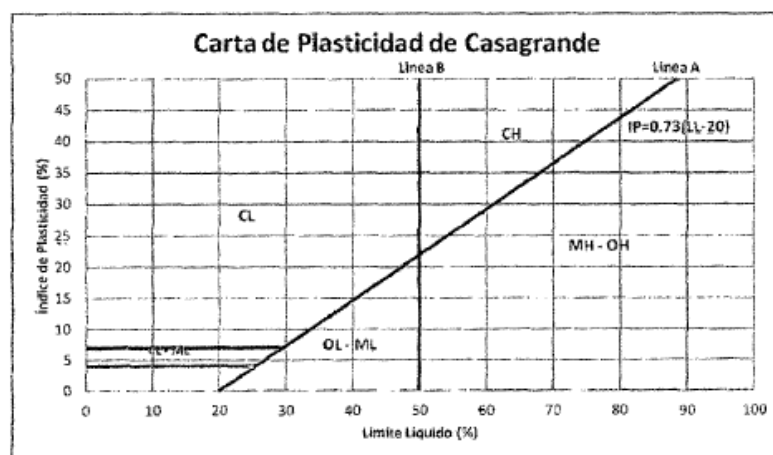


Figura 22: Carta de Plasticidad de Casagrande

Fuente: DAS, 1985

4.2.9 Equivalente de Arena (ASTM D-2419, AASHTO T-176, MTC E-114)

El ensayo de equivalente de arena permite una rápida determinación del contenido en finos de un suelo, dándonos además una idea de su plasticidad.

Para realizarlo, se separa la sección arenosa del suelo mediante el tamiz Nro. 4 y se introduce un volumen de 90cm³ de la muestra en una probeta cilíndrica de 32mm de diámetro y 430mm de longitud, graduada de 2 en 2 mm. A continuación, se introducirá una espesa disolución de trabajo formada por cloruro cálcico, glicerina y formaldehído diluidos en agua destilada, dejando reposar la mezcla durante 10m in. Seguidamente, el conjunto se agitará de forma normalizada, 90 ciclos en 30 segundos, con un recorrido de unos 20cm para conseguir una mezcla íntima. Posteriormente, se dejará reposar durante un tiempo de 20 min.

Una vez transcurrido este tiempo, se podrá observar mediante simple contacto visual la existencia de 2 horizontes, uno de ellos correspondiente a la fracción arenosa del suelo y otro por encima del anterior, relativo a la proporción de finos existente en la muestra. Ver Figura 23.

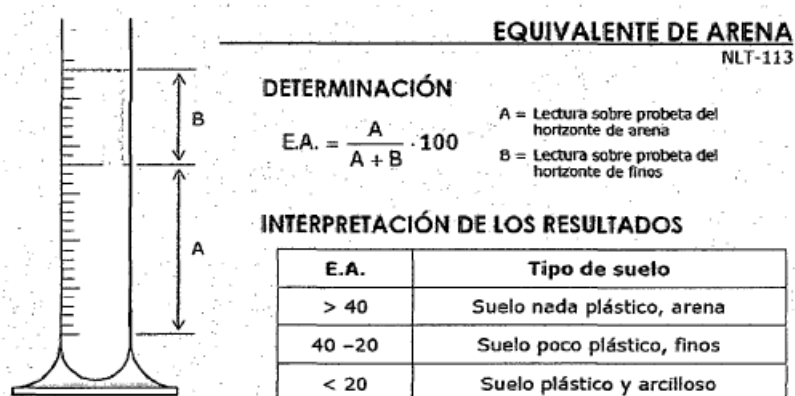


Figura 23: Determinación del Equivalente de Arena

Fuente: Bañon Blazquez & Bevia García, 2009

4.2.10 Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (AASHTO T 85, ASTM C217)

El objetivo de este ensayo es determinar el Peso Específico Seco, el Peso Específico Saturado con Superficie seca, el Peso Específico Aparente y la Absorción del agregado grueso a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en el control de uniformidad de sus características físicas. Ver Tabla 16.

Tabla 16:
Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo

Tamaño Máximo Nominal	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo (Kg)
1/2"	2
3/4"	3
1"	4
1 1/2"	5
2"	8
2 1/2"	12
3"	18
3 1/2"	25
4"	40
4 1/2"	50
5"	75
6"	125

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.021, 2002

CAPITULO V: ENSAYOS DE LABORATORIO

5.1 Ensayo Próctor Modificado

5.1.1 Objetivo

Determinar el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de los diferentes suelos estabilizados: Cemento portland y Emulsión Asfáltica.

5.1.2 Equipos

- Molde de 6": Molde que tenga un promedio 6.00 ± 0.026 pulg. (152.4 ± 0.7 mm) de diámetro interior, una altura de 4.584 ± 0.018 pulg. (116.4 ± 0.5 mm) y un volumen de 0.075 ± 0.0009 pie³ (2124 ± 25 cm³). Ver Figura 24.



Figura 24: Molde para próctor modificado

Fuente: Elaboración propia

- Pisón o Martillo Modificado: El pisón debe de caer libremente a una distancia de 18 ± 0.05 pulg. (457.2 ± 1.6 mm.) de la superficie del espécimen. Las masas del pisón será 10.0 ± 0.02 lb. (4.54 ± 0.01 kg.). La cara golpeante del pisón deberá ser plana y circular. Ver Figura 25.



Figura 25: Pistón o martillo modificado

Fuente: Elaboración propia

- Balanza: Una balanza que tenga una aproximación de 1 gramo
- Horno: El control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme o a través de una cámara de secado.
- Regla: Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10" (25.4 cm.). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de ± 0.005 pulg. (± 0.1 mm). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que $1/8$ pulg. (± 3 mm).
- Tamices o Mallas: De $3/4$ pulg., $3/8$ pulg. y N° 4.
- Herramientas de mezcla: Diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, paletas, espátula entre otros. Como se muestra en la Figura 26.



Figura 26: Herramientas para elaboración de los ensayos

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Procedimiento

Se pesa el material de suelo a través de los tamices No 4, 3/8" y 3/4" respectivamente, de manera que por porcentaje de participación de los pesos retenidos en dichas mallas se obtenga el método a ser usado (A, B o C).



Figura 27: Tamizado de la muestra

Fuente: Elaboración propia



Figura 28: Tamizado de la muestra

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27 y 28, realizamos el tamizado de la muestra.



Figura 29: Suelo tamizado

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 29, se puede ver la separación por diámetros de agregado según su granulometría. En la Tabla 17 se muestra los métodos a usar de los ensayos de laboratorio.

Tabla 17:
Elección del método a usar en el ensayo

ESPECIFICACIONES		METODOS		
		A	B	C
Molde	Diámetro (")	4	4	6
	Altura (")	4.58	4.58	4.58
Material	Pasa el tamiz N°4	Pasa el tamiz de 3/8"	Pasa el tamiz 3/4"	Pasa por el tamiz 3/8"
	Capas	5	5	5
	Golpes / capa	25	25	56
	Uso	Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8"	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8" y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4"

Fuente: ASTM D 1557

Se determina el contenido de humedad del suelo procesado. Se prepara mínimo cuatro especímenes con contenidos de agua diferentes, de modo que estos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado, ver Figura 30.



Figura 30: Muestra de los especímenes

Fuente: Elaboración propia

Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o utilizando un horno que no exceda los 60° C. Disgregar por completo los grumos de tal modo que se evite moler las partículas individuales. El suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado en 5 capas dentro de un molde de dimensiones 6" de diámetro.

Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos, cuando son plateados, representan una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Los valores de Óptimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero por adiciones de agua y mezcla. Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varié alrededor del 2%. Como mínimo son

necesarios dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación. Los incrementos de contenidos de agua no deberán excederán de 4%.

Compactar el espécimen en cinco capas para este ensayo. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación o un cilindro de 2 pulgadas de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las dos primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortado. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo u otro aparato disponible pueden ser usados. La cantidad total de suelo será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 1/4" (0.6 cm) de la parte superior del molde. Si la tercera capa o quinta capa (última capa) se extiende más de 1/4". (0.6 cm) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado, también será descartado si el último golpe para la última capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación. Compactar cada capa con 56 golpes, cuando se usa el molde de 6" (15.24 cm). Después de la compactación de la última capa. Remover el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

Cuidadosamente se enrasa el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con un suelo no usado o despejado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde.

Se determina y registra la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido al plato base al molde, determínese y anótese la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

Remueva el material del molde y obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen o una proporción representativa: Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado.

Después de la compactación del último espécimen, se compara los pesos unitario húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada peso unitario seco y anotar el peso unitario húmedo y contenido de agua de cada espécimen compactado puede ser una ayuda para realizar estas evaluaciones adicionales. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, el valor de contenido de agua mayor que el agua de contenido de agua definido por la máxima densidad seca húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para la máxima densidad seco.

5.1.4 Cálculo

Se calcula el peso unitario seco y contenido de agua para cada espécimen compactado, se debería de obtener como muestra el gráfico (Ver Figura 31). Platee el peso unitario seco con aproximación de 0.1 lb/pie³ (0.2 KN/m³) y con contenido de agua a 0.1 %. En base a la curva de compactación, determine el óptimo contenido de agua y el peso unitario máximo seco. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado fue removido por la muestra, calcular el máximo peso específico y óptimo contenido de humedad corregido del material total usando la norma ASTM D 4718 (Método de ensayo para la corrección del peso unitario y contenido de agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas).

Esta corrección debe de realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que el espécimen de ensayo de laboratorio.

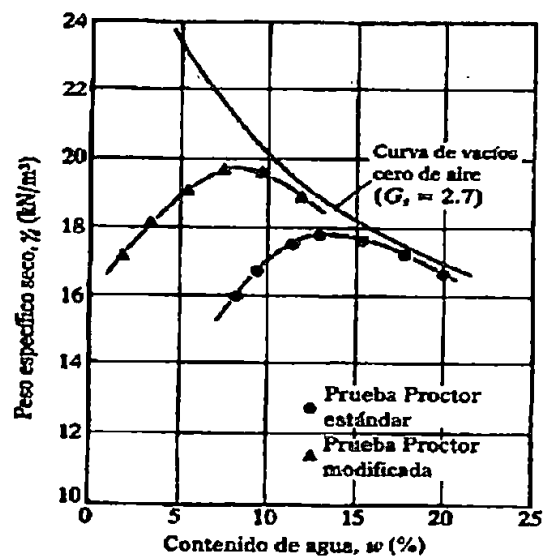


Figura 31: Curvas de compactación Próctor Modificado

Fuente: ASTM D 1557

Contenido de agua. (w). Calcular de acuerdo al método de ensayo MTC E 108.

Peso unitario seco. Calcular la densidad húmeda, la densidad seca, y luego el peso unitario seco, como sigue:

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

Dónde:

ρ_m = peso unitario húmedo del espécimen compactado (kg/m³).

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (kg.)

M_{md} = Masa del molde de compactación (kg.)

V = Volumen del molde compactación (m³).

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

Dónde:

ρ_d = Peso unitario seco del espécimen compactado (kg/m³).

w = contenido de agua (%)

5.1.5 Ensayo de compactación de suelos Próctor Modificado Suelo – Cemento

Portland

Se realizaron los ensayos de laboratorio a la mezcla Suelo – Cemento Portland de la base granular, siguiendo los pasos a continuación.

Cuando se propone el diseño de mezcla, esto varía en función del tipo de estabilización que se va a realizar.

Para el diseño de mezcla de base, en la estabilización suelo cemento, se propone adoptar en función del tipo de suelo, según la Tabla 18, el contenido de cemento recomendado.

Tabla 18:
Porcentaje en cemento según la clasificación del suelo

CLASIFICACIÓN DE SUELOS ASSHTO	RANGO DE CEMENTO REQUERIDO % DE PESO DEL SUELO
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)

En ACI en la Tabla 19, muestra la clasificación SUCS y ASSHTO según el tipo de suelo, los contenidos teóricos para la estabilización de suelo.

Tabla 19:
Rango típico cemento según clasificación de suelo

ASSHTO	ASTM (SUCS)	Rango típico de cemento (% en peso)
A - 1 - a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3 - 5
A - 1 - b	GM, GP, SM, SP	5 - 8
A - 2	GM, GC, SM, SC	5 - 9
A - 3	SP	7 - 11
A - 4	CL, ML	7 - 12
A - 5	ML, MH, CH	8 - 13
A - 6	CL, CH	9 - 15
A - 7	MH, CH	10 - 16

Fuente: ACI 230 1R

Primero, pesamos la cantidad de cemento a utilizar de acuerdo a nuestra dosificación, para este caso la muestra es de 6 kg, que equivale a 6000 gr.

La cantidad de cemento es de 300gr, correspondiente al 5% según los parámetros en las tablas antes mencionados como se muestra en la Figura 32.



Figura 32: Muestra de cemento al 5%

Fuente: Elaboración propia

Separamos nuestras muestras de afirmado y cemento para proceder a su mezcla.

Ver Figura 33.



Figura 33: Muestra de afirmado y cemento

Fuente: Elaboración propia

Mezclamos el afirmado con cemento y agua al 4%, 6% y 8%. Ver Figura 34.



Figura 34: Mezcla de cemento, afirmado y agua

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar la mezcla, se separa en cinco cantidades aproximadamente iguales para la compactación en el molde para próctor modificado, son 5 capas de 56 golpes de compactación por capa. Ver Figura 35 y 36.



Figura 35: Proceso de compactación de ensayo Próctor modificado

Fuente: Elaboración propia



Figura 36: Proceso de compactación de ensayo próctor modificado

Fuente: Elaboración propia

A continuación, pesamos y anotamos las muestras obtenidas luego de su compactación. Ver Figura 37.



Figura 37: Peso de molde con muestra para ensayo próctor modificado

Fuente: Elaboración propia

5.1.6 Ensayo de compactación de suelos Próctor Modificado Suelo – Emulsión

Asfáltica

Se realizó los ensayos de laboratorio a la mezcla Suelo-Emulsión de la Base Granular, siguiendo la siguiente secuencia.

5.1.6.1 Cálculo del Contenido tentativo de Emulsión

Para determinar el óptimo contenido de emulsión, es necesario primero partir de un contenido de emulsión teórico, es un valor promedio obtenido de las diferentes ecuaciones presentadas a continuación:

- La primera ecuación es propuesta por la Universidad de Illinois – EUA, “Metodología Propuesta de Illinois para Diseño de Mezcla en Frio Emulsión – Agregado”
- Segunda ecuación emplea el Método de TACOMA

En la Tabla 20, se muestra la granulometría del material a estabilizar.

Tabla 20:
Granulometría del material a estabilizar

Tamiz		Peso Retenido (grs)	Porcentaje Parcial retenido (%)	Porcentaje Acumulado	
(Pulg.)	(mm)			Retenido (%)	Que pasa (%)
3.0	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
2.0	53.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0
1.5	37.5 mm	150.1	6.5	6.5	93.5
1.0	25.0 mm	244.8	10.5	17.0	83.0
0.8	19.0 mm	222.0	9.5	26.5	73.5
0.5	12.5 mm	240.0	10.3	36.8	63.2
0.4	9.5 mm	235.2	10.1	46.9	53.1
0.3	6.3 mm	254.1	10.9	57.9	42.1
N 4	4.75 mm	160.4	6.9	64.8	35.2
N 6	3.35 mm	0.0	0.0	64.8	35.2
N 8	2.36 mm	0.0	0.0	64.8	35.2
N 10	2.00 mm	278.8	12.0	76.7	23.3
N 16	1.18 mm	0.0	0.0	76.7	23.3
N 20	850 µm	110.2	4.7	81.5	18.5
N 30	600 µm	26.8	1.2	82.6	17.4
N 40	425 µm	24.0	1.0	83.7	16.3
N 50	300 µm	0.0	0.0	83.7	16.3
N 60	250 µm	29.5	1.3	84.9	15.1
N 100	150 µm	24.6	1.1	86.0	14.0
N 200	75 µm	5.1	0.2	86.2	13.8
Fondo					
Finos		320.7	13.8	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos y referencias específicas, realizaremos los cálculos correspondientes aplicando a las ecuaciones presentadas por los diferentes métodos mencionados:

a) Método de Illinois

El método de Illinois, propone como ecuación para poder determinar el contenido teórico de emulsión asfáltica, una expresión basada en los porcentajes retenidos en los tamices. Siendo la ecuación la expresión:

$$E = \left(\frac{0.00138xAxB + 6.358xLog(c) - 4.655}{R} \right) x100 \quad (3)$$

Donde:

E= % de Emulsión

A= % de agregado retenido en el tamiz N° 4

B= % de agregado que pasa N° 4 y retenido en el tamiz N° 200

C= % de material que pasa N° 200

R= % de residuo asfáltico en la emulsión.

Entonces:

A= 4.2

B= 33.5

C= 11.4

R= 60

Por lo tanto, el %Emulsión = 3.76%

b) Método de Tacoma (USA)

Método presentado en la Reunión de AEMA en Silverado Calf. Por Sue Mc Farland. Determina el porcentaje de asfalto teórico, según la siguiente ecuación.

$$\%CA = 0.06A + 0.02B \quad (4)$$

Donde:

%CA= % de asfalto teórico

A= % que pasa la malla 4.75 mm (N°4)

B= (100 – A)

Para determinar el contenido de emulsión, es necesario conocer el contenido de residuo.

R= % Residuo de la emulsión

Entonces el contenido de emulsión es:

$$\%Emulsión = \%E = \frac{\%CA}{\%R} \quad (5)$$

Entonces

$$A = 44.9$$

$$B = 55.1$$

$$\%CA = 3.8$$

Por lo tanto, el %Emulsión = 6.33%

El resumen de los resultados obtenidos por los dos métodos se detalla en la Tabla 21.

Tabla 21:
Contenido de Emulsión

Método	Contenido Tentativo de Emulsión
Método de Illinois	3.76
Método de Tacoma (USA)	6.33
Promedio del Contenido Tentativo de Emulsión	5.05

Fuente: Elaboración propia

Ahora con los resultados de las ecuaciones anteriormente descritas y calculadas, obtenemos un promedio teórico de 5.05%.

5.1.6.2 Cálculo del contenido óptimo de emulsión

Con fines de un mejor análisis consideramos los siguientes porcentajes de emulsión: 3%, 5% y 7% valores que sirven para poder obtener el óptimo contenido de emulsión.

Se realizará el ensayo próctor modificado con los porcentajes descritos anteriormente para poder obtener el contenido óptimo de emulsión.

- **Preparación de las Mezclas para los Especímenes**

Las mezclas se preparan empleando cada uno de los porcentajes determinados y de acuerdo con los pesos calculados. Ver Figura 38, 39 y 40.



Figura 38: Emulsión Asfáltica al 3%

Fuente: Elaboracion propia



Figura 39: Emulsión Asfáltica al 5%

Fuente: Elaboracion propia



Figura 40: Emulsión Asfáltica al 7%

Fuente: Elaboración propia

Se prepara mínimo tres especímenes con contenidos de Emulsión Asfáltica de 3%, 5% y 7% de modo que estos tengan un contenido de emulsión lo más cercano al óptimo estimado.



Figura 41: Muestra de suelo – Emulsión

Fuente: Elaboración propia



Figura 42: Muestra Suelo – Emulsión

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41, 42, 43 y 44, se detalla la mezcla de material con la emulsión asfáltica.



Figura 43: Muestra Suelo – Emulsión

Fuente: Elaboración propia



Figura 44: Mezclas Suelo – Emulsión

Fuente: Elaboración propia

Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número de contenido de Emulsión Asfáltica para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Emulsión. Con estos datos, cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de compactación.

Los valores de Óptimo Contenido de Emulsión y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

5.2 Ensayo California Bearing Ratio (CBR ASTM 1883)

5.2.1 Objetivos

Determinar la capacidad portante de los suelos. El ensayo se realiza sobre suelos preparados en el laboratorio, en condiciones determinadas de humedad y densidad.

Como parte de la investigación se aplica este ensayo también a suelos mezclados con diferentes estabilizadores, como los son, la mezcla suelo – cemento y suelo – emulsión.

Los valores de resistencia se emplean para evaluar la capacidad de portante, como parte de la investigación se evalúa las diferentes mezclas mencionadas; obteniendo parámetros usados para el diseño estructural, valores como los Módulos Resilientes calculados en forma indirecta a partir de los valores de CBR obtenidos en el laboratorio.

5.2.2 Procedimiento

Se procede primero a determinar la relación densidad - humedad del suelo, empleando el método próctor modificado. Para cada ensayo CBR se prepara un juego de 3 moldes de 6" de diámetro, cada uno de estos moldes previamente se determina las dimensiones, peso y volumen.

Para la elaboración de los especímenes se emplea 6 kg de muestra, las proporciones granulométricas dependen directamente del método empleado para el ensayo próctor modificado.

Se mezcla el material hasta homogeneizarla en la bandeja, haciendo uso de una espátula se procede agregarle agua a la muestra, obteniendo una mezcla con un contenido de humedad óptima.

Para realizar la compactación, se acondiciona el collar a los moldes, se coloca el disco espaciador y luego un papel filtro del mismo diámetro que el disco espaciador, se coloca la primera capa de material, y se procede a compactar mediante un proceso dinámico. Cada espécimen compactado en 5 capas. El

primer espécimen es compactado con 10 golpes por cada; la segunda probeta con 25 golpes por capa y la tercera probeta con 56 golpes por cada capa.

Las compactaciones son realizadas usando un pisón de 10 lb (44.5N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457mm), produciendo una energía de compactación de 56000 lb-pie/pie³ (27000kN-m/m³).

Una vez finalizada la compactación se quita el collar del molde y se procede a enrasar las irregularidades producidas al quitar el collar en la última capa compactada, el enrasado consiste en nivelar al ras del molde y para ello se rellena con material fino, comprimiendo con la espátula, finalizado el enrasado se pesa el material compactado conjuntamente con el molde, del material compactado que se extrae en el collar se extrae una muestra representativa para poder determinar el contenido de humedad, esta muestra es pesada en una tara, y se precede a secado por un periodo de 24 horas en el horno.

El molde es desmontado y montado en forma invertida, en el espacio dejado por el disco espaciador se coloca la sobrecarga antes de ser sumergida.

Los especímenes confinados en su molde son sumergidos en una posa con agua por un periodo de 4 días, durante este periodo de inmersión, se evalúa la expansión que puede producirse en el espécimen, para este fin se utiliza un dial de deformación y se toma lecturas a diferentes periodos.

La inmersión representa el estado a la cual el suelo estará sometido durante su periodo de servicio (zona donde se construirá el pavimento), de la misma manera representa el estado crítico.

Posterior a la inmersión se extrae la muestra y por un periodo de 15 minutos se deja al medio ambiente, permitiendo la pérdida de humedad. El ensayo de

penetración se realiza con un anillo de penetración de 50 kN y a una velocidad de 1.27 mm (0.05") por minuto, y la lectura en el dial se toman de acuerdo a los formatos del ensayo.

Terminado el ensayo de penetración se procede se extrae una muestra de suelo húmedo, con la finalidad de determinar la humedad final y evaluar el grado de absorción que el material presenta durante la inmersión. Esta muestra se extrae en una tara, siendo pesada y finalmente secada en el horno por un periodo de 24 horas.

Se procede a realizar trabajos en gabinete de acuerdo a las lecturas del dial y a las correcciones para determinar la carga de acuerdo a las constantes del anillo empleado para la penetración.

En el procesamiento de resultados de deformaciones se realizaron las correcciones en las curvas cóncavas, generadas por este mal acomodado del agregado en el molde al momento de la preparación de las muestras al realizar el ensayo CBR.

5.2.3 Ensayo CBR de suelo – Cemento Portland

El ensayo se realiza siguiendo la norma ASTM D 1883, y el procedimiento en laboratorio es el siguiente:

- Procedimiento de mezclado: Habiendo ya asumido la cantidad de 5% de cemento portland tipo I – Cemento Sol, anteriormente. Procedemos a mezclar la muestra con cemento y agua, haciendo que el color de la mezcla sea uniforme. Separamos en 5 partes iguales el total de la muestra.
- Procedimiento de compactación: Se procede a compactar la mezcla en 03 moldes para CBR en 05 capas cada molde con 12, 25 y 56 golpes

respectivamente. Después del compactado se pesan los 03 moldes y se registra esa lectura. Ver Figura 45.

- Ensayo de Penetración: Compactadas las muestras, se sumerge los 03 moldes en agua durante 96 horas para simular la condición crítica de saturación.
- Se coloca un dial de deformación inmediatamente después de sumergir los moldes, se registra la lectura de este y se toma como valor inicial. Se toma una lectura del día cada 24 horas y se registra.

Pasada las 96 horas se retiran los moldes del agua y se dejan airear hasta que los moldes estén secos, luego se procede al ensayo de penetración de acuerdo a la norma ASTM D 1883. Ver Figura 46.



Figura 45: Compactación de CBR de muestra con cemento

Fuente: Elaboración propia



Figura 46: Moldes de CBR de muestra con cemento en saturación

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Ensayo CBR de suelo – Emulsión Asfáltica

El ensayo se realiza siguiendo la norma ASTM D 1883, y el procedimiento en laboratorio es el siguiente:

- Procedimiento de mezclado: Habiendo ya asumido la cantidad de 5.8% de emulsión asfáltica anteriormente. Procedemos a mezclar la muestra con la emulsión y agua, haciendo que el color de la mezcla sea uniforme. Separamos en 5 partes iguales el total de la muestra. Ver Figura 47.
- Procedimiento de Compactación: Se deja airear la mezcla antes de la compactación, luego se procede a compactar la mezcla en 03 moldes para CBR en 05 capas cada molde con 12, 25 y 56 golpes respectivamente. Después del compactado se pesan los 03 moldes y se registra esa lectura.



Figura 47: Preparación de los moldes para el CBR

Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de Penetración: Después de compactadas las muestras, se sumerge los 03 moldes en agua durante 96 horas para simular la condición crítica de saturación. Ver Figura 48.



Figura 48: Moldes para el CBR de la mezcla Suelo - Emulsión en saturación

Fuente: Elaboración propia

- Se coloca un dial de deformación inmediatamente después de sumergir los moldes, se registra la lectura de este y se toma como valor inicial. Se toma una lectura del día cada 24 horas y se registra.

Pasada las 96 horas se retiran los moldes del agua y se dejan airear hasta que los moldes estén secos, luego se procede al ensayo de penetración de acuerdo a la norma ASTM D 1883. Ver Figura 49 y 50.



Figura 49: Ensayo de CBR Suelo – Emulsión

Fuente: Elaboración propia



Figura 50: Realizando el ensayo del CBR

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

6.1 Métodos de diseño

El diseño estructural se hizo con el método ASSHTO 1993, usado para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, con el fin de representar las relaciones deterioro – solicitud y el método NASSRA, hoy llamado AUSTROADS, el cual muestra su eficiencia y economía en caminos de bajo volumen de tráfico.

La diferencia entre ambos métodos será en el nivel de confiabilidad propuesta en cada método.

El objetivo de la utilización de estos dos métodos, es optimizar los espesores para el afirmado, obteniendo costos de diseño económicos.

6.2 Método AASHTO 1993

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real, denominado AASHO ROAD TEST, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro – solicitud para todas las condiciones ensayadas.

A partir de los resultados obtenidos, se produjo en 1972 la “Guía provisional AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles”.

La versión del año 1986, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Los modelos matemáticos respectivos también requieren de una calibración para las condiciones locales del área donde se aplican.

En el método ASSHTO 1993, se ha tenido en cuenta la incertidumbre que se presenta en la proyección de tránsito y en los distintos niveles del comportamiento en servicio.

La ecuación original respondía a condiciones medias por lo que plantea la posibilidad que, habiéndose verificado, con suficiente aproximación, el comportamiento del camino vs tránsito, que sigue la distribución normal de Gauss, pueden aplicarse conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada. Las variables fundamentales para el concepto de confiabilidad son: condición del pavimento, número de ejes acumulados y comportamiento del pavimento.

Principalmente este diseño se basa en dos parámetros importantes:

- a. Las cargas de tráfico vehicular que soportara el pavimento
- b. Las características de subrasante que se asienta el pavimento

Las cargas de tráfico vehicular que soportara el pavimento, esta expresado en ESALS, Equivalent Single Axle Loads 18 kip o 80 kN o 8.2 tn, lo que se denomina Ejes equivalentes (EE). La sumatoria de ESALS en el periodo de diseño es referida como W18 o ESALS, o también conocido como Número de repeticiones de EE de 8.2 tn.

Para el diseño de pavimentos flexibles, y parámetro de tráfico, hay tres categorías, como se muestra en la Tabla 22, 23 y 24:

- a. Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150001 hasta 1000000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Tabla 22:
Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el carril de diseño

Tipos Trafico expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado Expresado en EE
TP1	> 150000 EE
	≤ 300000 EE
TP2	> 300000 EE
	≤ 500000 EE
TP3	> 500000 EE
	≤ 750000 EE
TP4	> 750000 EE
	≤ 1000000 EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

b. Caminos de 1000001 hasta 30000000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Tabla 23:
Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2tn, en el carril de diseño

Tipos Trafico expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado Expresado en EE
Tp5	> 1000000 EE
	≤ 1500000 EE
Tp6	> 1500000 EE
	≤ 3000000 EE
Tp7	> 3000000 EE
	≤ 5000000 EE
Tp8	> 5000000 EE
	≤ 7500000 EE
Tp9	> 7500000 EE
	≤ 10000000 EE
Tp10	> 10000000 EE
	≤ 12500000 EE
Tp11	> 12500000 EE
	≤ 15000000 EE
Tp12	> 15000000 EE
	≤ 20000000 EE
Tp13	> 20000000 EE
	≤ 25000000 EE
Tp14	> 25000000 EE
	≤ 30000000 EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

- c. Caminos de un tránsito mayor a 30000000 EE en el carril y periodo de diseño. Este diseño será materia de un estudio especial, analizando diversas alternativas de pavimento equivalentes y justificando esta solución.

Tabla 24:

Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2m, en el carril de diseño

Tipos Trafico expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado Expresado en EE
TP15	> 30000000 EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

6.2.1 Ecuación de diseño estructural del pavimento

$$\log_{10}Wt_{18} = ZR * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}MR - 8.07 \quad (6)$$

6.2.2 Variables para el diseño

Variables Independientes en la fórmula:

Wt_{18} : Numero de aplicaciones de cargas equivalentes de 80kN acumuladas en el periodo de diseño (n)

ZR : Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad de diseño (R) o grado de confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

S_o : Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

Δ PSI : Perdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre “planitud” (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción, Serviciabilidad inicial (po) y su planitud al final del periodo de diseño Servicapacidad Final (pt).

Mr : Modulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub bases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

Variables Dependientes en la fórmula:

SN : Numero estructural o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

6.2.2.1 Periodo de diseño

Diseñamos un pavimento flexible utilizando el “Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” para caminos de bajo volumen de tránsito, y periodo de diseño en una etapa de 05 años.

6.2.2.2 Parámetro de transito W18

Para la presente investigación asumimos el valor de Ejes equivalentes teórico de 300000 EE, que representa un valor bajo para un diseño de bajo volumen de tránsito.

6.2.2.3 Módulo de Resilencia MR

El módulo de resiliencia es una medida de la rigidez de la subrasante, para el cual se aplicará la siguiente ecuación, que correlaciona el porcentaje de CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide):

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.64} \quad (7)$$

Utilizamos el valor de CBR de subrasante mínimo requerido para el diseño de pavimentos que es 6%, ya que, si se utiliza menos porcentaje de CBR, conlleva a realizar algún tipo de estabilización de la subrasante o reemplazo de material del terreno de fundación, lo cual no es objetivo de nuestra investigación.

Para calcular el número estructural utilizaremos el módulo resiliente del material a utilizar como base y sub base, además de la subrasante.

6.2.2.4 Confiabilidad (%R)

El método ASSHTO incorpora el criterio de confiabilidad (%R) el cual representa la probabilidad de una determinada estructura se comporte de acuerdo a lo proyectado, durante su periodo de diseño. Esta probabilidad está en función de la variabilidad que influye en la estructura del pavimento y su comportamiento; sin embargo, existen otros factores como la calidad de construcción, condiciones climáticas extraordinarias, aumento del tráfico proyectado, entre otros; que pueden reducir la vida útil del pavimento.

El comportamiento del pavimento con el tráfico, sigue una ley de distribución normal, por ende, pueden aplicarse conceptos básicos de estadística para lograr la confiabilidad, por ejemplo, 90% o 95%, lo cual quiere decir que un 5% a 10% del tramo pavimentado se encuentra con un índice de serviciabilidad inferior al previsto, entonces el modelo de comportamiento queda basado en criterios de serviciabilidad y no en un mecanismo de falla. Como consecuencia, si hay mayor nivel de confiabilidad se incrementa el espesor de la estructura del pavimento a diseñar.

La confiabilidad no se ingresa directamente en la ecuación de diseño, sino que debe calcularse como coeficiente estadístico, el que se denomina como Desviación Normal Estándar (Z_r).

A continuación, en la Tabla 25 se muestran los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico:

Tabla 25:
Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño

Tipo De Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	100000	150000	65%
	TP1	150001	300000	70%
Resto de Caminos	TP2	300001	500000	75%
	TP3	500001	750000	80%
	TP4	750001	1000000	80%
	TP5	1000001	1500000	85%
	TP6	1500001	3000000	85%
	TP7	3000001	5000000	85%
	TP8	5000001	7500000	90%
	TP9	7500001	10000000	90%
	TP10	10000001	12500000	90%
	TP11	12500001	15000000	90%
	TP12	15000001	20000000	95%
	TP13	20000001	25000000	95%
	TP14	25000001	30000000	95%
	TP15		> 30000000	95%

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

Para nuestra investigación, nos corresponde según Tabla 25, para el tipo de suelo TP1 el valor de Nivel de confiabilidad de 70%.

6.2.2.5 Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r)

El coeficiente estadístico de desviación estándar normal representa el valor de confiabilidad elegida, para un conjunto de datos en una distribución normal.

Tabla 26:
Coficiente estadístico de la desviación estándar normal (Zr)

Tipo De Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Desviación Estándar Normal (Zr)
	TP0	100001	150000	-0.385
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150001	300000	-0.524
	TP2	300001	500000	-0.674
	TP3	500001	750000	-0.842
	TP4	750001	1000000	-0.842
	TP5	1000001	1500000	-1.036
	TP6	1500001	3000000	-1.036
	TP7	3000001	5000000	-1.036
	TP8	5000001	7500000	-1.282
Resto de Caminos	TP9	7500001	10000000	-1.282
	TP10	10000001	12500000	-1.282
	TP11	12500001	15000000	-1.282
	TP12	15000001	20000000	-1.645
	TP13	20000001	25000000	-1.645
	TP14	25000001	30000000	-1.645
	TP15		> 30000000	-1.645

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

Para poder ingresar el dato de Nivel de confiabilidad a la formula, debemos utilizar un coeficiente estadístico como anteriormente se mencionó; según la Tabla 26, tenemos el valor de desviación estándar normal (Zr) de -0.524.

6.2.2.6 *Desviación estándar combinada (So)*

La desviación estándar combinada, es un valor que tiene en cuenta la variabilidad esperada de la proyección del tránsito y factores ya antes mencionados como la calidad de construcción, las condiciones climáticas e incertidumbre del modelo; que afectan al comportamiento del pavimento. Según la Guía ASSHTO, y a través del manual de pavimentos recomienda, para los

pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y 0.50, para el presente diseño elegimos un valor promedio de 0.45.

6.2.2.7 Índice de Serviciabilidad presente (PSI)

El índice de serviciabilidad presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. El valor de este índice varía de 0 a 5. Siendo el valor 5 la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y el valor 0 refleja la peor. Si la condición de la vía por el deterioro decrece, también el PSI decrece.

6.2.2.8 Serviciabilidad inicial (P_i)

La serviciabilidad Inicial (P_i) representa la condición de una vía recientemente construida. La Tabla 27 nos muestra los índices de servicio inicial para los diferentes tipos de tráfico.

Tabla 27:
Índice de serviciabilidad inicial (P_i) según rango de tráfico

Tipo De Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150001	300000	3.80
	TP2	300001	500000	3.80
	TP3	500001	750000	3.80
	TP4	750001	1000000	3.80
	TP5	1000001	1500000	4.00
	TP6	1500001	3000000	4.00
	TP7	3000001	5000000	4.00
	TP8	5000001	7500000	4.00
	TP9	7500001	10000000	4.00
Resto de Caminos	TP10	10000001	12500000	4.00
	TP11	12500001	15000000	4.00
	TP12	15000001	20000000	4.20
	TP13	20000001	25000000	4.20
	TP14	25000001	30000000	4.20
	TP15	> 30000000		4.20

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

La serviciabilidad inicial para nuestra investigación, según Tabla 27, corresponde un valor de 3.80.

6.2.2.9 *Serviciabilidad final o terminal (Pt)*

La serviciabilidad terminal representa la condición de una vía que necesita algún tipo de rehabilitación o reconstrucción. La Tabla 28 nos muestra los índices de serviciabilidad final para los diferentes tipos de tráfico.

Tabla 28:
Índice de serviciabilidad final (Pt) según rango de tráfico

Tipo De Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviciabilidad Final (Pf)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150001	300000	2.00
	TP2	300001	500000	2.00
	TP3	500001	750000	2.00
	TP4	750001	1000000	2.00
	TP5	1000001	1500000	2.50
	TP6	1500001	3000000	2.50
	TP7	3000001	5000000	2.50
	TP8	5000001	7500000	2.50
	TP9	7500001	10000000	2.50
Resto de Caminos	TP10	10000001	12500000	2.50
	TP11	12500001	15000000	2.50
	TP12	15000001	20000000	3.00
	TP13	20000001	25000000	3.00
	TP14	25000001	30000000	3.00
	TP15		> 30000000	3.00

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

La serviciabilidad final para nuestra investigación, según Tabla 28, corresponde un valor de 2.00.

6.2.2.10 Variación de serviciabilidad (ΔPSI)

Es la diferencia asumida para el diseño en desarrollo.

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (8)$$

Tabla 29:
Diferencial de serviciabilidad (ΔPSI) según rango de tráfico

Tipo De Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Diferencial de Serviciabilidad (ΔPSI)
	TP1	150001	300000	1.80
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP2	300001	500000	1.80
	TP3	500001	750000	1.80
	TP4	750001	1000000	1.80
	TP5	1000001	1500000	1.50
	TP6	1500001	3000000	1.50
	TP7	3000001	5000000	1.50
	TP8	5000001	7500000	1.50
	TP9	7500001	10000000	1.50
Resto de Caminos	TP10	10000001	12500000	1.50
	TP11	12500001	15000000	1.50
	TP12	15000001	20000000	1.20
	TP13	20000001	25000000	1.20
	TP14	25000001	30000000	1.20
	TP15		> 30000000	1.20

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

La variación de serviciabilidad para nuestra investigación, viene dada calculando la ecuación, que es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final, o también tomando en cuenta la Tabla 29, de las dos maneras obtenemos el valor de 1.80.

6.2.2.11 Numero estructural requerido (SNR)

La fórmula para el Numero estructural es de:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 + m_3 \quad (9)$$

6.2.3 Datos y Cálculos del Método de diseño AASHTO 1993

La Tabla 30, presenta un resumen de los datos obtenidos según nuestros resultados de ensayo y parámetros asumidos para nuestra investigación.

Tabla 30:
Resultados y parámetros obtenidos

Parámetros	Natural	Cemento	Emulsión
W18	300000	300000	300000
R	65%	65%	65%
Zr	-0.524	-0.524	-0.524
So	0.45	0.45	0.45
CBR	65.10	153.5	75.3
Mr (psi)	36989.8642	64047.2176	40601.2766
Pi	3.8	3.8	3.8
Pf	2	2	2
Δ PSI	1.8	1.8	1.8

Fuente: Elaboración propia

Reemplazamos los datos en la fórmula en la ecuación (6) del método AASHTO 1993: Mediante el reemplazo en la ecuación de los valores, obtenemos el valor teórico de SN2 que corresponde al número estructural de la base granular estabilizada en la Tabla 31.

Tabla 31:
Resultados de Numero estructural según fórmula de base granular

Base	Natural	Cemento	Emulsión
SN2	1.31	1.01	1.26

Fuente: Elaboración propia

Continuamos el cálculo utilizando los CBR del material estabilizado para hallar el número estructural y el espesor de la base en la Tabla 32.

Tabla 32:
Datos de CBR

CBR	Natural	Cemento	Emulsión
Base	65.10	153.5	75.3
Sub base	65.10	153.5	75.3
Subrasante	6.00	6.00	6.00

Fuente: Elaboración propia

Con los CBR anteriormente mencionados, obtenemos el módulo resiliente de cada uno, según la fórmula ya dada en la ecuación (7), en la Tabla 33.

Tabla 33:
Resultados de Modulo Resiliente

Módulo resiliente	Natural	Cemento	Emulsión
Base	36989.86	64047.22	40601.28
Sub base	36989.86	64047.22	40601.28
Subrasante	8042.81	8042.81	8042.81

Fuente: Elaboración propia

Según el método ASSHTO 1993, obtenemos los coeficientes estructurales de las capas, de la siguiente manera:

Para la carpeta asfáltica : $a_1 = 0.184 \times \ln(Mr_1) - 1.9547$

Para la base granular : $a_2 = 0.249 \times \log(Mr_2) - 0.977$

Para la sub base granular : $a_3 = 0.227 \times \log(Mr_3) - 0.839$

Siendo:

Mr1: Modulo resiliente de la base granular

Mr2: Modulo resiliente de la sub base granular

Mr3: Modulo resiliente de la sub rasante

Reemplazando los valores obtenemos los siguientes resultados para los coeficientes estructurales en la Tabla 34.

Tabla 34:
Valores de Coeficiente estructurales

Coeficientes estructurales	Natural	Cemento	Emulsión
a2	0.1605	0.2198	0.1705
a3	0.1980	0.2521	0.2071

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35:
Valores recomendados de coeficientes de drenaje para la bases y sub base

Calidad del Drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5%- 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.30	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos, 2013

Según la Tabla 35, la calidad de drenaje es Bueno para la ciudad de Lima y está en el rango de 5% a 25%. Entonces asumimos los valores de coeficiente de drenaje presentados en la Tabla 36.

Tabla 36:
Coeficientes de drenaje

Coeficientes de drenaje	Natural	Cemento	Emulsión
m2	1.00	1.00	1.00
m3	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

El dimensionamiento se calcula restando el SN2, calculado por formula, el SN1, que es el numero estructural de la carpeta asfáltica, que para este caso el SN1=0. Al valor de SN2 se divide por el producto del coeficiente estructural y el coeficiente de drenaje en la Tabla 37.

$$d2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 \times m2} \quad (10)$$

Tabla 37:
Dimensiones de la Bases Granulares

Dimensión de la Base	Natural	Cemento	Emulsión
Base d2, pulg	8.16	4.59	7.39

Fuente: Elaboración propia

Verificando el dimensionamiento de los espesores, redondeamos al valor inmediato superior máximo sin decimales. Se muestra en la Tabla 38 y este valor se expresa en pulgadas.

Tabla 38:
Verificaciones de dimensiones de la base

Verificación de dimensión de la base	Natural	Cemento	Emulsión
Base d2, pulg	9	5	8
Base d2, cm	22.86	12.7	20.32

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los cálculos, asumimos valores aproximados para el espesor de la base obtenemos las dimensiones de las bases. Ver Tabla 39.

Tabla 39:
Dimensiones de las bases

Dimensiones	Natural	Cemento	Emulsión
Base d2, cm	18	13	15

Fuente: Elaboración propia

Con el espesor final para la base calculamos el numero estructural para la base granular para el material y el material con los estabilizadores. Ver Tabla 40.

Tabla 40:
Numero estructural para la base granular

Cálculo del SN2	Natural	Cemento	Emulsión
SN2	1.44	1.10	1.36

Fuente: Elaboración propia

Repetimos el mismo proceso para hallar el espesor de la sub base, tomando valores de CBR de la subrasante y utilizando las respectivas formulas antes mencionadas para el cálculo de sus coeficientes. Ver Tabla 41.

Tabla 41:
Parámetros y cálculos de diseño estructural *Continúa*

Parámetros	Natural	Cemento	Emulsión
W18	300000	300000	300000
R	65%	65%	65%
Zr	-0.524	-0.524	-0.524
So	0.45	0.45	0.45
CBR	6.00	6	6
Mr (psi)	8042.80806	8042.80806	8042.80806
Pi	3.8	3.8	3.8
Pf	2	2	2
ΔPSI	1.8	1.8	1.8
Base	Natural	Cemento	Emulsión
SN3	2.43	2.43	2.43
CBR	Natural	Cemento	Emulsión
Base	65.10	153.5	75.3
Sub base	65.10	153.5	75.3
Subrasante	6.00	6.00	6.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41:
Parámetros y cálculos de diseño estructural

Módulo reciliente	Natural	Cemento	Emulsión
Base	36989.86	64047.22	40601.28
Sub base	36989.86	64047.22	40601.28
Subrasante	8042.81	8042.81	8042.81
Coefficientes estructurales	Natural	Cemento	Emulsión
a2	0.1605	0.2198	0.1705
a3	0.1980	0.2521	0.2071
Coefficientes de drenaje	Natural	Cemento	Emulsión
m2	1.00	1.00	1.00
m3	1.00	1.00	1.00
Dimensión de la Base	Natural	Cemento	Emulsión
Base d3, pulg	4.98	5.28	5.15
Verificación de dimensión de la base	Natural	Cemento	Emulsión
Base d3, pulg	5	6	6
Base d3, cm	12.7	15.24	15.24
Dimensiones	Natural	Cemento	Emulsión
Base d3, cm	20	15	20
Calculo del SN2	Natural	Cemento	Emulsión
SN3	0.99	1.51	1.24

Fuente: Elaboración propia

Habiendo obtenido los números estructurales de la sub base tenemos los siguientes resultados en la Tabla 42:

Tabla 42:
Resultados de los SN calculado para cada caso

	Natural	Cemento	Emulsión
a2	0.1605	0.2198	0.1705
d2, cm	22.9	12.7	20.3
m2	1.0000	1.0000	1.0000
a3	0.1980	0.2521	0.2071
d3, cm	12.7	15.2	15.2
m3	1.0000	1.0000	1.0000
SN calculado	2.4338	2.6115	2.6070

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, tenemos los datos finales y la comparación entre el numero estructural calculado y el numero estructural obtenido con espesores asumidos a criterio propio; para que estas dimensiones tengan validez deben cumplir con la siguiente condición: $SN > SN \text{ calculado}$. Ver Tabla 43.

Tabla 43:
Cuadro de resumen y valores finales de espesores

Coefficientes	Natural	Cemento	Emulsión	
a2	0.1605	0.2198	0.1705	
d2, cm	18.0000	13.0000	15.0000	Base
m2	1.0000	1.0000	1.0000	
a3	0.1980	0.2521	0.2071	
d3, cm	20.0000	15.0000	20.0000	Sub base
m3	1.0000	1.0000	1.0000	
\sum Espesores	38.00	28.00	35.00	
SN	2.696	2.614	2.638	
SN calculado	2.434	2.612	2.607	

Fuente: Elaboración propia

El número estructural con los espesores cumplen la condición para todos los casos.

6.3 Método de diseño NAASRA – AUSTRROADS

Para el dimensionamiento con el método NAASRA, relacionamos el valor de CBR de subrasante y la carga actuante, expresada en Numero de repeticiones de Ejes Equivalentes:

$$e = (219 - 211 \times (\log CBR) + 58 \times (\log CBR)^2) \times \log\left(\frac{Nrep}{120}\right) \quad (11)$$

Donde:

e : espesor de la capa de afirmado en mm

CBR : valor del CBR de la subrasante

N rep : número de repeticiones de EE para el carril de diseño

El método requiere las subrasantes con CBR entre 6% y 30% y un numero de ejes equivalentes hasta 300000.

6.3.1 Cálculo del método NAASRA - AUSTRROADS

Los datos utilizados son los siguientes:

CBR subrasante = 6%

N rep = 30000 EE

Reemplazando en la formula obtenemos los resultados en la Tabla 44:

Tabla 44:

Resultado del espesor de la capa de afirmado

Espesor de la capa de afirmado		
e	305.58	mm
e	30.56	cm

Fuente: Elaboración propia

Obtenemos 30 cm totales de espesor de diseño; asumimos valores de base de 10cm y de sub base 20cm.

CAPITULO VII ANALISIS DE COSTOS

7.1 Objetivos

Determinar el costo del suelo estabilizado para cada combinación del suelo natural con cada uno de los 2 estabilizadores empleados en la investigación, siendo el costo por metro cuadrado (m²).

7.2 Antecedentes

Para poder afrontar la solución de los problemas sociales y económicos del país, y en específico mejorar la calidad de vida de las poblaciones rurales, así como para restablecer las comunicaciones entre la ciudad y el campo, el estado ha fijado metas para lo cual ha adoptado políticas de incluyen objetivos a corto, mediano y largo plazo, dentro del marco de la descentralización. Una de estas políticas de descentralización consiste en aumentar la inversión en la rehabilitación de la infraestructura rural de transporte que haga posible la reactivación económica de los pueblos aislados por la ausencia de comunicación con las ciudades que propicien su desarrollo sostenible en el tiempo.

Para poder concretar la realización de los objetivos dados, se tiene previsto realizar inversiones significativas en carreteras y caminos no solamente comprendido en la red Nacional, sino también en la red Departamental y vecinal, para lo cual el estado ha solicitado el apoyo del banco Mundial y del Banco Interamericano de Desarrollo, para seguir con el programa de Transporte Rural Descentralizado a cargo del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Descentralizado.

7.3 Generalidades

Desde el punto de vista económico los caminos de bajo volumen de transito extienden el mercado nacional, promueven la producción local al posibilitar las salidas de las

mismas. Los pueblos aislados no pueden sobresalir, las satisfacciones que necesitan sus pobladores son difíciles de conseguir y los caminos en mal estado elevan los costos de transporte y los costos de producción.

Si se construiría un solo camino o unos pocos caminos para unir las comunidades, la inversión no sería tan elevada. Pero si se tratase de construir decenas de miles de kilómetros para unir comunidades; el relativo bajo costo de un camino o de un kilómetro de camino, se tendría que multiplicar por decenas de miles de kilómetros, lo que nos llevaría a un problema financiero, si se optase por asfaltar dichos caminos. De ahí el interés por parte del Ministerio del Transporte y Comunicaciones (MTC) por apostar en mejorar las carreteras de bajo volumen de tránsito, aplicando estabilización asfáltica. Investigar pequeña, comparando con la inversión que conlleva al construir carreteras asfaltadas.

Es ahí, que luego de conceptualizar el problema de inversión en carreteras asfaltadas, y viendo la respuesta del MTC por estabilizar las carreteras de bajo volumen de tránsito con emulsión asfáltica, que nos indujo a realizar la investigación relacionado a este tema, con fines de comprobación, si en verdad estabilizar con Emulsión Asfáltica era la mejor opción a utilizar en las carreteras peruanas de bajo volumen de tránsito, que si se aplicase otro tipo de estabilizador, que para nuestro caso fue utilizado el cemento.

Para fines prácticos en el análisis de costos que se presenta en el capítulo no se considera los costos de alquiler o compra de equipos empleados para realizar el proceso de conformación de capas, ni costos indirectos, llámense gastos fijos y variables que se requiere al momento de realizar un presupuesto para tal partida; sólo se considera en el análisis el costo, el valor de los insumos del material a emplear para la conformación

de las capas estructurales, los índices de rendimiento de los equipos, la mano de obra mínima y un pequeño porcentaje del costo de herramientas manuales.

7.4 Procedimiento

Para la determinación del costo de los dos estabilizadores utilizados en la investigación, se tomó en cuenta el peso unitario suelto de la mezcla suelo - estabilizador en gr/cm^3 , valor obtenido de los ensayos realizados al preparar mezclas de suelo- estabilizador, a fin de conocer la cantidad en m^3 que se deba utilizar en dicha mezcla.

Conociendo el precio actual de los materiales, los cuales son: El Cemento Portland y la Emulsión Astática; así como también los precios de los equipos, los precios de la mano de obra; y de los espesores del afirmado estabilizado obtenidos se realiza: Primero, el Análisis de Costos Unitarios para cada tipo de estabilizador y luego, finalmente con ACU se realiza dos Presupuesto, un presupuesto utilizando los resultados de espesores obtenidos con el Método AASHTO y el otro presupuesto utilizando los espesores obtenidos con el Método NAASRA.

A continuación, se muestra el procedimiento y los resultados del Análisis de Costos Unitarios (ACU) realizado a cada combinación del suelo con cada estabilizador empleado.

7.4.1 Análisis de costos unitarios

Se realiza el análisis de costos unitarios en base a los rendimientos y los costos de los recursos, publicados en la Revista Costos. Los análisis de costos, se realizó para la conformación de la base granular y de la base estabilizada.

A continuación, se presenta los cuadros de resultados, obtenidos del análisis de Costos Unitarios del suelo natural y del suelo estabilizado con: cemento portland y emulsión asfáltica.

Se presenta el análisis de costos unitarios de los dos estabilizadores y la base granular a emplear de acuerdo a los espesores de diseño obtenido a partir del método AASHTO 1993.

CONFORMACION DE BASES ESTABILIZADA						
Partida	CON CEMENTO E= 0.13m					13.87
Rendimiento	m2/DIA	MO	1200	EQ	1200	
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR	hh	1.00	0.0067	16.44	0.110	
OFICIAL	hh	1.00	0.0067	12.13	0.081	
PEON	hh	10.00	0.0667	10.95	0.730	
VIGIAS	hh	3.00	0.0200	10.95	0.219	
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR	m3		0.1690	33.38	5.641	
CEMENTO (5%)	Bol.		0.2275	18.81	4.279	
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0067	133.85	0.892	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0067	147.14	0.981	
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0067	136.62	0.911	
HERRAMIENTAS MANUALES	hm	1.00	3%	0.92	0.028	

* 5% Representa el porcentaje en peso de cemento respecto al Material granular

CONFORMACION DE BASES ESTABILIZADA CON						
Partida	EMULSION ASFALTICA E=0.15m					26.46
Rendimiento	m2/DIA	MO	1600	EQ	1600	
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR	hh	1.00	0.0050	16.44	0.082	
OFICIAL	hh	1.00	0.0050	12.13	0.061	
PEON	hh	3.00	0.0150	10.95	0.164	
VIGIAS	hh	3.00	0.0150	10.95	0.164	
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR	m3		0.1950	33.38	6.509	
EMULSION ASFALTICA CATIONICA BP - CSE - 1h (5.8%)	Bol.		2.5125	6.70	16.834	
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0050	133.85	0.669	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0050	147.14	0.736	
CAMION IMPRIMADOR 6X2 178 - 210HP, 1800 GLN	hm	1.00	0.0050	109.67	0.548	
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0050	136.62	0.683	
HERRAMIENTAS MANUALES	hm		3%	0.31	0.009	

* 5.8% Representa el porcentaje en peso de emulsión asfáltica con agua respecto al Material afirmado

BASE GRANULAR E = 0.18m (AGREGADO PRODUCIDO)

Partida	C/EQUIPO					10.55
Rendimiento	m2/DIA	MO	1500	EQ	1500	
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR DE CAMPO	hh	1.00	0.0053	16.44	0.088	
OFICIAL	hh	1.00	0.0053	12.13	0.065	
PEON	hh	4.00	0.0213	10.95	0.234	
VIGIAS	hh	2.00	0.0107	10.95	0.117	
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR	m3		0.2340	33.38	7.811	
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0053	133.85	0.714	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0053	147.14	0.785	
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0053	136.62	0.729	
HERRAMIENTAS MANUALES	hm		3%	0.39	0.012	

Ahora se presenta las partidas elaboradas en el análisis de Costos Unitarios, para la conformación de los distintos espesores de la sub base aplicando el método AASHTO.

SUB - BASE GRANULAR E = 0.25m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO

Partida	PRODUCIDO) C/EQUIPO					14.53
Rendimiento	m2/DIA	MO	800	EQ	800	
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR DE CAMPO	hh	1.00	0.0100	16.44	0.164	
OFICIAL	hh	1.00	0.0100	12.13	0.121	
PEON	hh	4.00	0.0400	10.95	0.438	
VIGIAS	hh	2.00	0.0200	10.95	0.219	
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR	m3		0.3250	28.90	9.393	
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0100	133.85	1.339	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0100	147.14	1.471	
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0100	136.62	1.366	
HERRAMIENTAS MANUALES	hm	1.00	3%	0.72	0.022	

SUB - BASE GRANULAR E = 0.20m (AGREGADO						
Partida	PRODUCIDO) C/EQUIPO				11.63	
Rendimiento	m2/DIA	MO	1000	EQ	1000	
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR DE CAMPO	hh	1.00	0.0080	16.44	0.132	
OFICIAL	hh	1.00	0.0080	12.13	0.097	
PEON	hh	4.00	0.0320	10.95	0.350	
VIGIAS	hh	2.00	0.0160	10.95	0.175	
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR	m3		0.2600	28.90	7.514	
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0080	133.85	1.071	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0080	147.14	1.177	
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0080	136.62	1.093	
HERRAMIENTAS MANUALES	hm		3%	0.58	0.017	

SUB - BASE GRANULAR E = 0.15M (AGREGADO						
Partida	PRODUCIDO) C/EQUIPO				8.68	
Rendimiento	m2/DIA	MO	1350	EQ	1350	
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR DE CAMPO	hh	1.00	0.0059	16.44	0.097	
OFICIAL	hh	1.00	0.0059	12.13	0.072	
PEON	hh	4.00	0.0237	10.95	0.260	
VIGIAS	hh	2.00	0.0119	10.95	0.130	
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR	m3		0.1950	28.90	5.636	
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0059	133.85	0.793	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0059	147.14	0.872	
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0059	136.62	0.810	
HERRAMIENTAS MANUALES	hm		3%	0.429	0.013	

De acuerdo a la secuencia planteada en el procedimiento descrito en este capítulo, se presenta el análisis de costos Unitarios de las partidas empleadas para la elaboración del segundo presupuesto; empleando resultados obtenidos aplicando el método NAASRA.

CONFORMACION DE BASES ESTABILIZADA

Partida	CON CEMENTO E=0.10m					11.58
Rendimiento	m2/DIA	MO	1200	EQ	1200	

DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
-------------------------	-------	-----------	----------	------------	-------------

MANO DE OBRA

SUPERVISOR	hh	1.00	0.0067	16.44	0.110
OFICIAL	hh	1.00	0.0067	12.13	0.081
PEON	hh	10.00	0.0667	10.95	0.730
VIGIAS	hh	3.00	0.0200	10.95	0.219

MATERIALES

MATERIAL GRANULAR	m3		0.1300	33.38	4.339
CEMENTO (5%)	Bol.		0.1750	18.81	3.292

EQUIPOS

CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0067	133.85	0.892
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0067	147.14	0.981
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0067	136.62	0.911
HERRAMIENTAS MANUALES	hm	1.00	3%	0.92	0.028

* 5% Representa el porcentaje en peso de cemento respecto al Material granular

CONFORMACION DE BASES ESTABILIZADA

Partida	CON EMULSION ASFALTICA E=0.10m					18.68
Rendimiento	m2/DIA	MO	1600	EQ	1600	

DESCRIPCION DEL RECURSO	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
-------------------------	-------	-----------	----------	------------	-------------

MANO DE OBRA

SUPERVISOR	hh	1.00	0.0050	16.44	0.082
OFICIAL	hh	1.00	0.0050	12.13	0.061
PEON	hh	3.00	0.0150	10.95	0.164
VIGIAS	hh	3.00	0.0150	10.95	0.164

MATERIALES

MATERIAL GRANULAR	m3		0.1300	33.38	4.339
EMULSION ASFALTICA CATIONICA BP - CSE - 1h (5.8%)	Bol.		1.6750	6.70	11.223

EQUIPOS

CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL	hm	1.00	0.0050	133.85	0.669
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0050	147.14	0.736
CAMION IMPRIMADOR 6X2 178 - 210HP, 1800 GLN	hm	1.00	0.0050	109.67	0.548
RODILLO LISO	hm	1.00	0.0050	136.62	0.683
HERRAMIENTAS MANUALES	hm		3%	0.31	0.009

* 5.8% Representa el porcentaje en peso de emulsión asfáltica con agua respecto al Material afirmado

SUB - BASE GRANULAR E = 0.30m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO						18.12
Partida						
Rendimiento	m2/DIA	MO	600	EQ	600	
DESCRIPCION DEL RECURSO						Parcial S/.
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR DE CAMPO		hh	1.00	0.0133	16.44	0.219
OFICIAL		hh	1.00	0.0133	12.13	0.162
PEON		hh	4.00	0.0533	10.95	0.584
VIGIAS		hh	2.00	0.0267	10.95	0.292
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR		m3		0.3900	28.90	11.271
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL		hm	1.00	0.0133	133.85	1.785
MOTONIVELADORA		hm	1.00	0.0133	147.14	1.962
RODILLO LISO		hm	1.00	0.0133	136.62	1.822
HERRAMIENTAS MANUALES		hm	1.00	3%	0.72	0.022

SUB - BASE GRANULAR E = 0.20m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO						11.63
Partida						
Rendimiento	m2/DIA	MO	1000	EQ	1000	
DESCRIPCION DEL RECURSO						Parcial S/.
MANO DE OBRA						
SUPERVISOR DE CAMPO		hh	1.00	0.0080	16.44	0.132
OFICIAL		hh	1.00	0.0080	12.13	0.097
PEON		hh	4.00	0.0320	10.95	0.350
VIGIAS		hh	2.00	0.0160	10.95	0.175
MATERIALES						
MATERIAL GRANULAR		m3		0.2600	28.90	7.514
EQUIPOS						
CAMION CISTERNA 4X2 AGUA 122 HP 2000 GAL		hm	1.00	0.0080	133.85	1.071
MOTONIVELADORA		hm	1.00	0.0080	147.14	1.177
RODILLO LISO		hm	1.00	0.0080	136.62	1.093
HERRAMIENTAS MANUALES		hm		3%	0.58	0.017

7.4.2 Presupuesto

El presupuesto realizado, se elaboró en base a los Análisis de Costos Unitarios presentados en la sección anterior, se consideró solo partidas de conformación de sub base y base estabilizadas, siendo estas partidas, las que influyen en mayor proporción en los costos.

El análisis se realizó considerando un ancho de calzado de 4m y para 1 km de longitud de carretera.

Se presenta a continuación el presupuesto elaborado, utilizando en su elaboración resultados obtenidos del diseño estructural con el método AASHTO 93.

1 Presupuesto por afirmado de tramo

Ítem	Descripción Partida cliente	Unid	Metrado	P.U	Parcial S/.
01.00	SUB BASE GRANULAR E=0.20m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO	m2	4000	11.63	46520.00
02.00	BASE GRANULAR E=0.18m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO	m2	4000	10.55	42200.00
				Costo Directo	S/. 88720.00

Presupuesto por afirmado y Base Estabilizada con

2 Cemento de tramo

Ítem	Descripción Partida cliente	Unid	Metrado	P.U	Parcial S/.
01.00	SUB BASE GRANULAR E=0.15m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO	m2	4000	8.68	34720.00
02.00	CONFORMACION DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO (E=0.13m)	m2	4000	13.87	55480.00
				Costo Directo	S/. 90200.00

3 Presupuesto por afirmado y Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica de tramo

Ítem	Descripción Partida cliente	Unid	Metrado	P.U	Parcial S/.
01.00	SUB BASE GRANULAR E=0.20m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO	m2	4000	11.63	46520.00
02.00	CONFORMACION DE BASE ESTABILIZADA CON EMULSION ASFALTICA (E=0.15m)	m2	4000	26.46	105840.00
				Costo Directo	S/. 152360.00

Acuerdo a los espesores obtenidos en el diseño de espesores empleando el método AASHTO, los costos que se obtuvieron se muestran a continuación.

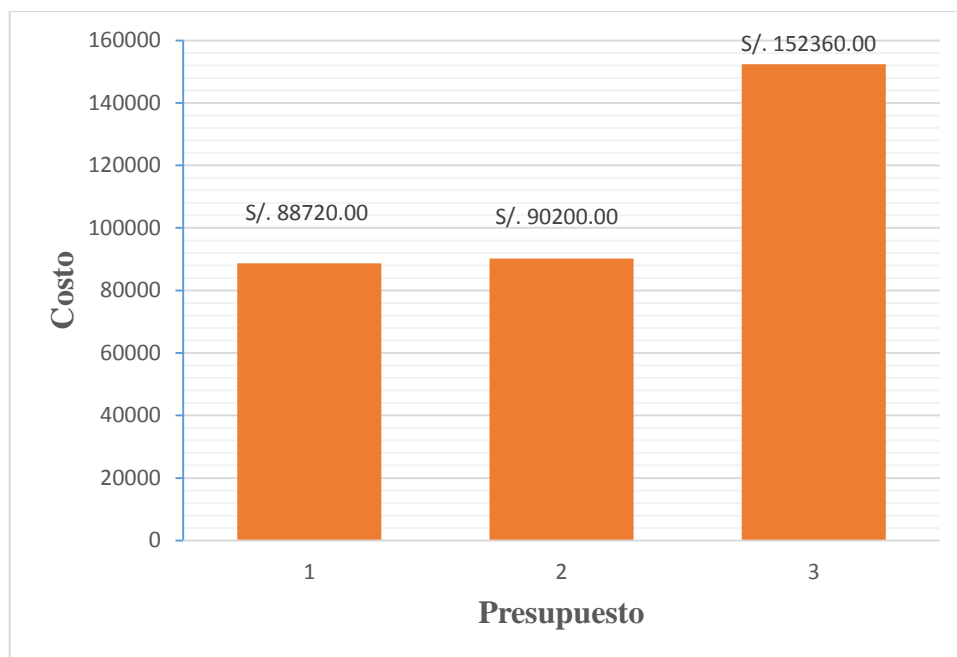


Figura 51: Costos según el diseño AASHTO

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 51 las denominaciones 1, 2 y 3 son:

- 1: Presupuesto por Afirmado de tramo
- 2: Presupuesto de Afirmado y Base estabilizada con Cemento Portland de tramo
- 3: Presupuesto por Afirmado y Base estabilizada con Emulsión Asfáltica de tramo

Se puede observar en la figura que el pavimento con menor costo es la base estabilizada con Cemento Portland conformada con un espesor de 28 cm. Y el pavimento con mayor costo es la Base estabilizada con Emulsión Asfáltica con un espesor de 35cm.

Finalmente se presenta el otro presupuesto realizado, considerando los espesores obtenidos utilizando el método NAASRA.

4 Presupuesto por afirmado de tramo

Ítem	Descripción Partida cliente	Unid	Metrado	P.U	Parcial S/.
01.00	SUB BASE GRANULAR E=0.30m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO	m2	4000	18.12	72480.00
Costo Directo				S/.	72480.00

**Presupuesto por afirmado y Base Estabilizada con
5 Cemento de tramo**

Ítem	Descripción Partida cliente	Unid	Metrado	P.U	Parcial S/.
01.00	SUB BASE GRANULAR E=0.20m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO	m2	4000	11.63	46520.00
02.00	CONFORMACION DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO (E=0.10m)	m2	4000	11.58	46320.00
				Costo Directo	S/. 92840.00

**6 Presupuesto por afirmado y Base Estabilizada
con Emulsión Asfáltica de tramo**

Ítem	Descripción Partida cliente	Unid	Metrado	P.U	Parcial S/.
01.00	SUB BASE GRANULAR E=0.20m (AGREGADO PRODUCIDO) C/EQUIPO	m2	4000	11.63	46520.00
02.00	CONFORMACION DE BASE ESTABILIZADA CON EMULSION ASFALTICA (E=0.10m)	m2	4000	18.68	74720.00
				Costo Directo	S/. 121240.00

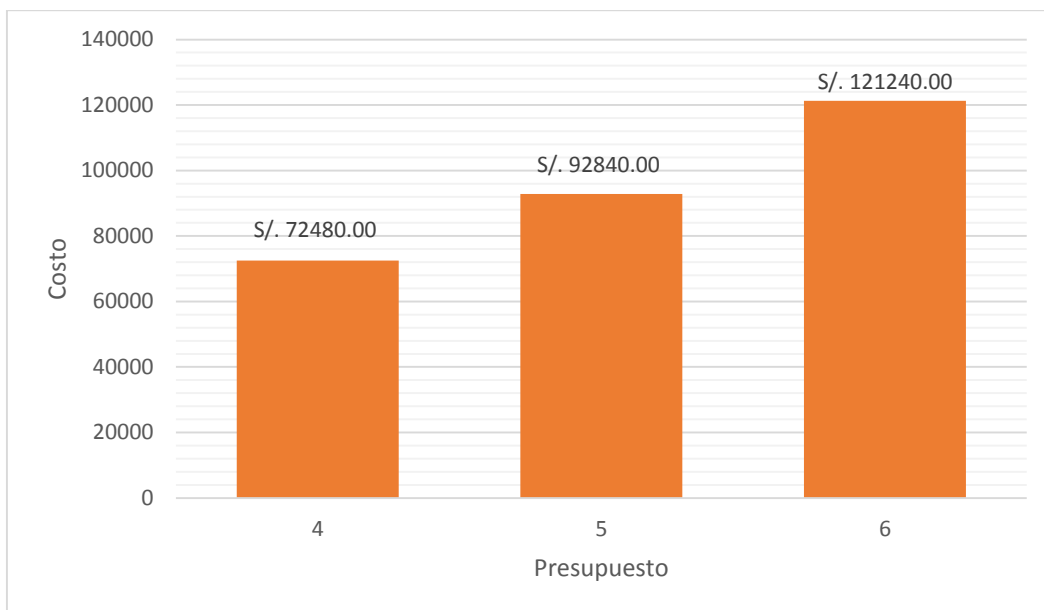


Figura 52: Costos según el diseño NAASRA

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 52 las denominaciones 4, 5 y 6 son:

4: Presupuesto por Afirmado de tramo

5: Presupuesto de Afirmado y Base estabilizada con Cemento Portland de tramo

6: Presupuesto por Afirmado y Base estabilizada con Emulsión Asfáltica de tramo

En donde se muestra los costos de los presupuestos de los pavimentos de acuerdo a los espesores obtenidos con el método NAASRA. Presentando el pavimento un espesor de 30cm para todos los análisis, con una base de 20cm y una base estabilizada de 10cm con cualquier estabilizador. Según el presupuesto realizado el pavimento más económico es el tramo solo afirmado, con un costo de S/. 72480.00 por km de carretera y el pavimento con mayor presupuesto es el conformado por una base afirmada y una base estabilizada con emulsión asfáltica, con un monto total de S/. 121240.00 por km de carretera.

7.5 Análisis Comparativo

De acuerdo con los resultados obtenidos, los pavimentos diseñados con el método NAASRA, para camino de bajo volumen de tránsito, presenta costos más económicos, siendo un promedio de S/. 95,000.00, de inversión por km de carretera.

Los pavimentos diseñados de acuerdo a los espesores determinados con el método AASHTO 1993, presentan costos significativamente elevados, obteniendo aproximadamente un monto promedio de S/. 110,000.00 la inversión por km de carretera.

CAPITULO VIII PRESENTACION DE RESULTADOS

8.1 Resultados de la investigación

A continuación, se muestra un cuadro resumen del resultado de los ensayos realizados en el laboratorio.

8.1.1 Resultados de los ensayos a la Base Granular

Se realizó los ensayos de laboratorio siguiendo los procedimientos como se indica en las normas descritas anteriormente. Los resultados al suelo de base granular se muestra en la siguiente Tabla 45.

Tabla 45:
Resultados de Ensayos realizados a la Base Granular

Ensayo	Und	Base Granular
Granulometría		
Clasificación SUC		GP – GM
Clasificación AASHTO		A-1-a
Contenido Optimo de Humedad	%	6.3
Densidad Seca Máxima	gr/cm ³	2.292
CBR al 100% de la MDS	%	65.1

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Resultados de los ensayos al Agregado Grueso de la Base Granular

Se realizó los ensayos de laboratorio al agregado grueso de la Base Granular siguiendo los procedimientos como se indica en las normas. Se presentan resultados de la base granular en la Tabla 46.

Tabla 46:
Pesos Específicos de la Base Granular

Ensayo	Und	Base Granular
Peso Específico seco Bulk (gr/cm ³)	gr/cm ³	2.7
Peso Específico saturado Bulk (gr/cm ³)	gr/cm ³	2.72
Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	gr/cm ³	2.755
Absorción	%	0.75

Fuente: Elaboración propia

8.1.3 Resultado de los Ensayos al Agregado Fino

Se realizó los ensayos de laboratorio al agregado fino de la Base Granular, siguiendo los procedimientos como se indica en las normas descritas anteriormente. Ver Tabla 47.

Tabla 47:
Resultados de Ensayos realizados al Agregado Fino de la Base Granular

Ensayo	Und	Base Granular
Limite Liquido	%	22.0
Limite Plástico	%	18.4
Índice de Plasticidad	%	3.6
Equivalente de Arena	%	45

Fuente: Elaboración propia

8.1.4 Resultados de los ensayos con los estabilizadores en la base granular

Se muestra un cuadro de resumen aplicado los estabilizadores al suelo – Cemento Portland y suelo – Emulsión Asfáltica en la Tabla 48.

Tabla 48:
Resultado de Ensayo realizado a la mezcla Suelo-Cemento y Suelo-Emulsión

Ensayo	Unid	Base Granular		
		Suelo Natural	Suelo – Cemento Portland (5%)	Suelo – Emulsión Asfáltica (5.8%)
Contenido Optimo de Humedad	%	6.3	7.1	5.8
Máxima Densidad Seca	Gr/cm3	2.292	2.303	2.281
CBR al 95% de la MDS	%	48.3	126.0	58.2
CBR al 100% de la MDS	%	65.1	153.5	75.3

Fuente: Elaboración propia

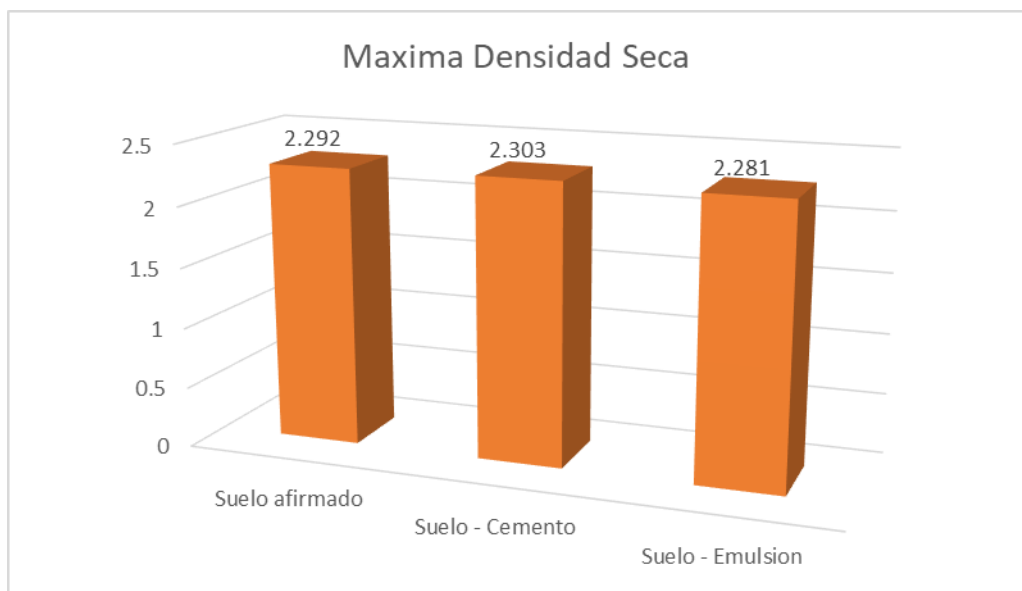


Figura 53: Comparación grafica de la MDS entre las bases estabilizadas y una sin estabilizar

Fuente: Elaboración propia

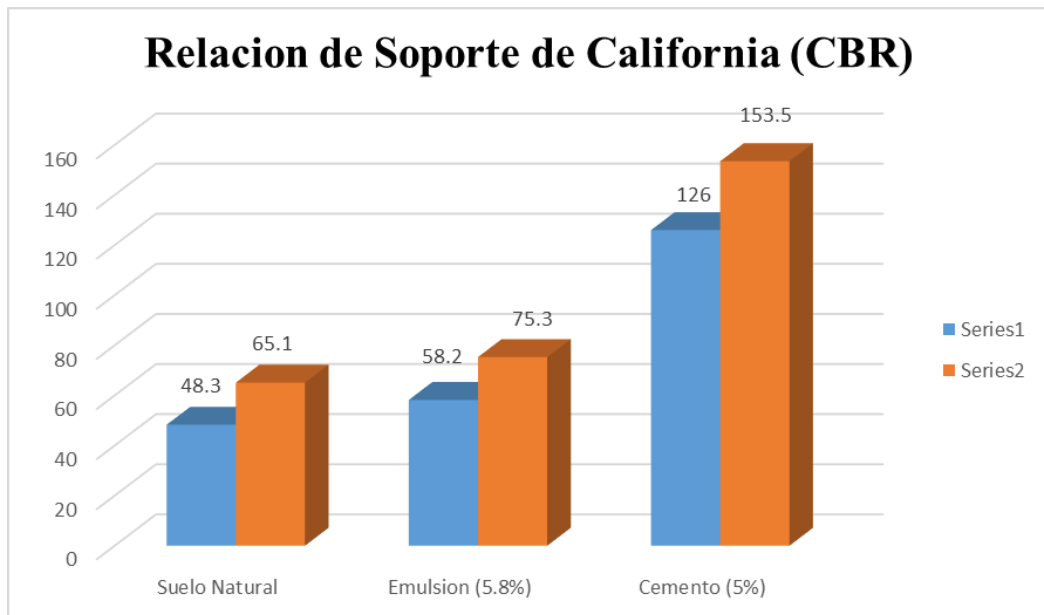


Figura 54: Resumen de CBR de las diferentes mezclas con 0.1" de penetración

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 53 y 54, se observan los resultados del ensayo de Índice de CBR para el material sin estabilizadores y con estabilizadores.

8.2 Análisis e interpretación de los resultados

- En el ensayo realizado al material de cantera que fue asumido como el material para la base granular, tenemos como resultado por Granulometría, por clasificación SUC, a una Grava pobremente gradada con limo y arena (GP GM), el cual tiene como requisito indispensable el ensayo de CBR. Por medio de este ensayo obtenemos el valor de 65.10 de porcentaje, al que corresponde a realizar la estabilización para llegar al mínimo requerido por el Manual de Carreteras "Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos" que es 80 de porcentaje para bases granulares.
- En el ensayo realizado al agregado fino de la base granular el Índice de Plasticidad resulta 3.6, esto quiere decir que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad.

- El material para base granular asumido, tiene como resultado de ensayos realizados al agregado fino el LL de 22 de porcentaje y IP de 3.6 de porcentaje, por lo que cumple con los siguientes parámetros para poder aplicar la estabilización con cemento portland: LL < 40 y IP < 18.
- El resultado de ensayo de CBR al 100% de la MDS del material más el cemento portland (Dosificación: 5%) tuvo 153.5 de porcentaje, el cual cumple con los requisitos mínimos que establece la norma para bases granulares antes mencionadas.
- El material para base granular asumido, tiene como resultado de ensayos realizados al agregado fino el LL de 22 de porcentaje y IP de 3.6 de porcentaje, por lo que cumple con los siguientes parámetros para poder aplicar la estabilización con la emulsión asfáltica: LL < 30 y IP < 10.
- El resultado de ensayo de CBR al 100% de la MDS del material más la emulsión asfáltica (Dosificación: 5.80%) tuvo 75.3 de porcentaje, el cual no cumple con los requisitos mínimos que establece la norma para bases granulares antes mencionadas.

8.3 Contrastación de Hipótesis

Hipótesis General

Aplicando los ensayos del laboratorio de próctor modificado e índice de CBR al material sin estabilización y con estabilizadores elegidos, obtenemos los parámetros necesarios para conocer las condiciones de la base granular y posteriormente poder realizar el diseño estructural y hallar los costos unitarios que demandan para su construcción, entonces a partir de todos los resultados antes mencionados, podemos comparar los resultados con el fin de mejorar la base granular mediante una estabilización.

Hipótesis Específica 1

Hipótesis Alterna (Hi)

Si aplicamos la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica al material para la base granular, entonces los ensayos de laboratorio para cada caso son iguales

Hipótesis Nula (Ho)

Si aplicamos la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica al material para la base granular, entonces los ensayos de laboratorio para cada caso no son iguales

Se aplicó la estabilización con cemento portland (5%) y emulsión asfáltica (5.8%) del material a la base granular y se obtuvo los resultados de los ensayos de Próctor modificado en laboratorio de 2.29 gr/cm³ de MDS y 6.3% de OCH, 2.28 gr/cm³ de MDS y 5.8% de OCH, 2.30 gr/cm³ de MDS y 7.1% de OCH para el material natural, material con emulsión asfáltica y material con cemento portland respectivamente; así como para el ensayo de índice de CBR en laboratorio, obtuviéndose 48.3%, 58.2% y 126% para el material natural, material con emulsión y material con cemento portland respectivamente.

Cesar Velásquez Pereyra (2018), evaluó la influencia del cemento portland en la estabilización de un suelo. Realizó estudios de suelos para identificar sus características físicas y mecánicas. Se empleó cemento portland tipo I como aditivo en 5%, reduciendo su índice de plasticidad de 44% a 15%, su índice de contracción se redujo de 27% a 19% y su índice de CBR se incrementó de 1.3% a 13.75%. por lo tanto, una subrasante regular a buena, según su índice de CBR, se logró con una adición de cemento al 5%.

Quiroz Vargas Washington Fernando (2017), detalló que los ensayos realizados de índice de CBR tiene un valor de 60% correspondiente al material con el 9% de emulsión

asfáltica, 59% con estabilización de 3% de asfalto y 6% de diésel. De un material con el 8% de suelo sin estabilizar.

Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis Específica 2

Hipótesis Alterna (Hi)

Si se estabiliza con cemento portland y emulsión asfáltica una base granular, entonces la dosificación para los ensayos de laboratorio según normas nacionales e internacionales son iguales

Hipótesis Nula (Ho)

Si se estabiliza con cemento portland y emulsión asfáltica una base granular, entonces la dosificación para los ensayos de laboratorio según normas nacionales e internacionales no son iguales

Si estabilizamos con el cemento portland nos basamos en el Manual de Carreteras “Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos” para su dosificación y también utilizamos el Manual de American Concrete Institute (ACI) y Federal Highway Administration (FHWA) para su verificación. Según las normas nacionales e internacionales asumimos el 5% de dosificación del cemento portland.

Si la dosificación de la estabilización con emulsión asfáltica utilizada en el Manual de Carreteras “Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos” el cual se basa en un cálculo tentativo de las ecuaciones aplicadas por el método de Illinois y método TACOMA que usan los porcentajes retenidos que son dados por la granulometría del material, entonces asumimos el promedio de los 2 métodos seleccionados, dando como resultado el 5.05 de porcentaje de referencia para el óptimo contenido de emulsión más agua. Cabe

resaltar que este primer cálculo es un porcentaje tentativo o teórico, finalmente con el ensayo próctor modificado determinamos el 5.8% de contenido agua más emulsión para su uso en el ensayo de CBR.

Por lo tanto, se valida la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

Hipótesis Especifica 3

Hipótesis Alterna (Hi)

Si se diseña estructuralmente el pavimento flexible adicionando cada estabilizador según las normas, entonces podemos reducir los espesores

Hipótesis Nula (Ho)

Si se diseña estructuralmente el pavimento flexible adicionando cada estabilizador según las normas, entonces no podemos reducir los espesores

Se diseñó estructuralmente con el método ASSHTO 1993, entonces el numero estructural del pavimento con cemento portland es menor que con emulsión asfáltica por los valores de CBR del material para la base granular, siendo el CBR de 126% con cemento portland y 58.2% con emulsión asfáltica. El aumento de porcentaje de CBR del material más los agentes estabilizadores, mejoran los coeficientes estructurales del diseño, siendo el número estructural 2.69, 2.61 y 2.63 para el material natural, material con cemento portland y material con emulsión asfáltico respectivamente, reduciendo el espesor (Ver Tabla 43).

Jupertt, Ccora Montes & Humberto, Montenegro Santa Cruz (2011), concluye que los métodos empleados para el diseño de espesores del pavimento fueron el Método AASHTO 1993, para caminos de bajo volumen de tránsito presentado del Manual de Diseño de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito por el Ministerio de Transportes y

Comunicaciones; siendo los resultados de los espesores obtenidos por el Método AASHTO variantes entre 23 cm a 35 cm para las diferentes mezclas.

Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis Específica 4

Hipótesis Alterna (Hi)

Si los costos unitarios de un pavimento flexible varían de acuerdo a cada estabilizador, entonces podemos variar sus costos según su diseño estructural

Hipótesis Nula (Ho)

Si los costos unitarios de un pavimento flexible varían de acuerdo a cada estabilizador, entonces no podemos variar sus costos según su diseño estructural

Al aplicar cada estabilización a la base granular los espesores de diseño se reducen, teniendo que utilizar menos cantidad de material para la base granular, siendo 38cm, 35cm y 28cm de espesor total para el material natural, material con emulsión y material con cemento, respectivamente, entonces se reducen los costos con la estabilización con cemento portland de 2600 soles aproximadamente con el método ASSHTO 1993 respecto al método NAASRA. Podemos visualizar mejor estas diferencias en las Figuras 50 y 51. Por lo tanto, verificamos la variabilidad de los costos para cada estabilización.

Jupertt, Ccora Montes & Humberto, Montenegro Santa Cruz (2011), presenta sus presupuestos, éstos se elaboraron en función de los espesores obtenidos en cada Método AASHTO y NAASRA. Los resultados indican que el Método AASHTO presenta costos altos, que se encuentran en el rango de S/ 85,000.00 por km de carretera y el método

NAASRA presenta un valor promedio de S/. 50,000.00 por km siendo significativamente más económico que el Método AASHTO.

Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

CONCLUSIONES

1) De los resultados de ensayos de laboratorio del material para la base granular con y sin estabilizadores, obtenemos los parámetros necesarios para el diseño estructural y posteriormente los análisis de costos unitarios. De los cuales analizamos cada resultado, para que de esta manera podamos comparar y definir las condiciones de la estabilización con cemento portland y la estabilización con emulsión asfáltica.

2) A partir de la granulometría del material para la base granular obtenemos los siguientes parámetros: Material A-1-a, LL = 22, LP = 18, IP = 3.6.

Los parámetros del material para la base granular cumplen para la aplicación de estabilización con cemento portland son A-1, A-2, A-3, LL < 40 y IP < 18.

Los parámetros del material para la base granular cumplen para la aplicación de estabilización con emulsión asfáltica son LL < 30 y IP < 10.

3) Para la dosificación de la estabilización con cemento portland nos basamos en el Manual de Carreteras “Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos” y también utilizamos el Manual de American Concrete Institute (ACI) y Federal Highway Administration (FHWA) para su verificación.

Según la clasificación SUC y ASSHTO del tipo de material granular corresponde para la dosificación del cemento portland del 3% al 5%. Asumimos el 5 de porcentaje de cemento portland. Además de 4, 6 y 8 de porcentaje de agua para el ensayo de proctor modificado.

4) Para la dosificación de la estabilización con emulsión asfáltico nos basamos en el Manual de Carreteras “Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos” el cual se basa en un cálculo tentativo de las ecuaciones aplicadas por el método de Illinois y método TACOMA.

Para los cálculos de los métodos antes mencionados utilizamos los porcentajes retenidos que son dados por la granulometría del material. Asumimos el promedio de los 2 métodos usados, dando como resultado el 5.05 de porcentaje de referencia para el óptimo contenido de emulsión más agua. Por lo tanto, utilizamos 3, 5 y 7 de porcentaje de emulsión más agua para el ensayo de proctor modificado.

- 5) Los resultados de CBR para los contenidos óptimos de cada estabilizante al 100% con la máxima densidad seca son: 65.1% para Suelo Natural, 75.3% para el Material – Emulsión Asfáltica (Dosificación: 5.8%), 153.5% para el Material – Cemento Portland (Dosificación: 5%). De los resultados concluimos que presenta la mejor característica de relación de soporte (CBR) la mezcla de Material – Cemento Portland.
- 6) Los métodos empleados para el diseño de espesores del pavimento fueron el método AASHTO 1993, y el método NAASRA, para el diseño de caminos de bajo volumen de tránsito; siendo los resultados de los espesores obtenidos por el Método AASHTO los siguientes: 38cm de espesor total para el material sin modificación de estabilizadores, 28cm de espesor total para el material con estabilizado con cemento portland y 35cm de espesor total para el material con estabilización de emulsión asfáltica. Y aplicando el método NAASRA se obtuvo un espesor aproximado de 30cm.

Concluimos que la estabilización con cemento portland, al aumentar la resistencia, disminuye el espesor del pavimento.

- 7) Se presentan presupuestos, que fueron elaborados en función de los espesores obtenidos mediante cada método de diseño estructural. Estos resultados indican que el Método AASHTO presenta costos más altos, utilizando el material sin estabilizadores y con emulsión asfáltica, sin embargo, es más bajo el monto con la estabilización con cemento portland; siendo esta diferencia de 16000 a 30000 soles por encima del método

NASSRA y un ahorro de 2600 soles en el caso del cemento portland. Teniendo en cuenta que estos costos son por cada kilómetro de pavimento.

RECOMENDACIONES

- 1) Dentro de la investigación, siempre se desea que haya mejora continua del mismo; por lo tanto, se recomienda a futuros profesionales que tengan interés en este proyecto o similar, la complementación de la investigación.

Para el caso de la emulsión asfáltica proponemos que se utilice para el incremento de impermeabilización de material, más que para el incremento de resistencia; y para el caso del cemento portland recomendamos se utilice para incremento de resistencia de cualquier tipo de material; además podemos optimizar el contenido de cemento; en esta investigación se utilizó 5% en su dosificación, dando como resultado el 153.5% de CBR, siendo el mínimo requerido 100% para cualquier base granular para altos volúmenes de tráfico y 80% para bajo volumen de tráfico como es nuestro caso. Es decir, podemos utilizar menos porcentaje de cemento, ya que según nuestra clasificación de material el rango de cemento va de 3% a 5%, esto representa que podemos dosificar con menor cantidad de cemento.

- 2) Según los métodos utilizados, que son el método ASSHTO 1993 y el método NAASRA (AUSTROADS), podemos recomendar que se utilice el método ASSHTO 1993, porque toma en cuenta la estabilización que realizamos en el material que conforma la estructura del pavimento, en comparación con el método NAASRA (AUSTROADS) que solo diseña tomando en cuenta, solo la superficie sobre la que se apoya el pavimento.
- 3) Una vez concluidos los costos por estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica, y habiendo comparado estos cálculos, recomendamos que se utilice más allá de lo económico, el estabilizador que brinde mejores resultados, teniendo en cuenta el tipo de material que se esté trabajando y lo que se quiera conseguir.

La emulsión asfáltica aumenta poca resistencia, sin embargo, brinda un considerable aumento en la impermeabilidad, pudiendo usarse para carpetas asfálticas más que para bases granulares. Además, si se necesitamos poco aumento de resistencia al esfuerzo cortante podemos contar que con este tipo de estabilización es suficiente. En el caso del cemento, es muy útil para suelos con altos porcentajes de finos, por tener grandes aumentos en los porcentajes como resultados de CBR.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amies, J. (2006). Instituto Salvadoreño del cemento y del concreto. Revista del ISCYC, 43(1), 6-30
- Asphalt Institute, Asphalt Emulsion Manufacture. “*Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Serie N° 19*”. USA
- Becher P. (1972) “*Emulsiones: Teoría y Práctica*”, Editorial Blume, Madrid. Traducción de la Segunda Editorial americana.
- Ccora, J. & Montenegro, H. (2011). *Estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicando estabilizadores: emulsión asfáltica, cal y cemento – carretera cañete – Chupaca – tramo km 152+000 – 158+000* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- Coronado, J (2002). Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos. Recuperado de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-pavimentos.pdf>
- Corredor, G., Corros, M. & Urbáez, E. (2009). Manual de Evaluación de Pavimentos. (Maestría pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- Goma, F. (1979). *Cemento portland y otros aglomerantes*, El. Barcelona: Técnicos Asociados, S.A
- Gonzales, W., Jiménez, M. & López, R. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el salvador* (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San salvador – El Salvador.
- Grupo GCC (2007). El concreto convencional. Recuperado de: http://www.gcc.com/opencms/portal/esp/productos_servicios/concreto_premezclado/.
- Guillermo, L. (2018). *Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland para el proyecto de conservación vial puno Tacna tramo*

- Tarata – Capazo – Manocruz*. (Tesis de pregrado). Universidad San Ignacio de Loyola. Lima – Perú.
- Ibañez, H. (2003). *Uso de emulsiones en pavimentos asfálticos; asfaltos calientes y fríos* (Tesis de pregrado). Universidad Austral, Valdivia – Chile.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). “*Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*”. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima – Perú.
- Martínez, R. (2009). *Calidad de dos bancos de agregados para concreto, en el departamento de Chiquimula*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala – Guatemala.
- Melvin, D., Vásquez, C. (2010). *Pavimentos no tradicionales para carreteras de selva baja con bajo volumen de tránsito, aplicación: carretera contamana – aguas calientes, Loreto*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Colombia: segunda edición.
- Petrobras Brasil (2008). “*PAVIMENTACAO ASFALTICA - Formación básica para Ingenieros*”. Rio de Janeiro – Brasil.
- Petrobras (2009). “*Manual de Emulsiones Asfálticas*”. Buenos Aires-Argentina.
- Quiroz, W. (2017). *Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y la relación de soporte CBR*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador.
- Ramos, B. & Torres, J. (2012). *Mejoramiento del material de las canteras adyacentes para el terraplen de la carretera Lircay – Ccochaccasa*. (tesis pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica – Perú.

- Rivera, G. (1998). *Emulsiones Asfálticas*. 4ta ed. México DF. Alfaomega.
- Sánchez, B. & Arquímedes, J. (2015). *Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento en la región de Lambayeque*. (tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán. Pimentel – Perú.
- Sarmiento, M. (2012). *Estudio del Comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia.
- Ugaz, R. (2006). *Estabilización de Suelos y su Aplicación en el mejoramiento de Subrasante*. Facultad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- Ulloa, F. (2012). *Sistema de gestión de la supervisión del servicio de carreteras afirmadas por niveles de servicio*. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- Velásquez, C. (2018). *Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector la molina*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VI	VD
¿En qué medida el análisis de la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica, aplicado a una base granular permite realizar una comparación según ensayos de laboratorio?	Analizar la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica a fin de comparar resultados de su aplicación a una base granular a través de ensayos de laboratorio	Si a la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica se le aplican los mismos ensayos de laboratorio, entonces se pueden comparar resultados de su aplicación a una base granular	Estabilizadores	Bases Granulares
			DIMENSIONES X	DIMENSIONES Y
			Emulsión Asfáltica	Diseño Estructural
			Cemento Portland	Ensayos de laboratorio
			INDICADORES X	INDICADORES Y
			métodos internacionales	Espesores
			normas nacionales e internacionales	Dosificación
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA		
¿En qué medida la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica de una base granular, aplica su dosificación para ensayos de laboratorio según normas nacionales e internacionales?	Analizar la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica de una base granular a fin de aplicar su dosificación para ensayos de laboratorio a través normas nacionales e internacionales	Si se estabiliza con cemento portland y emulsión asfáltica una base granular, entonces la dosificación para los ensayos de laboratorio según normas nacionales e internacionales son iguales		
¿En qué medida el diseño estructural de un pavimento flexible, puede variar sus espesores de diseño para la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica según normas nacionales?	Analizar el diseño estructural de un pavimento flexible para cada estabilizador a fin de obtener espesores a través de normas nacionales	Si el diseño estructural de un pavimento flexible para cada estabilizador según las normas nacionales, entonces podemos reducir los espesores		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2: Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>ESTABILIZADORES</p> <p>Conceptualización</p> <p>Los estabilizadores de suelos son un complemento de paisajismo destinado a reforzar y estabilizar suelos de cualquier superficie. El estabilizador de suelos sirve tanto para aplicaciones con césped como para aplicaciones con gravas y permiten que los suelos se mantengan firmes y estables frente a las inclemencias del tiempo. Asimismo, los estabilizadores de suelos son el sistema ideal para zonas con mucho tráfico pues protege al césped evitando la compactación de la zona de enraizamiento.</p> <p>Fuente: Asphalt Institute, Asphalt Emulsion Manufacture. "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19". USA.</p>	<p>Emulsiones Asfálticas</p> <p>Cemento Portland</p>	<p>1. Métodos Internacionales - Método ILLINOIS - Método TACOMA Se emplean para el diseño de mezclas en frio elaboradas en laboratorio para estabilizaciones.</p> <p>1.-Normas Nacionales e Internacionales - Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos - American concrete Institute ACI - Federal Highway Administration FHWA</p>
<p>VARIABLE</p> <p>BASES GRANULARES</p> <p>Conceptualización</p> <p>Es un material granular grueso compuesto por trituradores, arena y material fino, posee resistencia a la deformación lo que hace que soporte presiones.</p> <p>Fuente: Ugaz Palomino, Roxana María. "Tesis- Estabilización de Suelos y su Aplicación en el mejoramiento de Subrasante". Facultad Nacional De Ingeniería. Lima- Perú, 2006.</p>	<p>DIMENSIONES</p> <p>Diseño Estructural</p> <p>Ensayos de Laboratorio</p>	<p>INDICADORES</p> <p>1.-Espesores: El Manual de diseño nos permite diseñar espesores mínimos en una base granular aplicado los estabilizadores con el método ASSHTO 1993 y NAASRA (AUSTROADS)</p> <p>1.-Dosificación - Proctor: Permite conocer el contenido óptimo de humedad - CBR: el cbr aumenta o disminuye su capacidad portante de acuerdo al tipo de dosificación que se utiliza en la mezcla</p>

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3: Cotización de la Emulsión Asfáltica

BITUPER S.A.C.		Bitúmenes del Perú S.A.C.			
Av. Del Pinar 152 Of.: 1005 - Santiago de Surco - Lima 33 - Perú					
Teléfonos : (511) 372-7601, 372-7605, 998046384 administracion@bituper.com RUC 20305385795					
Página	01/01	A	SEOING E.I.R.L.	CTZ. #	751/2018
Page		To		De	Ing° Hans Krumdiek
Fecha	14-dic-18	Att.:	Sr. Sergio Estrada	From	
Date		e-mail:	seoingeirl@hotmail.com		
Asunto	Cotización de Emulsión Asfáltica				
Subject					


Estimados Señores:

Por medio de la presente nos permitimos cotizarles lo siguiente:

40,000	Galón	Emulsión Asfáltica Catiónica BP-CSE-1h	6.55	<u>S/</u> 262,000.00
--------	-------	--	------	-------------------------

Fuente: Bituper S.A.C

ANEXO 4: Ficha Técnica de la Emulsión Asfáltica

 BITUPER S.A.C.	FICHA TECNICA	Código : BP-CSE-1H
	Emulsión Asfáltica Catiónica Tipo Superestable CSE-1H	Revisión : Mayo 2013 Rvdo. por : Lab. Central Página : 1 de 1

Emulsión catiónica Lenta Tipo superestable-1H, que tiene muy buena habilidad para mezclar con un agregado, es decir el asfalto demora un buen tiempo en sufrir coalescencia. Esta emulsión esta dentro de la clasificación de las LENTAS pero presenta un mayor tiempo de rotura que las propias lentas lo que le permite alcanzar una buena trabajabilidad. Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar lentamente con el agregado y revertir del estado de emulsión al de asfalto.

Aplicaciones

Slurry Seal, Mezclas densas, riegos de liga, etc.(previa recomendación del proveedor)

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

Composición	:	Asfalto y agua
Color	:	Marrón oscuro
Aspecto	:	Líquido viscoso
Gravedad específica a 20 °C	:	0.95

ESPECIFICACIONES ASTM D 2397

Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s	20 – 100
Sedimentación, 5 días, %	5.0 % máx.
Estabilidad almacenamiento 24 hrs., %	1.0 % máx.
Tamizado, %	0.1 % máx.
Residuo asfáltico, %	57 % mín.
Prueba sobre el residuo de ensayo de destilación:	
Penetración, 25 °C, 100 mg, 5 s (1)	40 - 90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm.	40 mín.

(1) La penetración cambia al variar el tipo de PEN

ALMACENAMIENTO

Se almacena en cisternas o cilindros metálicos a una temperatura de 10 °C a 60 °C

Bitúmenes del Perú S.A.C. – BITUPER S.A.C.
Oficina: Av. Del Pinar 152 – Of. 1005 Lima-33– Perú – Telefax: (51-1) 372-7601
Calle las Mimosas Mz. G-1, Lote N° 26, Urb. La Capitana – Huachipa / Lurigancho Chosica – Lima 15 – Perú – Telfs.: 7175168-
7175169- Fax: (51-1) 7175056
www.bituper.com - e-mail: laboratorio@bituper.com

Fuente: Bituper S.A.C

ANEXO 5: Ficha Técnica del Cemento Portland

CEMENTO SOL



CEMENTO SOL

Descripción:

- Es un Cemento Tipo I, obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso.
- Cuenta con la fecha y hora de envasado en la bolsa en beneficio de los consumidores, ya que permite una mayor precisión en la trazabilidad.

Beneficios:

- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en Shotcrete.
- Ideal para la producción de prefabricados en concreto.

Usos:

- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.
- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajes, enchapes de mayólicas y otros materiales.

Características Técnicas:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C 150.

Formato de distribución:

- Bolsas de 42,5 Kg: 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.



Recomendaciones

Dosificación:

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

Manipulación:

- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

Almacenamiento:

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno y en dos pallet de altura.

Requisitos mecánicos

Comparación resistencias NTP 334.009 / ASTM C-150 vs. Cemento Sol



Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad	Cemento Sol Tipo I	Requisitos 334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	cm²/g	3361	Máximo 2600
Densidad	g/ml	3.12	No Especifica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm²	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm²	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm²	427	No especifica
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.08	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.25	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.68	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	13.15	No especifica
C ₃ S	%	53.60	No especifica
C ₃ A	%	9.66	No especifica
C ₄ AF	%	9.34	No especifica

ANEXO 6: Certificado de Calibración del Horno Eléctrico



LABORATORIO DE METROLOGIA
CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA
 LABORATORIO SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°344-2018 GLT

Página 1 de 4

Fecha de Emisión : 2018-12-08

1. SOLICITANTE : LABORATORIO DE SUELOS JCH S.A.C.

DIRECCIÓN : AV. PROCESOS DE LA INDEPENDENCIA NRO. 2238 APV. SAN HILARION
 LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO

2. EQUIPO DE MEDICIÓN: HORNO ELÉCTRICO

MARCA : THOLZ
MODELO : MDH
NÚMERO DE SERIE : NO PRESENTA
PROCEDENCIA : PERÚ
IDENTIFICACIÓN : Hor - 01 - JCH
UBICACIÓN : Laboratorio

Descripción del Termómetro del Equipo

Tipo : DIGITAL
Alcance de Indicación : 1 °C a 200 °C
División de Escala : 1 °C

3. FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN
 Calibrado el 2018-12-07

La calibración se realizó en Laboratorio de LABORATORIO DE SUELOS JCH S.A.C

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
 La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, se usó el procedimiento PC-018 "Calibración de Medios con Aire como Medio Termostático", edición 2, Junio 2009; del SNM-INDECOPI - Perú.

5. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

	Inicial	Final
Temperatura °C	32.0	31.8
Humedad Relativa %HR	39	39

6. TRAZABILIDAD
 Los resultados de calibración tienen trazabilidad a los patrones nacionales, reportados de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
TOTAL WEIGHT	Termómetro de indicación digital de 10 termocopias	CT - 0292 - 2018

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.







Téc. Gilma Huamán Buitoloma
 Responsable del Laboratorio de Metrología

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
 Urb. Santa Elisa II Etapa
 Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
 RPC: 992 - 302 - 878

SKYPE: ventas@gylaboratorio.com
 Correos: ventas@gylaboratorio.com
 servicios@gylaboratorio.com

Horario de Atención:
 Lunes a Viernes: 8:00 am a 6:00 pm
 Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

PROHIBIDO LA REPRODUCCION TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO SAC



LABORATORIO DE METROLOGIA
CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°344-2018 GLT
Página 2 de 4

7. RESULTADOS DE MEDICIÓN

TEMPERATURA DE TRABAJO : 110°C ± 10 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	Indicación termómetros patrones (°C)										T. Prom. (°C)	Tmax-Tmin. (°C)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110	112.3	110.9	111.4	110.1	113.3	112.1	111.6	113.4	111.2	110.3	111.7	3.3
02	110	112.4	110.4	111.4	110.4	111.6	112.1	111.8	113.4	111.4	110.3	111.5	3.1
04	110	112.1	110.6	111.2	110.4	114.3	112.6	111.8	113.4	111.6	110.5	111.9	3.9
06	110	112.2	110.4	111.5	110.3	113.5	112.2	111.7	113.2	111.6	110.2	111.7	3.3
08	110	112.3	110.4	111.5	110.3	113.4	112.2	111.7	113.5	111.4	110.5	111.7	3.2
10	110	112.4	110.7	111.5	110.3	113.4	112.2	111.8	113.5	111.6	110.4	111.8	3.2
12	110	112.5	110.1	111.5	110.3	113.5	112.4	111.7	113.8	111.6	110.7	111.8	3.5
14	110	112.4	110.8	111.5	110.4	113.6	112.6	111.7	113.6	111.7	110.2	111.7	3.4
16	110	112.3	110.8	111.5	110.4	113.6	112.9	111.6	113.6	111.7	110.8	111.9	3.2
18	110	112.2	110.3	111.5	110.2	113.6	112.4	111.8	113.9	111.7	110.8	111.8	3.7
20	110	112.1	110.3	111.5	110.3	113.6	112.5	111.7	113.9	111.9	110.4	111.8	3.6
22	110	112.0	110.5	111.5	110.4	113.7	112.5	111.7	113.0	111.0	110.2	111.7	3.5
24	110	112.9	110.4	111.6	110.4	113.5	112.2	111.7	113.2	111.1	110.4	111.7	3.1
26	110	112.8	110.6	111.3	110.4	113.5	112.3	111.7	113.6	111.2	110.0	111.7	3.6
28	110	112.7	110.5	111.5	110.0	113.7	112.3	111.7	113.6	111.0	110.2	111.7	3.7
30	110	112.6	110.9	111.4	110.1	113.5	112.2	111.6	113.7	111.3	110.8	111.8	3.6
32	110	112.7	110.8	111.4	110.4	113.4	112.1	111.6	113.2	111.4	110.8	111.8	3
34	110	112.8	110.8	111.5	110.4	113.7	112.1	111.7	113.5	111.5	110.9	111.9	3.3
36	110	112.7	110.8	111.6	110.5	113.6	112.1	111.7	113.8	111.2	110.2	111.8	3.6
38	110	112.8	110.8	111.6	110.5	113.6	112.1	111.9	113.4	111.6	110.5	111.9	3.1
40	110	112.9	110.7	111.5	110.5	113.4	112.4	111.6	113.2	111.4	110.4	111.8	3
42	110	112.0	110.8	111.5	110.5	113.4	112.5	111.6	113.0	111.7	110.6	111.8	2.9
44	110	112.1	110.3	111.6	110.2	113.4	112.6	111.6	113.2	111.4	110.7	111.7	3.2
46	110	112.1	110.6	111.5	110.4	113.4	112.1	111.7	113.1	111.8	110.5	111.7	3
48	110	112.3	110.4	111.6	110.6	113.5	112.2	111.7	113.1	111.5	110.8	111.8	3.1
50	110	112.4	110.2	111.3	110.6	113.5	112.2	111.7	113.2	111.2	110.9	111.7	3.3
52	110	112.5	110.2	111.5	110.5	113.4	112.1	111.5	116.2	111.0	110.0	111.9	6.2
54	110	112.4	110.4	111.5	110.4	113.4	112.1	111.5	116.2	111.2	110.1	111.9	6.1
56	110	112.3	110.5	111.5	110.4	113.4	112.1	111.5	113.4	111.1	110.2	111.6	3.2
58	110	112.2	110.5	111.5	110.2	113.5	112.2	111.6	113.4	111.2	110.4	111.7	3.3
60	110	112.1	110.6	111.4	110.2	113.3	112.0	111.6	113.2	111.3	110.2	111.6	3.1
T. PROM.	110	112.4	110.5	111.5	110.4	113.5	112.3	111.7	113.6	111.4	110.4	111.8	
T. MAX	110	112.9	110.9	111.6	110.6	114.3	112.9	111.9	116.2	111.9	110.9		
T. MIN	110	112.0	110.1	111.2	110.0	111.6	112.0	111.5	113.0	111.0	110.0		
DTT	0.0	0.9	0.8	0.4	0.6	2.7	0.9	0.4	3.2	0.9	0.9		

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	113.9	0.3
Mínima Temperatura Medida	110.0	0.3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	3.2	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	3.2	0.3
Estabilidad Medida (±)	±4.00	0.04
Uniformidad Medida	6.2	0.3



T. PROM: Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T. MAX: Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición en el tiempo.
T. MIN: Temperatura máxima.
DTT: Desviación de temperatura en el tiempo.



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Eliss II Etapa
Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
RPC: 992 - 302 - 878

SKYPE: ventas@gyllaboratorio.com
Correos: ventas@gyllaboratorio.com
servicios@gyllaboratorio.com
Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a 6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

PROHIBIDO LA REPRODUCCION TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE G&L LABORATORIO SAC



8. OBSERVACIONES

Los resultados obtenidos corresponden al promedio de 31 lecturas por punto de medición considerando, luego del tiempo de estabilización.
Las lecturas se iniciaron luego de un precalentamiento y estabilización de 2 min.
El esquema de distribución y posición de los termocopias calibrados en los puntos de medición se muestra en la página 4.
(* Código asignado por LABORATORIO DE SUELOS JCH S.A.C.
Para la temperatura de 110°C.
La calibración se realizó sin carga.
El promedio de temperatura durante la medición fue 110 °C.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.



Av. Miraflores Mz. E LL 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
RPC: 992 - 302 - 878

SKYPE: ventas@gylaboratorio.com
Correos: ventas@gylaboratorio.com
servicios@gylaboratorio.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a
6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

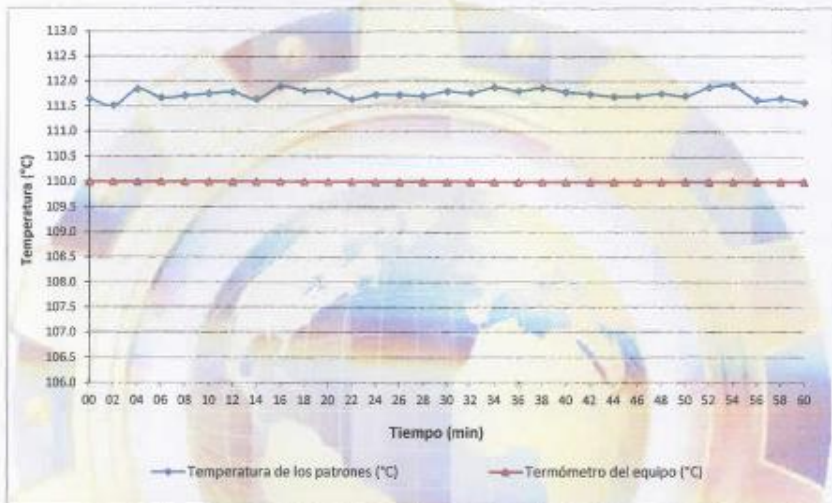




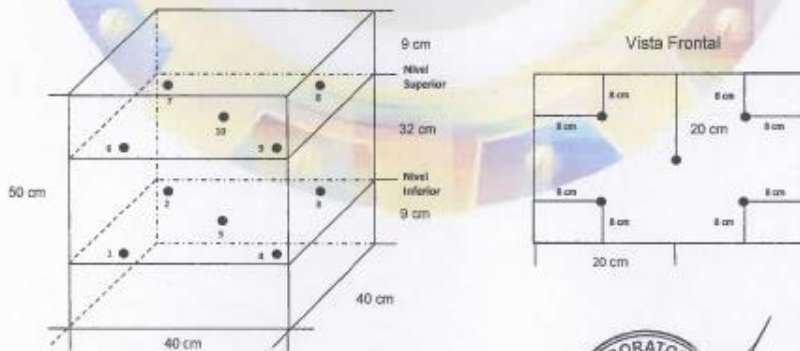
LABORATORIO DE METROLOGIA
CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°344-2018 GLT
Página 4 de 4

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO 110°C



UBICACIÓN DE LOS SENSORES



Los sensores se colocaron a 6 cm de altura sobre sus respectivos niveles.



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
RPC: 992 - 302 - 878


SKYPE: ventas@gyllaboratorio.com
Correos: ventas@gyllaboratorio.com
servicios@gyllaboratorio.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a
6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

PROHIBIDO LA REPRODUCCION TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO SAC

Fuente: G&L Laboratorio S.A.C

ANEXO 7: Certificado de Calibración de la Balanza



LABORATORIO DE METROLOGIA
CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA
LABORATORIO SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 346-2018 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN	: 2018-12-08	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.</p>
1. SOLICITANTE	: LABORATORIO DE SUELOS JCH S.A.C	
DIRECCIÓN	: AV. PROCERES DE LA INDEPENDENCIA NRO. 2236 APV. SAN HILARION LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO	<p>Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.</p> <p>G & L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p>
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: BALANZA	
MARCA	: OHAUS	
MODELO	: TAJ4001	
NÚMERO DE SERIE	: 8338110064	
ALCANCE DE INDICACIÓN	: 4000 g	
DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN	: 0.1 g	
DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e)	: 0.1 g	
PROCEDENCIA	: USA	
IDENTIFICACIÓN	: Bal - TAJ4001 - N° 1	
TIPO	: ELECTRÓNICA	
UBICACIÓN	: LABORATORIO	
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2018-12-07	
3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN	Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II, PC - 011 del SNM-INDECOPI, EDICIÓN 4° - ABRIL, 2010.	
4. LUGAR DE CALIBRACIÓN	Laboratorio de LABORATORIO DE SUELOS JCH S.A.C AV. PROCERES DE LA INDEPENDENCIA NRO. 2236 APV. SAN HILARION LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO	



LABORATORIO SAC



Gilmer Antonio Huaman Pajuloma
Responsable de Laboratorio de Metrología



LABORATORIO DE METROLOGIA
G&L LABORATORIO SAC
MASA

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
RPC: 992 - 302 - 878

SKYPE: ventas@gyllaboratorio.com
Correos: ventas@gyllaboratorio.com
servicios@gyllaboratorio.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a
6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

PROHIBIDO LA REPRODUCCION TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO SAC



LABORATORIO DE METROLOGIA
CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 346-2018 GLM

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	32.0 °C	32.1 °C
Humedad Relativa	37 %	37 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de DM - INACAL.	Pesas (exactitud F1)	LM - 415 - 2018 LM - 416 - 2018

7. OBSERVACIONES

Para 4000 g la balanza indicó 3998.8 g. Se ajustó y se procedió a su calibración. Los errores máximos permitidos (emp) para esta balanza corresponden a los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 004 - 2010, Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático. Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO". (*) Código asignado por LABORATORIO DE SUELOS JCH S.A.C.

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SITENA DE TRABA	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1* 2,000.0 g			Carga L2* 4,000.0 g		
	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)
1	1,999.9	60	-110	3,999.8	40	-190
2	1,999.9	60	-100	3,999.8	60	-200
3	1,999.9	60	-110	3,999.8	60	-200
4	1,999.9	50	-100	3,999.8	60	-210
5	1,999.9	60	-110	3,999.8	60	-210
6	1,999.9	50	-100	3,999.8	50	-200
7	1,999.9	50	-100	3,999.8	40	-190
8	1,999.9	50	-100	3,999.8	40	-190
9	1,999.9	40	-90	3,999.8	50	-200
10	1,999.9	50	-100	3,999.8	50	-200
Diferencia Máxima			20	20		
Error máximo permitido ±			200 mg	± 300 mg		



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
RPC: 992 - 302 - 878

SKYPE: ventas@gyllaboratorio.com
Correos: ventas@gyllaboratorio.com
servicios@gyllaboratorio.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a 6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

PROHIBIDO LA REPRODUCCION TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO SAC



Vista Frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E _c				Determinación del Error corregido				
	Carga Mínima (g)	l (g)	Δ L (mg)	E _c (mg)	Carga L (g)	l (g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)
1	1.0	1.0	40	10	1,300.0	1,300.0	40	10	0
2		1.0	50	0		1,300.1	50	100	100
3		1.0	50	0		1,300.0	40	10	10
4		1.0	50	0		1,300.0	40	10	10
5		1.0	40	10		1,300.0	40	10	0

Temp. (°C) Inicial: 32.0 Final: 32.0

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido : ± 200 mg

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp (**)
	l (g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)	l (g)	Δ L (mg)	E (mg)	E _c (mg)	
1.0	1.0	50	0	10	1.0	50	0	10	100
2.0	2.0	40	10	10	2.0	40	10	10	100
50.0	50.0	40	10	10	50.0	40	10	10	100
100.0	100.0	50	0	0	100.0	50	0	0	100
200.0	200.0	50	0	0	200.0	50	0	0	100
500.0	500.0	40	10	10	500.0	40	10	10	100
1,000.0	1,000.0	50	0	0	1,000.0	50	0	0	200
1,500.0	1,500.0	40	10	10	1,500.0	40	10	10	200
2,000.0	1,999.9	50	-100	-100	1,999.9	50	-100	-100	200
3,000.0	3,000.1	50	100	100	3,000.1	50	100	100	300
4,000.0	3,999.8	40	-190	-190	3,999.8	40	-190	-190	300

Temp. (°C) Inicial: 32.0 Final: 32.1

(**) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 2,030E-08 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{017E-04 \text{ g}^2 + 495E-12 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza ΔL: Carga incrementada E: Error encontrado E_c: Error en cero E_c:

Número de tipo Científico E-xx = 10^{xx} (Ejemplo: E-05 = 10⁻⁵)



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
RPC: 992 - 302 - 878

SKYPE: ventas@gyllaboratorio.com
Correos: ventas@gyllaboratorio.com
servicios@gyllaboratorio.com


Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a
6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

PROHIBIDO LA REPRODUCCION TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE G&L LABORATORIO SAC

Fuente: G&L Laboratorio S.A.C

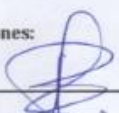
ANEXO 8: Ensayo de Equivalente de Arena de la Base

EQUIVALENTE DE ARENA						
(NORMA MTC E - 114)						
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS						
OBRA : ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIZACION CON CEMENTO PORTLAND Y EMULSIÓN ASFÁLTICA EN BASES GRANULARES						
SOLICITANTE : TESISISTAS: FREDY ALIAGA Y CARLOS SORIANO				JEFE LAB. : D. LAZO R.		
MATERIAL : AFIRMADO SUB BASE				TECNICO : J. CAMPOS C.		
UBICACIÓN : CAJAMARQUILLA				FECHA : 26-08-19		
DATOS DE LA MUESTRA						
MUESTRA : M-03						
Observaciones :						
DESCRIPCION		IDENTIFICACION			Promedio %	
		1	2	3		
Tamaño máximo (pasa tamiz N°4)	mm	4.76	4.76	4.76		
Hora de entrada a saturación		10:32	10:34	10:36		
Hora de salida de saturación (mas 10')		10:42	10:44	10:46		
Hora de entrada a decantación		10:44	10:46	10:48		
Hora de salida de decantación (mas 20')		11:04	11:06	11:08		
Altura máxima de material fino	mm	8.50	8.40	8.50		
Altura máxima de la arena	mm	3.80	3.80	3.80		
Equivalente de Arena	%	44.71	45.24	44.71	45	
DESCRIPCION		IDENTIFICACION			Promedio %	
		1	2	3		
Tamaño máximo (pasa tamiz N°4)	mm					
Hora de entrada a saturación						
Hora de salida de saturación (mas 10')						
Hora de entrada a decantación						
Hora de salida de decantación (mas 20')						
Altura máxima de material fino	mm					
Altura máxima de la arena	mm					
Equivalente de Arena	%					



Junior A. Campos Cabello
TÉCNICO LABORATORISTA

ANEXO 9: Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de los Agregados de la base


GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS					
(NORMA MTC E - 205)					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
OBRA	ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIZACION CON CEMENTO PORTLAND Y EMULSIÓN ASFÁLTICA EN BASES GRANULARES				
SOLICITANTE	TESISTAS: FREDY ALIAGA Y CARLOS SORIANO	JEFE LAB.	D. LAZO R.		
MATERIAL	AFIRMADO	TECNICO	J. CAMPOS C.		
UBICACIÓN	CAJAMARQUILLA	FECHA	26/08/19		
DATOS DE LA MUESTRA					
MUESTRA	M-03				
AGREGADO FINO MTC E 205					
S	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire) (gr)				
B	Peso Frasco + agua				
D	Peso Frasco + agua + A (gr)				
C	Peso del Mat. + agua en el frasco (gr)				
E	Vol de masa + vol de vacio = D-C (cm ³)				
A	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C) (gr)				
F	Vol de masa = E - (S - A) (cm ³)				PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = A/(B+S-C) (gr/cm ³)				
	Pe bulk (Base saturada) = S/(B+S-C) (gr/cm ³)				
	Pe aparente (Base Seca) = A/(B+A-C) (gr/cm ³)				
	% de absorción = (S-A)/A*100				
AGREGADO GRUESO MTC E 206					
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	6386.4	6289.4		
C	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	4038.6	3976.8		
D	Vol. de masa + vol de vacíos = D-C (cm ³)	2347.8	2312.6		
A	Peso material seco en estufa (105°C)(gr)	6340.1	6241.5		
E	Vol. de masa = D-(B-A) (cm ³)	2301.5	2264.7		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = A/(B+S-C) (gr/cm ³)	2.700	2.699	2.700	
	Pe bulk (Base saturada) = S/(B+S-C) (gr/cm ³)	2.720	2.720	2.720	
	Pe aparente (Base Seca) = A/(B+A-C) (gr/cm ³)	2.755	2.756	2.755	
	% de absorción = ((B - A) / A * 100)	0.730	0.767	0.75	
Observaciones:					
 Junior A. Campos Cabello TÉCNICO LABORATORISTA					

ANEXO 10: Ensayo de Limite de Consistencia de la base

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40				
(NORMA AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)				
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
OBRA	:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIZACION CON CEMENTO PORTLAND Y EMULSIÓN ASFÁLTICA EN BASES GRANULARES		
SOLICITANTE	:	TESISTAS: PREDY ALJAGA Y CARLOS SORIANO	JEFE LAB.	: D. LAZO R.
MATERIAL	:	AFIRMADO SUB BASE	TECNICO	: J. CAMPOS C.
UBICACIÓN	:	CAJAMARQUILLA	FECHA	: 26-08-19
DATOS DE LA MUESTRA				
MUESTRA	:	M-03	TAMAÑO MAXIMO	: N° 40
LIMITE LIQUIDO				
Nº TARRO		12	15	21
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(gr)	25.63	28.75	27.55
PESO TARRO + SUELO SECO	(gr)	22.43	25.61	23.48
PESO DE AGUA	(gr)	3.20	3.94	4.07
PESO DEL TARRO	(gr)	15.50	7.11	6.86
PESO DEL SUELO SECO	(gr)	20.7	17.7	16.6
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.66	22.26	24.49
NUMERO DE GOLPES		32	23	16
LIMITE PLASTICO				
Nº TARRO		1.0	6.0	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(gr)	15.22	15.45	
PESO TARRO + SUELO SECO	(gr)	13.66	13.99	
PESO DE AGUA	(gr)	1.56	1.46	
PESO DEL TARRO	(gr)	5.22	6.10	
PESO DEL SUELO SECO	(gr)	8.44	7.98	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	18.48	18.30	
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 10 25 100 Junior A. Campos Catelli TÉCNICO LABORATORISTA				
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA			OBSERVACIONES	
LIMITE LIQUIDO		22.0		
LIMITE PLASTICO		18.4		
INDICE DE PLASTICIDAD		3.6		

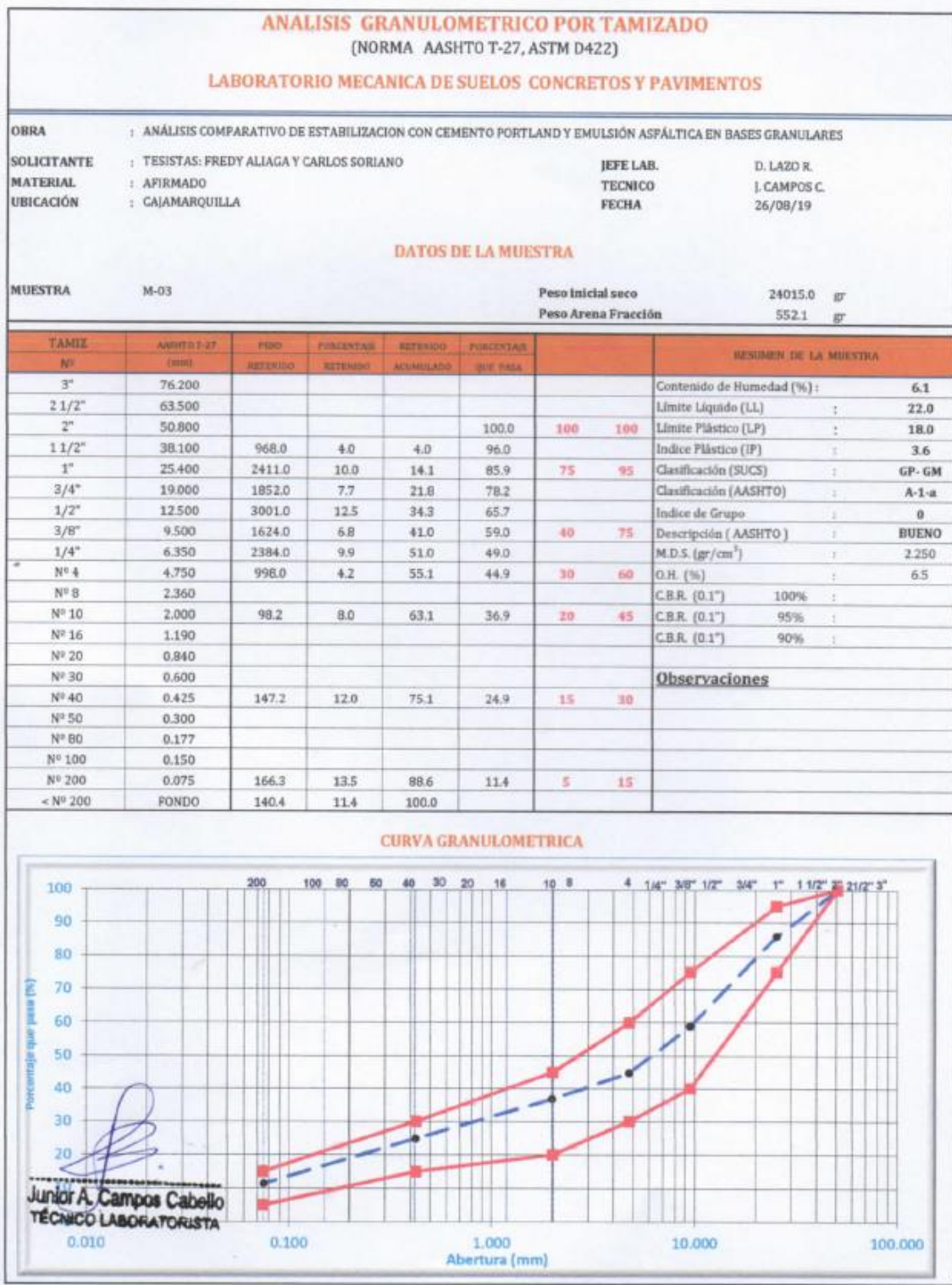
ANEXO 11: Ensayo de Contenido de Humedad Natural de la base


CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL					
(NORMA MTC E - 108)					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
OBRA : ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIZACION CON CEMENTO PORTLAND Y EMULSION ASPÁLTICA EN BASES GRANULARES SOLICITANTE : TESISTAS: FREDY ALIAGA Y CARLOS SORIANO MATERIAL : AFIRMADO UBICACIÓN : CAJAMARQUILLA					
			JEFE LAB. : D. LAZO R. TECNICO : J. CAMPOS C. FECHA : 26/08/19		
DATOS DE LA MUESTRA					
MUESTRA : M-03					
DATOS		1	2	3	Promedio
Nº RECIPIENTE		--			
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE		652.8			
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE		615.4			
PESO DEL AGUA		37.4			
PESO DEL RECIPIENTE		--			
PESO DEL SUELO SECO		615.4			
% DE HUMEDAD		6.1			
Observaciones:					



Junior A. Campos Cabello
 TÉCNICO LABORATORISTA

ANEXO 12: Ensayo del Análisis Granulométrico de la base



	FORMULARIO	Código : -
	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	Revisión : 1
		Fecha : -
		Página : 1 de 3

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
NTP 339.145 / ASTM D-1883**

N° Informe : JCH 19-073
 SOLICITANTE : Testista Aliaga, Freddy Soriano, Carlos
 PROYECTO : Análisis Comparativo de Estabilización con Cemento Portland y Emulsión Asfáltica en bases Granulares
 -
 -
 UBICACIÓN : -
 FECHA : Setiembre.-2019

Calicata : Afirmado
 Muestra : Natural
 Prof.(m) : 1.50
 Cantera : Seolng
 Agregado : -
 MDS (gr/cm3) : 2.292
 OCH (%) : 6.3


 JAVIER FRANCISCO
 ULLOA CLAVIJO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 166657

COMPACTACIÓN

N° molde	C-2		A-2		C-3	
	56		25		10	
N° de golpes por capa						
Condición de la muestra	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del molde + Suelo compacto (gr)	13602	13664	12903	12967	13150	13267
Peso del Molde (gr)	8412	8412	7910	7910	8390	8390
Peso suelo compacto (gr)	5190	5252	4993	5057	4760	4877
Volumen del Molde (cm3)	2126	2126	2129	2129	2118	2118
Densidad Humeda (gr/cm3)	2.441	2.470	2.346	2.376	2.248	2.303
Densidad seca (gr/cm3)	2.296	2.292	2.204	2.185	2.115	2.097

HUMEDAD

Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo humedo (gr)	636.8	548.0	735.0	563.0	671.4	590.2
Tara + suelo seco (gr)	602.3	512.5	695.0	522.2	635.5	542.2
Peso del agua (gr)	34.5	35.5	40.0	40.8	35.9	48.0
Peso de tara (gr)	55.6	55.0	71.2	55.6	63.3	52.5
Peso suelo seco (gr)	546.7	457.5	623.8	466.6	572.2	489.7
Contenido de humedad(%)	6.3	7.8	6.4	8.7	6.3	9.8

EXPANSIÓN

FECHA	T	HORA	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
05.09.2019	0	8:06:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
06.09.2019	24	8:07:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
07.09.2019	48	8:05:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
08.09.2019	72	8:06:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
09.09.2019	96	8:04:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (pulg)	CARGA ESTÁNDAR Lb/pulg2	MOLDE N° CARGA Lb/pulg2	C-2		MOLDE N° CARGA Lb/pulg2	A-2		MOLDE N° CARGA Lb/pulg2	C-3	
			CORRECCIÓN			CORRECCIÓN			CORRECCIÓN	
			Lb pulg2	CBR (%)		Lb pulg2	CBR (%)		Lb pulg2	CBR (%)
0.000		0			0			0		
0.025		146.3			117.4			96.3		
0.050		234.4			188.1			195.9		
0.075		398.3			319.6			304.0		
0.100	1000	498.8	651.0	65.1	400.3	522.4	52.2	402.0	393.2	39.3
0.125		653.9			524.7			502.5		
0.150		830.1			666.1			599.6		
0.175		988.7			793.4			686.6		
0.200		1253.1			1005.6			787.9		
0.300		1808.2			1451.1			1167.1		
0.400		2515.8			2019.0			1477.8		
0.500		2927.3			2349.2			1699.1		

Observaciones : La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. J. Ch

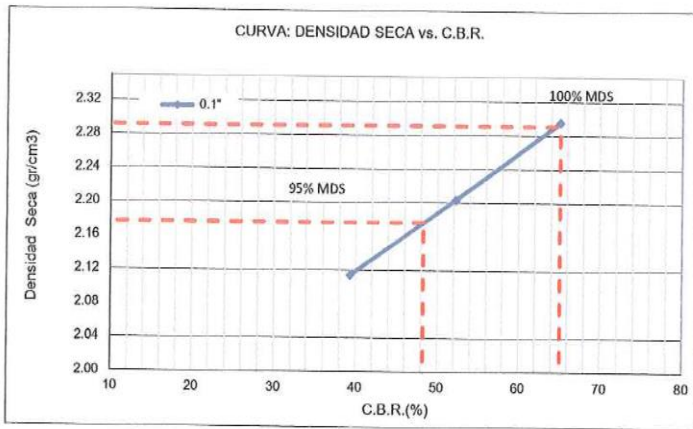
Equipo usados	Fecha Calibración
Bal-R31P30-N°3	Dic.-2018
Bal-TAJ4001-N°1	Dic.-2018
Hor-01-JCH	Dic.-2018
Maq. Ensayo 50Kn	Dic.-2018

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
NTP 339.145 / ASTM D-1883**

N° Informe : JCH 19-073
SOLICITANTE : Tesista Alliaga, Freddy Soriano, Carlos
PROYECTO : Analisis Comparativo de Estabilizacion con Cemento Portland y Emulsion Asfaltica en bases Granulares
-
-
UBICACIÓN : -
FECHA : Setiembre.-2019

Calicata : Afirmado
Muestra : Natural
Prof.(m) : 1.5

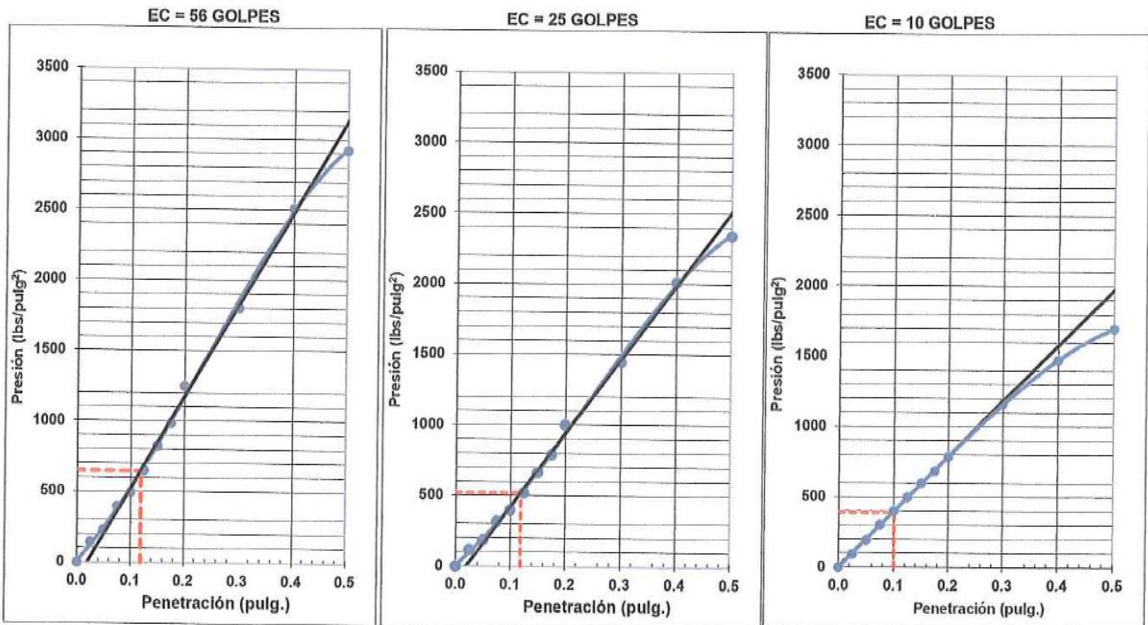
Cantera : Seeing
Agregado : -



Javier Francisco
JAVIER FRANCISCO
MILLOA CLAVIJO
INGENIERO CIVIL
Rég. CIP N° 165867

MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 2.292
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 6.3
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3) : 2.177

RESULTADOS:
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%) 0.1" : 65.1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%) 0.1" : 48.3



Observaciones : La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. J. Ch

Equipo usados	Fecha Calibración
Bal-R31P30-N°3	Dic.-2018
Bal-TAJ4001-N°1	Dic.-2018
Hor-01-JCH	Dic.-2018
Maq. Ensayo 50Kn	Dic.-2018

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
NTP 339.145 / ASTM D-1883**

Nº Informe : JCH 19-073
 SOLICITANTE : Tesista Aliaga, Freddy Soriano, Carlos
 PROYECTO : Analisis Comparativo de Estabilizacion con Cemento Portland y Emulsion Asfaltica en bases Granulares
 -
 -
 UBICACIÓN : -
 FECHA : Setiembre.-2019

Calicata : Afirmado
 Muestra : Natural+Emulsion
 Prof.(m) : 1.500
 Cantera : Seoing
 Agregado : -

Javier Franco
 JAVIER FRANCISCO
 ULLOA CLAVIJO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 188667

MDS (gr/cm3) : 2.281
 OCH (%) : 5.8

COMPACTACIÓN

Nº molde	B-4		B-5		A-3	
	56		25		10	
Nº de golpes por capa	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Condición de la muestra						
Peso del molde + Suelo compacto (gr)	12900	13006	12607	12769	12490	12781
Peso del Molde (gr)	7738	7738	7698	7698	7879	7879
Peso suelo compacto (gr)	5162	5268	4909	5071	4611	4902
Volumen del Molde (cm3)	2138	2138	2144	2144	2134	2134
Densidad Humeda (gr/cm3)	2.414	2.464	2.290	2.366	2.160	2.297
Densidad seca (gr/cm3)	2.281	2.269	2.164	2.160	2.045	2.071

HUMEDAD

Tara Nº	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo humedo (gr)	668.3	670.0	541.7	543.6	662.3	664.0
Tara + suelo seco (gr)	635.7	622.2	516.2	502.2	631.2	605.5
Peso del agua (gr)	32.6	47.8	25.5	41.4	31.1	58.5
Peso de tara (gr)	77.6	66.5	78.4	66.3	81.8	69.5
Peso suelo seco (gr)	558.1	555.7	437.8	435.9	549.4	536.0
Contenido de humedad(%)	5.8	8.6	5.8	9.5	5.7	10.9

EXPANSIÓN

FECHA	T	HORA	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
15.02.2019	0	8:06:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
16.02.2019	24	8:07:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
17.02.2019	48	8:05:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
18.02.2019	72	8:06:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
19.02.2019	96	8:04:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (pulg)	CARGA ESTÁNDAR Lb/pulg2	MOLDE Nº CARGA Lb/pulg2	B-4		MOLDE Nº CARGA Lb/pulg2	B-5		MOLDE Nº CARGA Lb/pulg2	A-3	
			CORRECCIÓN			CORRECCIÓN			CORRECCIÓN	
			Lb pulg2	CBR (%)		Lb pulg2	CBR (%)		Lb pulg2	CBR (%)
0.000		0			0			0		
0.025		183.1			112.2			79.5		
0.050		388.5			330.7			150.1		
0.075		595.6			539.5			253.9		
0.100	1000	770.4	753.3	75.3	676.9	580.2	58.0	326.2	374.7	37.5
0.125		963.7			831.6			430.5		
0.150		1158.9			978.5			523.0		
0.175		1413.2			1113.9			623.9		
0.200		1601.9			1235.7			718.9		
0.300		2258.6			1742.4			1064.5		
0.400		2991.1			2189.1			1453.8		
0.500		3553.4			2664.9			1706.8		

Observaciones : La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. J. Ch

Equipo usados	Fecha Calibración
Bal-R31P30-Nº3	Dic.-2018
Bal-TAJ4001-Nº1	Dic.-2018
Hor-01-JCH	Dic.-2018
Maq. Ensayo 50Kn	Dic.-2018

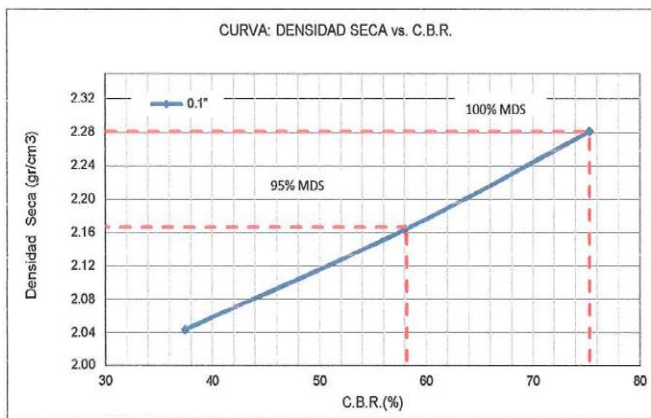
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
NTP 339.145 / ASTM D-1883**

N° Informe : JCH 19-073
SOLICITANTE : Tesista Allaga, Freddy Soriano, Carlos
PROYECTO : Analisis Comparativo de Estabilizacion con Cemento Portland y Emulsion Asfaltica en bases Granulares
UBICACIÓN : -
FECHA : Setiembre.-2019

Calicata : Afirmado
Muestra : Natural+Emulsion
Prof.(m) : 1.5

Cantera : Seoing
Agregado : -

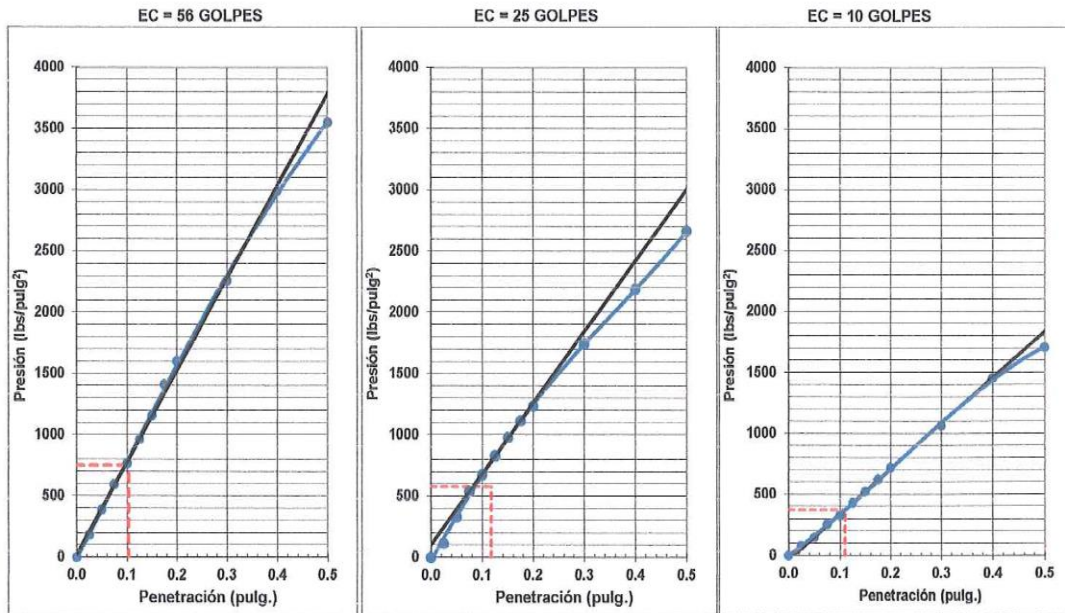
Javier Francisco Jullo Clavijo
JAVIER FRANCISCO JULLO CLAVIJO
INGENIERO CIVIL
Reg. C.º N.º 100007



MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.281
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 5.8
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.167


RESULTADOS:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	: 75.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	: 58.2



Observaciones : La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.
Ejecutado por : Téc. J. Ch

Equipo usados	Fecha Calibración
Bal-R31P30-N°3	Dic.-2018
Bal-TAJ4001-N°1	Dic.-2018
Hor-01-JCH	Dic.-2018
Maq. Ensayo 50Kn	Dic.-2018

	FORMULARIO	Código : -
	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	Revisión : 1
		Fecha : -
		Página : 1 de 3

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
NTP 339.145 / ASTM D-1883**

N° Informe : JCH 19-073
 SOLICITANTE : Tesista Allaga, Freddy Soriano, Carlos
 PROYECTO : Analisis Comparativo de Estabilizacion con Cemento Portland y Emulsion Asfaltica en bases Granulares
 -
 -
 UBICACIÓN : -
 FECHA : Setiembre.-2019

Calicata : Afirmado
 Muestra : Natural+Cemento 5%
 Prof.(m) : 1.50
 MDS (gr/cm3) : 2.303
 OCH (%) : 7.1

Cantera : Seoling
 Agregado : -


**JAVIER FRANCISCO
 ULLOA CLAVIJO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 108667**

COMPACTACIÓN

N° molde	D-3		B-6		D-2	
	56		25		10	
N° de golpes por capa						
Condición de la muestra	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del molde + Suelo compacto (gr)	11824	11891	12653	12956	11173	11338
Peso del Molde (gr)	6600	6600	7798	7798	6422	6422
Peso suelo compacto (gr)	5224	5291	5055	5158	4751	4916
Volumen del Molde (cm3)	2120	2120	2140	2140	2110	2110
Densidad Humeda (gr/cm3)	2.465	2.496	2.362	2.410	2.251	2.329
Densidad seca (gr/cm3)	2.303	2.299	2.206	2.208	2.103	2.121

HUMEDAD

Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo humedo (gr)	342.7	541.0	341.5	542.0	356.4	437.0
Tara + suelo seco (gr)	323.2	502.2	322.0	501.2	336.1	402.6
Peso del agua (gr)	19.5	38.8	19.5	40.8	20.3	34.4
Peso de tara (gr)	45.4	50.2	47.4	55.2	49.0	52.2
Peso suelo seco (gr)	277.8	452.0	274.6	446.0	287.1	350.4
Contenido de humedad(%)	7.0	8.6	7.1	9.1	7.1	9.8

EXPANSIÓN

FECHA	T	HORA	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
15.02.2019	0	8:06:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
16.02.2019	24	8:07:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
17.02.2019	48	8:05:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
18.02.2019	72	8:06:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
19.02.2019	96	8:04:00 a. m.	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (pulg)	CARGA ESTÁNDAR Lb/pulg2	MOLDE N° CARGA Lb/pulg2	D-3		MOLDE N° CARGA Lb/pulg2	B-6		MOLDE N° CARGA Lb/pulg2	D-2	
			CORRECCIÓN			CORRECCIÓN			CORRECCIÓN	
			Lb pulg2	CBR (%)		Lb pulg2	CBR (%)		Lb pulg2	CBR (%)
0.000		0			0			0		
0.025		396.5			337.1			338.4		
0.050		715.2			608.0			568.4		
0.075		1051.6			893.8			864.5		
0.100	1000	1417.3	1535.0	153.5	1204.7	1304.7	130.5	1148.6	#####	109.1
0.125		1865.2			1585.4			1407.7		
0.150		2227.2			1893.1			1680.8		
0.175		2592.2			2203.4			1924.5		
0.200		2952.0			2509.2			2170.4		
0.300		3908.1			3321.9			2605.3		
0.400		4782.0			4064.7			2988.6		
0.500		5375.3			4569.0			3193.5		

Observaciones : La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. J. Ch

Equipo usados	Fecha Calibración
Bal-R31P30-N°3	Dic.-2018
Bal-TAJ4001-N°1	Dic.-2018
Hcr-01-JCH	Dic.-2018
Maq. Ensayo 50Kn	Dic.-2018



FORMULARIO

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Código : -
 Revisión : 1
 Fecha : -
 Página : 1 de 3

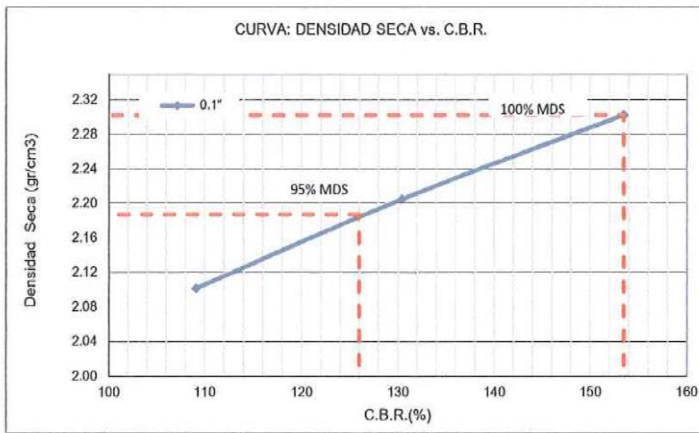
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
 NTP 339.145 / ASTM D-1883

N° Informe : JCH 19-073
 SOLICITANTE : Tesista Allaga, Freddy Soriano, Carlos
 PROYECTO : Analisis Comparativo de Estabilizacion con Cemento Portland y Emulsion Asfaltica en bases Granulares
 -
 -
 UBICACIÓN : -
 FECHA : Setiembre.-2019

Calicata : Afirmado
 Muestra : Natural+Cemento 5%
 Prof.(m) : 1.5

Cantera : Seolng
 Agregado : -

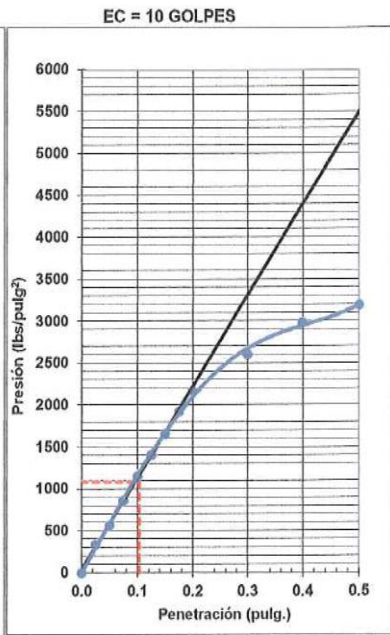
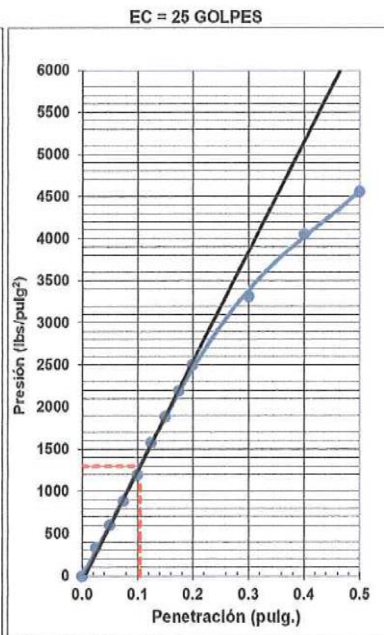
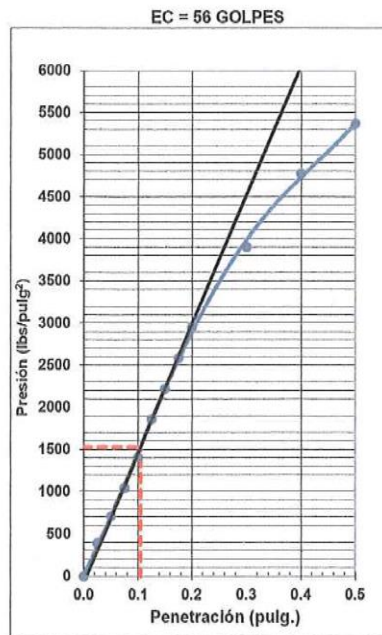
Javier Francisco
 JAVIER FRANCISCO
 JILLOA CLAVIJO
 INGENIERO CIVIL
 OIP N° 193867



MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) : 2.303
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 7.1
 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) : 2.188

RESULTADOS:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	: 153.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	: 126.0



Observaciones : La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. J. Ch

Equipo usados	Fecha Calibración
Bal-R31P30-N°3	Dic.-2018
Bal-TA.4001-N°1	Dic.-2018
Hor-01-JCH	Dic.-2018
Maq. Ensayo 50Kn	Dic.-2018

ANEXO 16: Presupuesto General del Programa de Titulación 2019

Tabla 49:
Presupuesto del programa de titulación 2019

PRESUPUESTO							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL		
1	DERECHO A EXAMEN PARA PROGRAMA TITES 2019	Und	2	150	300		
2	MATRICULA PROGRAMA TITES 2019	Und	2	6000	12000		
3	DOCUMENTACION PARA INSCRIPCIÓN						
3.1	Fotos Tamaño Carnet	Und	2	15	30		
3.2	Copias e Impresiones	Und	2	10	20		
3.3	Copias Legalizadas	Und	2	40	80		
3.4	Pasajes	Unid	2	40	80		
3.5	Partida de Nacimiento	Und	2	15	30		
4	PLAN DE TESIS						
4.1	Copias e Impresiones	Und	2	20	40		
4.2	Pasajes	Und	2	50	100		
5	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN						
5.1	Copias e Impresiones	Und	2	100	200		
5.2	Pasajes (6 meses)	Und	2	350	700		
5.3	Visitas a Obra	Und	2	250	500		
6	IMPRESIÓN Y EMPASTADO DE LA TESIS	Und	6	400	2400		
7	OTROS	Und	2	1500	3000		
				COSTO TOTAL S/.	19480		

Fuente: Elaboración Propia