

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LAS ZEOLITAS Y
BIOPOLIMEROS EN EL MEJORAMIENTO DE LA
RESISTENCIA DE SUELOS DEL SUR, ESTE Y
NORTE DE LIMA PARA VÍAS A NIVEL DE
AFIRMADO**



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

**CINDY MARISOL CORTES OLANO
MIGUEL ALONSO FERNANDEZ CARVALLO**

ASESOR: Ing. Oscar Donayre Córdova

LIMA – PERÚ

2015

*A Dios por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo de
investigación,
... a mis padres Alicia y Luis, por su sacrificio y apoyo constante en
cada momento de mi vida,
... a mi hermana Marjhorie por su amistad sincera.
Marisol Cortés*

A Dios por darme la perseverancia y ser capaz de ver las oportunidades.

*A mis padres Marina y Miguel por su apoyo incondicional y sacrificio
por verme cumplir mi sueño, y Álvaro, mi hermano, por estar a mi lado
siempre.*

A mis tíos Lupe, Jim y Cesar, por sus buenos consejos y amistad.

Miguel Fernandez

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por el apoyo brindado para efectuar los ensayos que demandó la investigación en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Asfalto de la Universidad Ricardo Palma.

Al Ingeniero Oscar Donayre Córdova, Director de Tesis, por su dedicación y orientación.

A los proveedores SERVICEM y SIKA, por brindarnos los productos y facilitarnos la información de estos.

Al Sr. José Vargas, Técnico del Laboratorio de Suelos, por el apoyo brindado en la ejecución de los ensayos.

A todas las demás personas que de cualquier manera contribuyeron con sus conocimientos para la elaboración de esta investigación.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| 1.1 Marco Situacional..... | 15 |
| 1.2 Problematización.-..... | 16 |
| 1.3 Objetivos: | 16 |
| 1.3.1 Objetivos Generales..... | 16 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 17 |
| 1.4 Importancia..... | 17 |
| 1.5 Metodología..... | 18 |
| CAPÍTULO II: GENERALIDADES | 19 |
| 2.1 Carreteras no Pavimentadas a nivel de afirmado..... | 19 |
| 2.2 Clasificación | 19 |
| 2.2 Deterioro en carreteras sin pavimentar..... | 20 |
| 2.2.1 Descripción del mecanismo de deterioro. | 20 |
| 2.2.2 Defectos comunes en vías sin pavimentar | 20 |
| 2.3 Definición de suelos. | 21 |
| 2.4 Origen del Suelo. | 22 |
| 2.5 Tipos de Suelos por tamaño de partículas. | 23 |
| 2.6 Propiedades de los Suelos: | 24 |
| 2.7 Mejoramiento de suelos..... | 27 |
| 2.8 Tipos de estabilización de suelos..... | 27 |
| CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE VÍAS EN LIMA METROPOLITANA..... | 38 |
| 3.1 Introducción..... | 38 |
| 3.2 Evolución demográfica de la Provincia de Lima..... | 40 |
| 3.3 Descripción de las zonas elegidas para la investigación: | 41 |
| 3.4 Población Urbana y Rural..... | 46 |
| 3.5 Problemática de las vías en afirmado en Lima Metropolitana | 47 |
| CAPÍTULO IV: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO PORTLAND.. | 48 |
| 4.1 Introducción:..... | 48 |
| 4.2 Marco Teórico | 49 |
| 4.2.1 Materiales | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2 Equipo..... | 51 |
| 4.3 Requerimientos de Construcción..... | 51 |
| 4.3.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados | 51 |
| 4.3.2 Diseño de la mezcla..... | 52 |
| 4.4.4 Reacción del cemento y el agua. | 56 |
| 4.4.5 Aplicación del Cemento en campo..... | 60 |
| 4.4.6 Mezclado Uniforme:..... | 61 |
| 4.4.7 Adición del Agua:..... | 61 |
| 4.4.8 Compactación: | 61 |
| 4.4.9 Terminación:..... | 61 |
| 4.4.10 Curado: | 62 |
| 4.5 | 62 |
| Dosificación para Ensayos de Laboratorio..... | 62 |
| CAPÍTULO V: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ZEOLITAS | 63 |
| 5.1 Introducción:..... | 63 |
| 5.2 Marco teórico:..... | 64 |
| 5.3 Zeolitas Sintéticas:..... | 65 |
| 5.3.1 Propiedades Físicas y Químicas: | 66 |
| 5.4 Cemento Portland con Zeolitas Sintéticas. | 67 |
| 5.5 El método del aditivo zeolítico:..... | 70 |
| 5.5.1 Suelos Expansivos (Los encontramos en la Zona Norte de Lima)..... | 71 |
| 5.5.2 Suelos de arenas colapsables: (Zona sur de Lima)..... | 71 |
| 5.5.3 Suelos Dispersivos..... | 72 |
| 5.6 Estabilización con Zeolita. Especificación de Mezcla | 73 |
| 5.7 Procedimiento Constructivo para realizar un tramo de prueba: | 74 |
| 5.8 Trascendencia del producto. | 77 |
| 5.9 Dosificación para Ensayos de Laboratorio..... | 80 |
| CAPÍTULO VI: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON BIOPOLÍMEROS..... | 81 |
| 6.1 Introducción..... | 81 |
| 6.2 Definiciones..... | 81 |
| 6.2.1 Biopolímeros | 81 |
| 6.2.2 Polisacáridos..... | 82 |
| 6.3 Estabilizador a base de Biopolímeros (EBB) | 82 |
| 6.3.1 Características Físicas y Químicas: | 83 |

| | |
|---|-----------|
| 6.4 Alcances del Estabilizador..... | 83 |
| 6.5 Dosificación..... | 84 |
| 6.6 Método de Aplicación | 84 |
| 6.7 Dosificación para Ensayos de Laboratorio..... | 85 |
| CAPÍTULO VII: DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO | 87 |
| 7.1 Introducción..... | 87 |
| 7.2 Contenido de Humedad | 90 |
| 7.2.1 Objetivo | 90 |
| 7.2.2 Resumen del ensayo | 90 |
| 7.2.3 Equipos a Utilizar | 90 |
| 7.2.4 Procedimiento..... | 91 |
| 7.2.5 Cálculos: | 91 |
| 7.3 Densidad natural de los suelos: | 92 |
| 7.3.1 Objetivo | 92 |
| 7.3.2 Resumen del ensayo | 92 |
| 7.3.3 Equipos a Utilizar | 93 |
| 7.3.4 Procedimiento:..... | 93 |
| 7.3.5 Cálculos | 94 |
| 7.4 Gravedad Específica..... | 94 |
| 7.4.1 Objetivo | 94 |
| 7.4.2 Resumen del Ensayo..... | 94 |
| 7.4.3 Equipos a Utilizar | 95 |
| 7.4.4 Procedimiento..... | 95 |
| 7.4.5 Cálculos: | 96 |
| 7.5 Límite Líquido y Plástico | 97 |
| 7.5.1 Objetivo | 97 |
| 7.5.2 Marco Teórico | 97 |
| A) Limite Líquido..... | 98 |
| B) Limite Plástico..... | 99 |
| 7.5.3 Equipos a utilizar:..... | 100 |
| 7.5.4 Procedimiento de los ensayos:..... | 100 |
| 7.5.5 Cálculos: | 102 |
| 7.6 Análisis Granulométrico..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| 7.6.1 Objetivo | 103 |
| 7.6.2 Resumen del ensayo | 103 |
| 7.6.3 Equipos a utilizar | 104 |
| 7.6.4 Procedimiento | 105 |
| 7.7 Clasificación de los Suelos (SUCS & AASHTO) | 106 |
| 7.7.1 Sistema SUCS | 106 |
| 7.7.2 Sistema AASHTO | 108 |
| 7.8 Proctor Estándar y Modificado – (ASTM D698 y ASTM D1557) | 110 |
| 7.8.1 Objetivo | 110 |
| 7.8.2 Resumen del ensayo | 110 |
| 7.8.3 Equipos a utilizar | 111 |
| 7.8.4 Procedimiento: | 112 |
| 7.8.5 Cálculos: | 112 |
| 7.8.6 Resultados: | 114 |
| 7.9 Capacidad de soporte de los Suelos (CBR) – ASTM 1883 | 115 |
| 7.9.1 Objetivo | 115 |
| 7.9.2 Resumen del ensayo | 115 |
| 7.9.3 Equipos a utilizar | 117 |
| 7.9.4 Procedimiento del Ensayo | 118 |
| 7.9.5 Ensayo CBR mezcla de suelo con biopolímero | 120 |
| 7.10 Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo cemento (ASTM D1633) | 123 |
| 7.10.1 Objetivo: | 123 |
| 7.10.2 Resumen del Ensayo | 123 |
| 7.10.3 Equipos a Utilizar | 124 |
| 7.10.4 Procedimiento del Ensayo | 125 |
| 7.10.5 Compresión simple para suelo cemento zeolita | 127 |
| CAPÍTULO VIII: DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS | 131 |
| 8.1 Métodos de Diseño | 132 |
| 8.2 Método AASTHO: | 132 |
| 8.3 Variables para el diseño: | 133 |
| 8.3.1 Periodo de diseño: | 133 |
| 8.3.2 Nivel de confiabilidad: | 134 |
| 8.3.3 Desviación Estándar Normal (Z_r) | 135 |

| | |
|--|-----|
| 8.3.4 Desviación Estándar Combinada (S_o) | 136 |
| 8.3.5 Módulo de Resiliencia: | 136 |
| 8.3.6 Criterios del comportamiento del Pavimento | 139 |
| 8.3.7 Análisis de tráfico:..... | 141 |
| 8.3.8 Coeficiente de drenaje (m_i):..... | 144 |
| 8.3.9 Número Estructural: | 145 |
| 8.4 Método de la ecuación del método NAASRA: | 148 |
| 8.5 Calculo del espesor de las vía estabilizadas. | 149 |
| 8.5.1 Determinación del EAL..... | 149 |
| 8.5.2 Cálculo de espesores por Zona y por Aditivo..... | 149 |
| CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE COSTOS | 154 |
| 9.1 Objetivo | 154 |
| 9.2 Antecedentes..... | 154 |
| 9.3 | 154 |
| Generalidades | 154 |
| 9.4 Procedimiento | 155 |
| 9.5 Análisis de Precios Unitarios..... | 156 |
| 9.6 Presupuesto:..... | 169 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 179 |
| 10.1 Conclusiones..... | 179 |
| 10.2 Recomendaciones: | 181 |
| BIBLIOGRAFÍA | 183 |
| ANEXOS | 185 |
| - Formatos de ensayos de laboratorio | 185 |
| - Formatos de diseño de pavimentos | 252 |
| PANEL FOTOGRÁFICO | 265 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|-----|
| CUADRO 3- 1: RESUMEN GENERAL DE VÍAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS POR DEPARTAMENTO | 46 |
| CUADRO 4- 1: DOSIFICACION OPTIMA DE CEMENTO SEGUN LA TABLA 4-1 | 62 |
| CUADRO 5- 1: DOSIFICACION DE LA MEZCLA CEMENTO – ZEOLITA | 80 |
| CUADRO 6- 1: DOSIFICACIONES DE RELACION AGUA: BIOPOLIMERO | 86 |
| CUADRO 7- 1: NORMAS VIGENTES DE LOS ENSAYOS A REALIZAR | 87 |
| CUADRO 7- 2: DOSIFICACION DE ADITIVOS QUIMICOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACION..... | 89 |
| CUADRO 7- 3: VALORES DE CARGA UNITARIA | 116 |
| CUADRO 7- 4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL SUELO DE LA ZONA DE HUAYCAN-ATE128 | |
| CUADRO 7- 5: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL SUELO DE LA ZONA DE CARABAYLLO | 129 |
| CUADRO 7- 6: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL SUELO DE LA ZONA LAS PRADERAS DE LURIN | 130 |
| CUADRO 8- 1: CALCULO DEL EAL..... | 149 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| TABLA 2-1: LÍMITES DE TAMAÑO DE SUELOS SEPARADOS..... | 24 |
| TABLA 2-2: ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN | 28 |
| TABLA 2-3: TIPOS DE ESTABILIZANTE QUÍMICO..... | 35 |
| TABLA 3-1: RELACIÓN DE DISTRITOS POR ÁREAS INTERDISTRITALES..... | 40 |
| TABLA 4-1: RANGO DE CEMENTO REQUERIDO EN ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO | 53 |
| TABLA 4-2: CONTENIDO INICIAL DE CEMENTO SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS | 53 |
| TABLA 4-3: RANGO TÍPICO CEMENTO SEGÚN CLASIFICACIÓN DE SUELOS..... | 54 |
| TABLA 4-4: CONTENIDO INICIAL DE CEMENTO DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN SUCS | 54 |
| TABLA 4-5: COMPOSICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND CON COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PORCENTAJE DE PESO..... | 57 |
| TABLA 5-1: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE INGREDIENTES DEL PRODUCTO | 67 |
| TABLA 5-2: GUÍA GENERAL DE DOSIFICACIÓN DE ZEOLITAS SINTÉTICAS..... | 74 |
| TABLA 6-1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL BIOPOLÍMERO | 83 |
| TABLA 7-1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TIPOS DE ESTABILIZADORES Y PARÁMETROS | 88 |
| TABLA 7-2: PESO MÍNIMO RECOMENDADO DE LA MUESTRA | 90 |
| TABLA 7-3: SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) ASTM D2487-93..... | 107 |
| TABLA 7-4: CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y MEZCLAS DE AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN VIAL - AASHTO M 145-82 | 108 |
| TABLA 7-5: CALIFICACIONES TÍPICAS SEGÚN TIPO DE SUELO | 117 |
| TABLA 8-1: PERIODO DE DISEÑO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA..... | 134 |
| TABLA 8-2: NIVELES DE CONFIABILIDAD RECOMENDADOS POR CLASIFICACIÓN DE LA VÍA | 135 |
| TABLA 8-3: VALORES RECOMENDADOS DE NIVEL DE CONFIABILIDAD UNA SOLA ETAPA DE DISEÑO (10 O 20 AÑOS) SEGÚN RANGO DE TRÁFICO | 135 |
| TABLA 8-4: COEFICIENTE ESTADÍSTICO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr) PARA UNA SOLA ETAPA DE DISEÑO (10 O 20 AÑOS) SEGÚN EL NIVEL DE CONFIABILIDAD SELECCIONADO Y EL RANGO DE TRÁFICO | 136 |
| TABLA 8-5: ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL | 140 |
| TABLA 8-6: ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL | 140 |
| TABLA 8-7: FACTOR DE DISTRIBUCIÓN CARRIL | 142 |
| TABLA 8-8: RELACIÓN DE CARGAS POR EJE PARA DETERMINAR EJES EQUIVALENTES (EE) PARA AFIRMADOS, PAVIMENTOS FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS. | 143 |
| TABLA 8-9: VALORES DE m_i RECOMENDADOS PARA MODIFICAR LOS COEFICIENTES DE CAPAS DE AFIRMADO..... | 145 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| FIGURA 2-1: RELACIÓN PESO ESPECÍFICO Y NÚMERO DE PASADAS DE UN RODILLO (84.5 kN) | 31 |
| FIGURA 2-2: RELACIÓN PESO ESPECÍFICO - PROFUNDIDAD | 31 |
| FIGURA 2-3: ESTIMACIÓN DE LA CAPA DE COMPACTACIÓN..... | 32 |
| FIGURA 2-4: MÉTODO DE APLICACIÓN DEL BIOPOLÍMERO EN CAMPO. | 37 |
| FIGURA 3-1: ÁREAS INTERDISTRITALES LIMA METROPOLITANA..... | 39 |
| FIGURA 3-2: VÍAS SIN AFIRMAR EN PUEBLOS JÓVENES DE LIMA..... | 41 |
| FIGURA 3-3: VÍA AFIRMADA EN LA ZONA DE CARABAYLLO – SAN PEDRO. | 42 |
| FIGURA 3-4 : VÍA AFIRMADA LUEGO DE UNA LLOVIZNA EN LA ZONA DE CARABAYLLO – SAN PEDRO. | 43 |
| FIGURA 3-5: ZONA R DE LA COMUNIDAD DE HUAYCÁN. | 44 |
| FIGURA 3-6: ALREDEDORES DE LA URBANIZACIÓN LAS PRADERAS DE LURÍN..... | 45 |
| FIGURA 4-1: ESCARIFICACIÓN O PULVERIZACIÓN DEL CAMINO. | 56 |
| FIGURA 4-2: ESQUEMA DE LOS POROS EN EL SILICATO DE CALCIO. | 57 |
| FIGURA 4-3: GRADO DE LA EVOLUCIÓN DE CALOR..... | 58 |
| FIGURA 4-4: COMPOSICIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO FRESCA Y ENDURECIDA. | 59 |
| FIGURA 4-5: DISTRIBUCIÓN DE LAS BOLSAS DE CEMENTO. | 60 |
| FIGURA 4-6: MEZCLA DEL SUELO CEMENTO EN CAMPO. | 61 |
| FIGURA 5-1. PRESENTACIÓN DEL ADITIVO EN BOLSAS DE 25 KG. | 66 |
| FIGURA 5-2. ADITIVO: ZEOLITA SINTÉTICA..... | 66 |
| FIGURA 5-3: EXPRESIONES SIMULADAS DE LAS REACCIONES DE HIDRATACIÓN Y EL EFECTO DE CRISTALIZACIÓN “ENVOLVENTE” | 68 |
| FIGURA 5-4: PRODUCTO FINAL DE LA REACCIÓN CEMENTO – ZEOLITA. | 69 |
| FIGURA 5-5: CAMINO DE ACCESO A UNA SUB-ESTACIÓN ELÉCTRICA..... | 76 |
| FIGURA 6-1: PRODUCTO BIOPOLÍMERO EN PROBETA DE VIDRIO. | 83 |
| FIGURA 6-2: APLICACIÓN DE LA DOSIS DE BIOPOLÍMERO | 85 |
| FIGURA 7-1: TARAS CON MUESTRA DE SUELO HÚMEDO..... | 91 |
| FIGURA 7-2: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA..... | 96 |
| FIGURA 7-3: LOCALIZACIÓN RELATIVA DE LOS LÍMITES PLÁSTICO Y LÍQUIDO..... | 98 |
| FIGURA 7-4: ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO. | 99 |
| FIGURA 7-5: MATERIAL RETENIDO DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA. | 105 |
| FIGURA 7-6: MOLDES DE LA CURVA PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO DE CARABAYLLO. | 112 |
| FIGURA 7-7: CURVAS DE LOS MÉTODOS DE COMPACTACIÓN ESTÁNDAR Y MODIFICADA. | 115 |
| FIGURA 7-8: MOLDE DE COMPACTACIÓN PARA CBR. | 117 |
| FIGURA 7-9: MEZCLA DE AGUA – BIOPOLÍMERO – SUELO..... | 121 |
| FIGURA 7-10: INSTRUMENTOS PARA EL ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE. | 124 |
| FIGURA 7-11: PRENSA DE COMPRESIÓN DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE UNICON..... | 125 |
| FIGURA 7-12: REEMPLAZO DE PARTÍCULAS INDIVIDUALES. | 126 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 7-13: MEZCLA DE SUELO – CEMENTO | 126 |
| FIGURA 7-14: CURADO HERMÉTICO DE PROBETAS..... | 127 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| GRAFICO 7- 1: DIAGRAMA DE FLUIDEZ | 102 |
| GRAFICO 7- 2: CARTA DE PLASTICIDAD..... | 109 |
| GRAFICO 7- 3: CAPACIDAD DE SOPORTE DE CBR – ZONA CARABAYLLO | 121 |
| GRAFICO 7- 4: CAPACIDAD DE SOPORTE DE CBR – ZONA HUAYCAN | 122 |
| GRAFICO 7- 5: CAPACIDAD DE SOPORTE DE CBR – ZONA LURIN..... | 122 |
| GRAFICO 7- 6: RESULTADOS DE RESISTENCIA DEL ENSAYO COMPRESION SIMPLE (ZONA HUAYCAN). 128 | |
| GRAFICO 7- 7: RESULTADOS DE RESISTENCIA DEL ENSAYO COMPRESION SIMPLE (ZONA CARABAYLLO) | 129 |
| GRAFICO 7- 8: RESULTADOS DE RESISTENCIA DEL ENSAYO COMPRESION SIMPLE (ZONA LURIN) | 130 |
| | |
| GRAFICO 8- 1: ABACO PARA LA DETERMINACION DEL DAÑO RELATIVO..... | 137 |
| GRAFICO 8- 2: RELACION ENTRE EL CBR Y EL MODULO RESILIENTE. | 139 |
| GRAFICO 8- 3: COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA CAPAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO. | 146 |
| GRAFICO 8- 4: COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASES ESTABILIZADAS..... | 147 |
| GRAFICO 8- 5: DETERMINACION DE ESPESOR DE CAPA DE REVESTIMIENTO GRANULAR | 148 |
| GRAFICO 8- 6: ESPESORES DE LA CAPA ESTABILIZADA (METODO AASTHO) – NORTE..... | 150 |
| GRAFICO 8- 7: ESPESORES DE LA CAPA ESTABILIZADA (METODO AASTHO) – ESTE | 151 |
| GRAFICO 8- 8: ESPESORES DE LA CAPA ESTABILIZADA (METODO AASTHO) - SUR | 151 |
| GRAFICO 8- 9: ESPESORES DE LA CAPA ESTABILIZADA (METODO NAASRA)- NORTE | 152 |
| GRAFICO 8- 10: ESPESORES DE LA CAPA ESTABILIZADA (METODO NAASRA) – ESTE | 152 |
| GRAFICO 8- 11: ESPESORES DE LA CAPA ESTABILIZADA (METODO NAASRA) – SUR..... | 153 |
| | |
| GRAFICO 9- 1: COMPARATIVO DEL PRESUPUESTO CON EL METODO AASTHO Y NAASRA - NORTE | 172 |
| GRAFICO 9- 2: COMPARATIVO DEL PRESUPUESTO CON EL METODO AASTHO Y NAASRA – ESTE.. | 175 |
| GRAFICO 9- 3: COMPARATIVO DEL PRESUPUESTO CON EL METODO DE DISEÑO AASTHO Y NAASRA – SUR | 178 |

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Marco Situacional

El mejoramiento de suelos a través de la estabilización es una práctica de ingeniería, usado para mejorar las propiedades de los suelos encontrados de manera natural. La estabilización de suelos es usado generalmente para modificar las características de los suelos e incrementar la resistencia a agentes externos que dañen la vía.

Para construcción de vías terrestres, terraplenes, vías férreas, etc., la influencia de los aditivos químicos se da a través del aprovechamiento de suelos que no tienen las características requeridas para el diseño.

El aprovechamiento de los suelos existentes mediante la estabilización, incluso en el caso de suelos marginales o contaminados, evita la reducción de los recursos naturales disponibles al disminuir el empleo de suelos de mejor calidad. Por otra parte, se suprimen las operaciones de remoción de los suelos existentes y su transporte a vertederos, así como las de extracción y transporte a obra de los suelos que los sustituyen. Se trata de una técnica enfocada claramente a lograr una mayor sostenibilidad, cuyas ventajas medioambientales y técnicas, se suman importantes beneficios económicos.

Existen en la práctica diferentes agentes estabilizadores como la cal, el cemento, productos asfálticos, ácidos orgánicos, resinas, polímeros entre otros.

La estabilización suelo – cemento es la técnica más usada, sin embargo, si encontráramos un agente que su función sea utilizar menor cantidad de cemento e incrementar su resistencia a la deformación, el análisis de costo se vería afectado, eso es

un punto de esta investigación, se estudiará el comportamiento de la estabilización suelo-cemento-zeolita para diferentes tipos de granulometrías (GP, ML, SP).

Las zeolitas sintéticas es un polvo con partículas cristalinas, tiene una reacción inmediata a la humedad, en pocos segundos absorbe la humedad del ambiente, este proceso se observó visualmente en laboratorio. Se dosifica en porcentaje de peso del cemento.

Otro agente estabilizador que se estudiará en esta investigación es el biopolímero que actualmente es usado como supresor de polvo, pero no es usado en la estabilización de suelos. El agente estabilizador está en proceso de investigación por la empresa que lo comercializa. El biopolímero es un líquido color marrón oscuro, su base es la sacarosa, y se dosifica en relación al contenido óptimo de agua.

Estos agentes estabilizadores serán evaluados para analizar el comportamiento de la resistencia de la estabilización de suelos encontrados de manera in-situ, evaluados mediante los ensayos de compresión simple y capacidad de soporte, con el fin de obtener un panorama general con los agentes estabilizados mencionados anteriormente.

1.2 Problematización.-

¿Cuál es la influencia de las zeolitas y los biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos en los sectores del sur, este y norte de Lima Metropolitana para las vías no pavimentadas?

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivos Generales

Ofrecer una solución adecuada y eficaz para las vías de transporte no pavimentadas, con el uso de aditivos químicos a base de zeolitas y biopolímeros, mejorando los costos de

ejecución, resistencia del suelo in-situ y reducción del levantamiento de polvo, prolongando el tiempo de vida útil.

1.3.2 Objetivos específicos

- Mejorar la calidad de la vía para el transporte público en zonas no pavimentadas.
- Disminuir los costos en el mantenimiento de los caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito, ya que se deterioran al poco tiempo de su ejecución o mantenimiento.
- Evaluar los métodos de diseño AASTHO y NAASRA para cada suelo de las zonas en estudio.
- Incentivar al mejoramiento de los caminos no pavimentados tanto en los distritos de la capital, como en poblados al interior de nuestro país con métodos de estabilización no costosos y prácticos de realizar.

1.4 Importancia

En el Perú, la gran parte de sus caminos son de bajo volumen de tránsito, siendo una de las causas por lo que estos caminos no son viables para una pavimentación ya sea con concreto hidráulico o con pavimento asfáltico; dejando los caminos a nivel de afirmado o tan solo en trocha (terreno natural), es por ello que a falta de un mantenimiento de estas superficies de rodadura, se deterioran con facilidad produciéndose diferentes tipos de fallas destacando en estas el levantamiento de polvo. Este trabajo se llevara a cabo con la finalidad de buscar una alternativa más eficiente y económica para la ejecución y mejoramiento de suelos con la adición de aditivos químicos para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, y así obtener caminos más durables y rentables, siendo una alternativa atractiva para los municipios de la capital satisfaciendo las expectativas de sus pobladores.

1.5 Metodología

La metodología de la investigación es descriptiva y aplicada, comenzamos describiendo y explicando los tipos de estabilizaciones comunes que se aplican a caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito, sus ventajas y desventajas, luego se describen las características de las zeolitas y biopolímeros, y su influencia en los suelos in-situ. Decimos que es aplicada la investigación porque el objetivo es utilizar nuevos métodos de estabilización de suelos, que duren mucho más y no causen problemas al corto tiempo de su aplicación.

La investigación es no experimental pues no se hará un tramo de prueba, se realizarán los ensayos de compresión y CBR para demostrar su eficacia en cuanto al incremento de resistencia, luego se optimizará el espesor de la vía mediante el diseño de pavimentos, además de esto se procederá con un análisis de costos para la ejecución de caminos a nivel de afirmado para el Sur, Este y Norte de la ciudad de Lima.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES

2.1 Carreteras no Pavimentadas a nivel de afirmado.

Aquellas que tienen una superficie de rodadura formada por materiales granulares y que han sido sometidas a tratamientos superficiales, con trabajos previos de alineación, con apropiada sección transversal y longitudinal, y adecuado drenaje; o que han sido trabajadas sin ningún tratamiento alguno tales como los caminos de herradura o trochas que son construidos por la necesidad de acceder a lugares remotos.

2.2 Clasificación

Las carreteras no pavimentadas por las capas superiores y la superficie de rodadura, se pueden clasificar en cuatro categorías:

- Carreteras de tierra: constituidas por suelos naturales y grava tratada con zarandeo
- Carreteras gravosas: constituidas por una capa de revestimiento con material natural granular sin procesar que es seleccionado manualmente o por zarandeo. Su tamaño máximo es de 75mm.
- Carreteras afirmadas: aquellas que funcionan como superficie de rodadura y/o soporte al tráfico vehicular cuya capa de rodadura está constituida por materiales granulares naturales provenientes de canteras, excedentes de excavaciones o materiales que se ajustan a determinadas especificaciones técnicas en relación con su tamaño, su composición granulométrica, su resistencia y su calidad de finos.
- Carreteras con superficies estabilizadas con materiales de origen industrial.

2.2 Deterioro en carreteras sin pavimentar.

2.2.1 Descripción del mecanismo de deterioro.

El mecanismo de deterioro de un camino sin pavimentar a diferencia de las carreteras pavimentadas consiste en un proceso progresivo más acelerado. Los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico) llegan a pulverizarse en condiciones secas. Estos finos pulverizados aparecen como material de partículas en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones.

2.2.2 Defectos comunes en vías sin pavimentar

Los defectos más comunes en vías sin pavimentar fueron tratados a profundidad por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, quienes publicaron un estudio llamado “Unsurfaced Road Maintenance (Special Report 87-15)” en 1987, actualizado en el reporte del 92-96. Este estudio se basó en la evaluación de la magnitud y gravedad de los defectos donde se identificó siete situaciones o problemas tipificados de la siguiente forma:

- **Sección Transversal impropia:** Al ocurrir esto la carretera estará propensa a sufrir deterioro por problemas de circulación y de drenaje, por lo que se debe presentar una pendiente transversal suficiente para que las aguas superficiales sean evacuadas de manera rápida fuera de la plataforma
- **Drenaje Inadecuado:** Se caracteriza por la acumulación de agua superficial en la plataforma, no necesariamente por el mal drenaje superficial o la inexistencia de elementos de drenaje profundo, sino por falta de mantenimiento en las obras de arte.
- **Ondulaciones:** Se distinguen por las deformaciones que ocurren en la superficie de rodadura, en intervalos regulares y perpendiculares al tráfico. Su origen se debe a una serie de factores tales como: continuo tráfico de vehículos, pérdida de finos,

deficiencias en la capacidad de soporte, pendiente inadecuada y capas granulares de mala calidad.

- **Exceso de Polvo:** Se origina por la pérdida de la fracción fina de la base o de la capa granular de afirmado cuyo contenido en la mezcla es excesivo. Produce incomodidad dado que afectan: a la población, a la salud, a la operatividad de los vehículos y a los costos de mantenimiento al perder el equilibrio entre las mezclas de los agregados.
- **Baches:** Se genera debido a los siguientes factores: Inexistencia de capas de revestimiento, deficiencias en la composición de la mezcla, ausencia de partículas aglutinantes en la composición de la carpeta de rodado, plataforma mal drenada y sin inclinación transversal.
- **Surcos o rueda o ahuellamiento:** Son depresiones que ocurren longitudinalmente al eje del camino. Se originan por la deformación permanente de la base o revestimiento y/o cuando tienen baja capacidad de soporte.
- **Segregación de agregados:** Se genera por el constante paso de vehículos sobre la superficie de circulación. Como resultado los agregados gruesos se depositan junto a los surcos de las ruedas y en su mayoría en los bordes de la plataforma. La causa principal es la falta de aglutinantes en la composición de las mezclas en los materiales.

2.3 Definición de suelos.

En el sentido general de la ingeniería, *suelo* se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

El suelo como sistema de partículas: Si examinamos un puñado de arena de playa, se advierte a simple vista que el suelo se compone de granos independientes. Lo mismo puede decirse de todos los suelos son tan pequeñas que se requieren las técnicas microscópicas más refinadas para distinguirlas. Las partículas discretas que constituyen un suelo no están unidas tan fuertemente como los cristales de un metal y por lo tanto

pueden moverse con relativa libertad, uno con respecto a otras. Así pues el suelo es intrínsecamente un sistema de partículas.

El suelo se usa como material de construcción en diferentes proyectos de Ingeniería Civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales es por esto que los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, resistencia cortante, capacidad de carga, y otras más.

2.4 Origen del Suelo.

La mayoría de los suelos que cubren la tierra están formados por el interperismo de varias rocas. Existen dos tipos generales de interperismo: (1) mecánico y (2) químico.

El *interperismo mecánico* es el proceso por el cual las rocas se fracturan en piezas de menor tamaño bajo la acción de fuerzas físicas, como la corriente de agua de los ríos, vientos, olas oceánicas, hielo glacial, acción de congelamiento, además de expansiones y contracciones causadas por ganancias y pérdida de calor.

El *interperismo químico* es el proceso de descomposición química de la roca original. En el caso de interperismo mecánico, la roca se fractura en piezas menores sin cambiar su composición química. Sin embargo, el interperismo químico, el material original se cambia a otro totalmente diferente.

El suelo producido por el interperismo de rocas llega a ser transportado mediante procesos físicos hacia otros lugares. Estos depósitos se llaman *suelos transportados*. Algunos pertenecen a donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se originan y se conocen *como suelos residuales*.

Agentes de Transporte:

- Aluviales y fluviales: por corriente de agua.
- Glaciales: acción de glaciares.
- Eólicos: por acción del viento.

2.5 Tipos de Suelos por tamaño de partículas.

Los tamaños de las partículas, en general, que conforman un suelo, varían en amplio rango. Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas.

La tabla 2-1 muestra límites de tamaño de suelo separado desarrollados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASTHO), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, y la Oficina de Restauración de Estados Unidos.

Las gravas son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales. Las partículas de arena están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales. Los limos son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos.

Las arcillas son partículas sub microscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros. Estas partículas desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua. El sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

Tabla 2-1: Límites de Tamaño de Suelos Separados

| Nombre de la Organización | Tamaño del grano (mm) | | | |
|---|-----------------------|--------------|--|---------|
| | Grava | Arena | Limo | Arcilla |
| Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) | > 2 | 2 a 0.06 | 0.06 a 0.002 | <0.002 |
| Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) | > 2 | 2 a 0.05 | 0.05 a 0.002 | <0.002 |
| Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASTHO) | 76.2 a 2.0 | 2.0 a 0.075 | 0.075 a 0.002 | <0.002 |
| Sistema Unificado de Clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials) | 76.2 a 4.75 | 4.75 a 0.075 | Finos (Es decir, limos y arcillas) <0.05 | |

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das.

2.6 Propiedades de los Suelos:

Las propiedades de los suelos que deben ser tenidas en cuenta son las siguientes:

- A) Estabilidad Volumétrica.
- B) Resistencia.
- C) Permeabilidad.
- D) Comprensibilidad.
- E) Durabilidad.

A. Estabilidad Volumétrica:

La expansión y contracción de muchos suelos, originadas por los cambios de humedad, se pueden presentar en forma rápida o acompañando a las variaciones estacionales o con

la actividad del ingeniero. Por tanto si las expansiones que se desarrollan debido a un incremento de humedad no se controlan de alguna forma, estas presiones pueden ocasionar graves deformaciones y rupturas en el pavimento y, en general, en cualquier obra.

Algunos de los principales procedimientos para incrementar el peso volumétrico de un suelo son:

- Compactación mediante amasado, vibración o impactos.
- Vibroflotación.
- Precarga.
- Drenaje.
- Adición de agentes que reduzcan la fricción y cohesión entre las partículas.

B. Resistencia:

La resistencia de los suelos, con excepciones, es en general de baja resistencia cuanto mayor sea su contenido de humedad. Existen casos en donde la disminución de humedad puede significar la reducción en la resistencia, pues se han presentado casos de deslizamientos de tierra provocados por arcillas que se secaron y se agrietaron, provocando con ello que el comportamiento del material sea el de un suelo friccionante que puede tener menor resistencia que si se considera como cohesivo a humedades mayores.

Se ha visto que en suelos finos, tiene importancia decisiva la forma de aplicación de la energía de compactación, sobre todo cuando se emplean humedades más altas que la óptima pues, por ejemplo, la energía aplicada por impactos puede ocasionar que un suelo compactado del lado húmedo presente resistencias del orden de hasta un cuarto de veces menor que la resistencia, que a igualdad de circunstancias, presenta el mismo suelo compactado en forma estática.

C. Permeabilidad

En los suelos la permeabilidad se plantea, en términos generales, en dos problemas, básicos, como lo son el relacionado con la disipación de las presiones de poro relacionado con el flujo de agua a través del suelo. El tener presiones de poro excesivas puede originar deslizamientos en explanaciones y el flujo de agua puede originar tubificaciones y arrastres.

D. Compresibilidad:

Los cambios en volumen o compresibilidad tienen una importante influencia en las propiedades de los suelos, pues se modifica la permeabilidad, se alteran las fuerzas existentes entre partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos.

Al remoldear un suelo se modifica la compresibilidad, por lo que esta característica se puede modificar mediante procedimientos de compactación.

Se ha encontrado que la humedad de compactación tiene una gran importancia en la compresibilidad de suelos compactados, pues si se compactan dos especímenes al mismo peso volumétrico pero uno en la rama seca de la curva de peso volumétrico contra humedad y el otro en la rama húmeda, se tendrá que para presiones de consolidación bajas el espécimen compactado del lado húmedo será más compresible debido a que su estructura se encuentra más dispersa, pero para grandes presiones se tienen colapsos y reorientaciones en la estructura del espécimen que se encuentra en el lado seco, lo cual provoca que este sea ahora más compresible.

E. Durabilidad:

Se involucran en este concepto aquellos factores que se refieren a la resistencia al interperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico; de esta manera los problemas de durabilidad en las vías terrestres suelen estar muy asociados a suelos situados

relativamente cerca de la superficie de rodamiento. En rigor, estos problemas pueden afectar tanto a suelos naturales como a los estabilizados, si bien en estos últimos los peores comportamientos suelen ser consecuencia de diseños inadecuados, tales como una mala elección del **agente estabilizador** o un serio error en su uso.

Actualmente, una deficiencia importante en los estudios de las estabilizaciones es la carencia de pruebas adecuadas para estudiar la durabilidad. Las pruebas de interperismo no son adecuadas para el estudio de agregados para pavimentos por no reproducir en forma eficiente el ataque a que estarán sujetos.

2.7 Mejoramiento de suelos.

El suelo en un sitio de construcción no será siempre adecuado para soportar las estructuras de puentes, carreteras y presas.

Algunas veces, las capas superiores del suelo no son adecuadas y deben retirarse y reemplazarse con mejor material sobre el cual pueda construirse.

El mejoramiento *insitu* de suelos por medio de aditivos se conoce como estabilización.

Se denomina *estabilización de suelos* al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas al clima, rindiendo en todo tiempo el servicio adecuado que de ellos se espera.

2.8 Tipos de estabilización de suelos.

En la tabla 2-2 se muestra los diferentes sistemas que se pueden emplear en la estabilización de suelos que requieren los siguientes requisitos.

- a) El material básico que se debe emplear es el suelo, ya sea en el estado natural en que se encuentra a lo largo del camino, incorporándole otros materiales, o acarreándolo totalmente de canteras cercanas.
- b) Es necesario que se desarrolle suficiente cohesión y fricción interna en los suelos para que puedan resistir satisfactoriamente el tránsito de vehículos.

- c) El suelo debe de resistir la acción de los agentes atmosféricos para que pueda conservar sus buenas propiedades durante todo tiempo.
- d) Deben seleccionarse los materiales y los métodos de construcción apropiados para que la obra resulte de bajo costo y con características satisfactorias para resistir el tránsito que va a circular por ellos.

Los sistemas de estabilización de suelos que más se emplean son los siguientes:

- i) Estabilización por compactación.
- ii) Estabilización mediante la unión de los granos de suelo con un material cementante (cemento, asfalto, cal).
- iii) Estabilización mediante tratamientos químicos.
- iv) Estabilización mecánica empleando suelos granulares.

Tabla 2-2: Alternativas de Estabilización

| MATERIAL | TIPOS DE ESTABILIZACIÓN | | | |
|-----------------|---|--|--|--|
| | MECÁNICA | CON CEMENTO | CON CAL | CON EMULSIÓN |
| Grava | Puede ser necesaria la adición de finos para prevenir desprendimiento. | Probablemente no es necesaria, salvo si hay finos plásticos. Cantidad de 2 a 4%. | No es necesaria, salvo que los finos sean plásticos. Cantidad de 2 a 4%. | Apropiada si hay deficiencia de finos. Aproximadamente 3% de asfalto residual. |
| Arena limpia | Adición de gruesos para dar la estabilidad y de finos para prevenir desprendimientos. | Inadecuada: produce material quebradizo. | Inadecuada: no hay reacción. | Muy adecuada: De 3 a 5% de asfalto residual. |
| Arena arcillosa | Adición de gruesos para mejorar resistencia. | Recomendable 4 - 8% | Es factible dependiendo del contenido de arcilla. | Se puede emplear de 3 a 4% de asfalto residual. |
| Arcilla arenosa | Usualmente no es aconsejable | Recomendable 4 - 12% | 4 a 8% dependiendo del contenido de arcilla. | Se puede emplear pero no es muy aconsejable. |

| | | | | |
|---------|------------|--|---|-------------|
| Arcilla | Inadecuada | No es muy aconsejable. La mezcla puede favorecerse con un mezcla con 2% de cal y luego entre 8 y 15% de cemento. | Muy adecuada. Entre 4 y 8% dependiendo de la arcilla. | Inadecuada. |
|---------|------------|--|---|-------------|

Fuente: N.T.E CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes.

Nota: La presente tabla incluye valores iniciales de dosificación con fines de diseño.

i) Estabilización por compactación:

Si se agrega una pequeña cantidad de agua a un suelo y luego este se compacta, el suelo tendrá un cierto peso específico. Si el contenido de agua del mismo suelo es incrementado gradualmente y la energía de compactación es la misma, el peso específico seco del suelo se incrementara gradualmente. La razón es que el agua actúa como un lubricante entre partículas del suelo y, bajo compactación esta ayuda a reacomodar las partículas sólidas a un estado más denso. El incremento en peso específico seco con el incremento del contenido de agua en un suelo alcanzara un valor límite más allá del cual cantidades adicionales de agua conducirán a una *reducción* del peso específico seco. El contenido de agua para el cual se obtiene el *peso específico seco máximo* se llama *contenido de agua óptimo*.

La compactación ordinaria en campo se hace por medio de compactadores de rodillos.

Los más comunes son:

- Rodillos lisos (o de tambor liso)
- Rodillos neumáticos de llantas de hule
- Rodillos pata de cabra
- Rodillos vibratorios

Rodillo liso genera vibración vertical durante la compactación. Los rodillos lisos son adecuados para pruebas de rodado en sub rasantes. Estos proporcionan una cobertura de 100% bajo las ruedas y la presión de contacto llega a ser tan alta como 300-400 kN/m². Sin embargo, no producen un peso específico uniforme de compactación al usarlos en capas gruesas.

Los rodillos neumáticos con llantas de hule, son mejores en muchos aspectos que los rodillos lisos. La presión de contacto bajo las ruedas llega a ser hasta de 600-700 kN/m² y una cobertura de 70%-80%. Los rodillos neumáticos, empleados para la compactación de suelos arenosos y arcillosos, producen una combinación de presión y acción de amasamiento.

Los rodillos patas de cabra, consisten básicamente en tambores con un gran número de protuberancias. El área de cada protuberancia puede ser de (25-90 cm²). Esos rodillos alcanzan su *mayor efectividad de compactación en suelos cohesivos*. La presión de contacto bajo las protuberancias varía entre (1500-7500 kN/m²). Durante la compactación en el campo, las pasadas iniciales compactan la porción inferior de un lecho. Luego, son compactadas las partes intermedia y superior.

Los *rodillos vibratorios* son eficientes en la compactación de suelos granulares. Los vibradores se unen a ruedas lisas, ruedas neumáticas de hule o rodillos con patas de cabra para vibrar el suelo en proceso de compactación. En general, la compactación en el campo depende de varios factores, tales como el tipo de compactador, el tipo de suelo, el contenido de agua, el espesor de la capa, la velocidad de avance del compactador y el número de pasadas del rodillo.

La figura 2-1 muestra las curvas de crecimiento para un suelo de arcilla limosa. El peso específico seco de un suelo a un contenido de agua dado crecerá hasta cierto punto con el número de pasadas del rodillo.

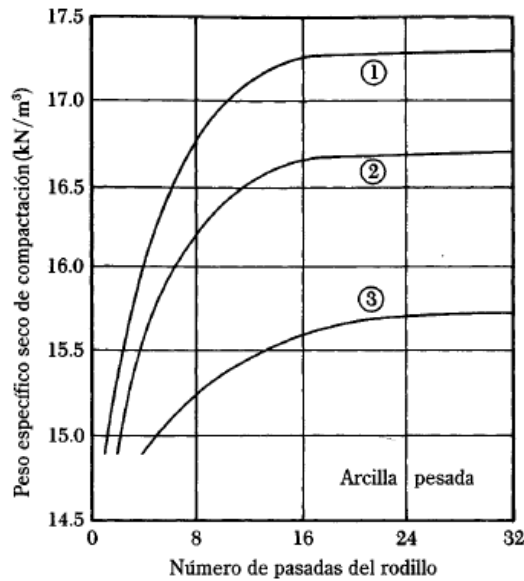


Figura 2-1: Relación Peso Específico y Número de Pasadas de un rodillo (84.5 kN)
 La figura 2-2 muestra la variación del peso específico de compactación con la profundidad para una arena de duna pobremente graduada compactada por medio de un rodillo de tambor vibratorio. La vibración fue producida montando un peso excéntrico sobre un eje simple rotatorio dentro del cilindro del tambor. El peso del rodillo usado para esta compactación fue de 55.7 kN y el diámetro del tambor fue de 1.19 m. Las capas se mantuvieron constantes de 2.44 m.

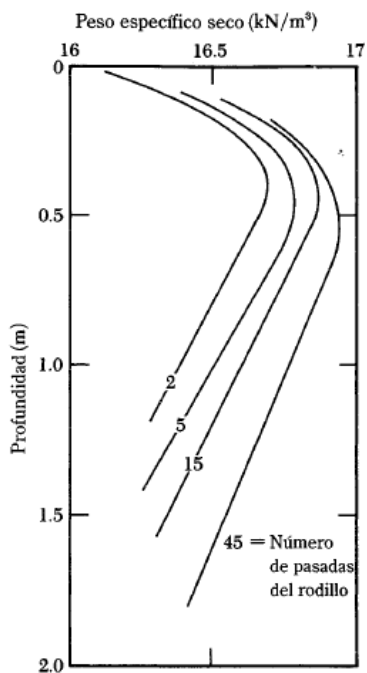


Figura 2-2: relación peso específico - profundidad

Compactación vibratoria de una arena; variación del peso específico seco con la profundidad y el número de pasadas del rodillo; espesor de la capa = 2.44 m (según D'Appolonia y otros, 1969).

Note que, a cualquier profundidad el peso específico seco de compactación crece con el número de pasadas del rodillo. Sin embargo, la tasa de crecimiento del peso específico decrece gradualmente después de aproximadamente quince pasadas. Note también la variación del peso específico seco con la profundidad por número de pasadas de rodillo. El peso específico seco y por consiguiente la compactación relativa, C_r , alcanzan valores máximos a una profundidad aproximadamente 0.5 m y luego decrecen gradualmente conforme la profundidad decrece, debido a la falta de presión de confinamiento hacia la superficie.

Una vez que se determina la relación de la profundidad *versus* la compactación relativa (o peso específico seco) del suelo para un número dado de pasadas del rodillo, es fácil estimar el espesor aproximado de cada capa. En la figura 2-3 se muestra el método para determinar espesor de la capa de compactación.

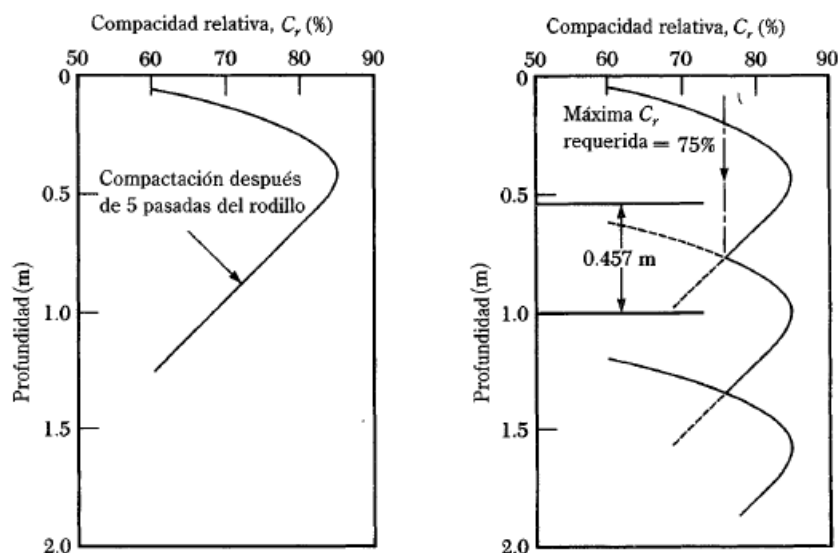


Figura 2-3: Estimación de la Capa de Compactación.

Nota: Método para estimar el espesor de la capa de compactación. La compactación relativa requerida es de 75% después de cinco pasadas del rodillo (según D'appolonia y otros, 1969).

El procedimiento de vibro-flotación es especialmente aplicable en la compactación de arenas o suelos con alta permeabilidad y consiste en la inserción, en el suelo arenoso suelto, de un dispositivo vibratorio, capaz de aplicar agua simultáneamente con el vibrado, de tal manera que al encontrarse dicho dispositivo dentro del suelo inyectando agua y vibrando se produce la licuación de la arena lográndose con ello su compactación.

ii) Estabilización con cemento portland:

Cuando se proyecta pavimentar un camino secundario o una calle de poco tránsito, se deben estudiar los diferentes tipos de pavimento utilizables para ver cuál es el aconsejable. Si se considera la posibilidad de usar cemento portland para estabilizar el suelo, se debe estudiar en primer lugar el material que se encuentra a lo largo del mismo.

iii) Estabilización con productos Asfálticos:

El comportamiento de los materiales para caminos, sometidos a la acción del tránsito, depende de dos propiedades básicas: cohesión y fricción interna. Por lo tanto, si se mezcla a un suelo un producto asfáltico que le proporcione la suficiente cohesión y fricción interna, o que contribuya a mantener dichas propiedades, entonces se habrá logrado un material estabilizado. Todos los productos asfálticos son pegajosos y cohesivos, y por lo tanto, pueden ser empleados para proporcionar la cohesión necesaria a los suelos naturales que carezcan o que posean en escaso grado esta propiedad.

iv) Estabilización con Cal:

Las arcillas que presentan alta plasticidad son difíciles de pulverizar, mezclar y compactar, y experimentan grandes cambios de volumen con las variaciones en su contenido de humedad. Agregándole a muchas de estas arcillas cierta cantidad de cal apagada, reduce en ellas su índice plástico y su contracción lineal.

v) Estabilización mecánica empleando suelos granulares

En la estabilización mecánica de los suelos granulares a menudo se acarrea de otros lugares todo el material empleado. La estabilización mecánica depende de la cohesión y de la fricción interna que puedan desarrollarse mezclando adecuadamente distintos tipos de suelos. Se sabe que los suelos de grano grueso, como las gravas y arenas, poseen fricción interna relativamente alta, mientras que los suelos de partículas finas, como las arcillas, tienen escasa interna, excepto cuando secos.

Como la fricción interna sola no imparte toda la estabilidad que se necesita en un camino, ya que si las partículas pueden moverse libremente, se separaran de la mezcla y se reducirá la magnitud de la fricción interna que pudieran desarrollar, es necesario agregar un agente aglutinante que mantenga firmemente unidas a las partículas gruesas.

vi) Estabilización mediante tratamientos químicos:

El uso de materiales a base de petróleo ya no se sugiere debido a los peligros que pueden causar y los objetivos sobre medio ambiente, la energía y el rendimiento económico debido a estándares de Medio Ambiente, se necesita de tecnologías sostenibles limpias cuando sea posible.

Todo tipo de estabilización de suelos involucra algún tipo de acción química. Una definición amplia de la estabilización química envolvería en ella a la estabilización con cemento, asfalto, y cal que se han tratado independientemente y que presentan cierto aspecto químico. Es necesario reconocer que aunque las estabilizaciones químicas pueden ser eficientes bajo una amplia variedad de condiciones, no existe ningún producto químico mágico que pueda estabilizar todos los tipos de suelos en todas las circunstancias. De aquí que quizá sea más fácil emplear sustancias químicas que, empleándose en pequeñas cantidades, ayuden y mejoren otros sistemas de estabilización, y de ese modo, con diversos materiales estabilizantes se pueda llevar a cabo cualquier trabajo de estabilización bajo cualquier conjunto de condiciones que se encuentren en el campo.

Un estabilizador químico debe ser tal que en pequeñas cantidades del mismo produzcan los efectos deseados, que actúe rápidamente y que su función sea muy poco afectada por la composición del suelo.

Se aplican métodos químicos en la estabilización de suelos, en casos que:

- No cumpla con los requisitos mínimos de resistencia o deformación para sustentar obras de ingeniería civil.
- No pueda ser empleado en condiciones naturales.
- No pueda ser eliminado o reemplazado por otro.

Para aplicar métodos químicos, previamente se deberá sustentar, mediante un estudio técnico, que el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. Se aplicará uno de los tipos de estabilizantes químicos mostrados en el tabla 2-3.

Tabla 2-3: Tipos de Estabilizante Químico

| Tipo de Estabilizante | Causa | Efecto |
|-----------------------|---|---|
| Acido o Alcalino | Atacan químicamente los componentes del suelo | En la reacción con los minerales de arcilla, produce nuevos componentes cementantes |
| Neutro | Alteran las propiedades físicas del suelo | Cambia el peso volumétrico |

Fuente: Vías de comunicación – Carlos Crespo Villalaz

- **Aditivo estabilizador:**

El aditivo estabilizador, debe cumplir normas internacionales de certificación ISO. El aditivo debe ser capaz de mezclarse íntima y homogéneamente con el suelo y curarse de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. Los métodos, dosificaciones y

pruebas de control, deberán ser verificados por el profesional responsable junto al proveedor, antes de su empleo.

El profesional responsable emplea o recomienda el aditivo apropiado de acuerdo a las condiciones geográficas y climáticas, tales como: la temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento.

Se debe emplear aditivos que reduzcan el agua contenida entre las partículas del suelo aumentando los vacíos y facilitando su compactación.

- **Estabilización de suelos con aditivo de biopolímeros:**

Los aditivos de naturaleza polimérica tienen ya una larga tradición en los EEUU, donde fueron desarrollados en los años 70 del siglo XX. En un principio, su desarrollo estuvo ligado a la investigación militar con el fin de obtener aditivos para el diseño y ejecución de pistas de aterrizaje de aviones y helicópteros. El principal inconveniente de estos productos es que suelen ser fórmulas propietarias sobre las que existe poca documentación.

La solución de la estabilización con biopolímeros ofrece control de la erosión y estabilización de suelo que funcione con seguridad y eficacia al cambiar las propiedades físicas del suelo con un aditivo natural que es beneficioso para el medio ambiente. Los biopolímeros resultaron ser materiales idóneos para satisfacer todas estas necesidades debido a sus características particulares. Estas serían las siguientes:

- Durables y resistentes a la corrosión, por ello se aplican en elementos que están expuestos al aire libre pudiendo durar décadas.
- Aislantes tanto de frío como del calor, lo cual permite el ahorro de energía, y también aislantes acústicos.
- Muy ligeros frente a otros materiales usados en la construcción, siendo así manejables y fáciles de transportar y almacenar.
- Tienen buena relación costo / beneficio.

- La mayoría (a excepción del PVC) son respetuosos con el medio ambiente, se pueden reciclar, reutilizar o transformar en una fuente de energía.



Figura 2-4: Método de aplicación del biopolímero en campo.

Estas características son generales pero luego cada uno posee propiedades particulares que hacen que sean más adecuados para unas aplicaciones que para otras. En la figura 2-4 se muestra el método de aplicación del biopolímero.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE VÍAS EN LIMA METROPOLITANA

3.1 Introducción

El proceso de configuración de la ciudad ha ido cambiando paulatinamente en la última década, dejando de ser una provincia monocéntrica para convertirse en una ciudad policéntrica.

A causa de este crecimiento, el equipo técnico del Instituto Metropolitano de Planificación (IMP) divide la ciudad en cuatro zonas interdistritales lo podemos observar en la figura 3-1, por ejemplo los distritos del norte tienen puntos en común entre ellos, pero diferentes con respecto de las localidades del sur, este y centro; y lo mismo se cumple para los otros casos.



Total viajes diarios en el Área Metropolitana:

- Lima Centro: 6.80 millones
- Lima Norte: 3.55 millones
- Lima Este: 3.24 millones
- Lima Sur: 1.85 millones

Figura 3-1: Áreas interdistritales Lima Metropolitana.

Fuente: Elaboración Equipo Técnico – IMP

La investigación se centra en el estudio de la zona Norte, Sur y Este de Lima, las cuales presentan vías a nivel de afirmado deterioradas por el tránsito de vehículos. En la tabla 3-1 se describe una relación de distritos por área interdistritales.

Tabla 3-1: Relación de Distritos por Áreas Interdistritales

| LIMA NORTE | LIMA ESTE | LIMA CENTRO | LIMA SUR |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1. Ancón | 1. Ate | 1. Breña | 1. San Juan de Miraflores |
| 2. Carabaylo | 2. El Agustino | 2. Cercado | 2. Villa el Salvador |
| 3. Comas | 3. San Juan de Lurigancho | 3. La Victoria | 3. Villa María del Triunfo |
| 4. Independencia | 4. Santa Anita | 4. Rímac | 4. Pucusana |
| 5. Los Olivos | 5. Chaclacayo | 5. San Luis | 5. Lurín |
| 6. Puente Piedra | 6. La Molina | 6. Lince | 6. Pachacámac |
| 7. San Martín de Porres | 7. Lurigancho | 7. Magdalena | 7. Punta Hermosa |
| 8. Santa Rosa | 8. Cieneguilla | 8. Pueblo Libre | 8. Punta Negra |
| | | 9. San Miguel | 9. Santa María del Mar |
| | | 10. Barranco | 10. San Bartolo |
| | | 11. Miraflores | |
| | | 12. San Isidro | |
| | | 13. Surquillo | |
| | | 14. Jesús María | |
| | | 15. San Borja | |
| | | 16. Santiago de Surco | |
| | | 17. Chorrillos | |

Fuente: Elaboración Equipo Técnico – IMP

Distritos considerados en el estudio: Carabaylo, Huaycan-Ate, Lurín

3.2 Evolución demográfica de la Provincia de Lima

Según la definición hecha por el Banco Mundial, la tasa demográfica hace referencia al aumento de la población de un territorio y periodo determinado.

Los datos de los últimos censos muestran que el 54.6% de la población del país vive en la costa, a pesar de ser el territorio menos extenso. La sierra alberga al 32% de la población y la selva, al 13.4%. Adicionalmente, Lima Metropolitana es

la ciudad más poblada del país con cerca del 28% de la población nacional, seguida de Arequipa con el 2.7% y Trujillo con el 2.5%.

Además, en los últimos 5 años, la población ha ascendido a los 8'432,837 habitantes; es decir, un incremento del 11% con respecto al año 2007.



Figura 3-2: Vías sin afirmar en pueblos jóvenes de lima

Este crecimiento ha generado una expansión demográfica en las zonas periféricas de la ciudad de Lima, exigiendo la construcción de nuevas vías de acceso a los nuevos poblados. En la figura 3-2 se muestra las viviendas características que se encuentran en los poblados.

3.3 Descripción de las zonas elegidas para la investigación:

a. Zona Norte – Carabaylo.

El distrito peruano de Carabaylo es el más extenso de los 43 distritos de la provincia de Lima. Es también el distrito matriz de Lima Norte y uno de los ocho que lo conforman. Se localiza al norte de la ciudad, limita por el norte y noreste

con el distrito de Santa Rosa de Quives de la provincia de Canta, por el sur limita con el distrito de Comas, por el este con la provincia de Huarochirí y por el oeste con el distrito de Puente Piedra y el distrito de Ancón. Carabayllo es una zona de expansión reciente de la ciudad. Este distrito se conecta con otros distritos por vías como la avenida Túpac Amaru y la avenida Universitaria. Tiene una altitud entre 238 a 500 metros sobre el nivel del mar (chaupi yunga o costa media). Su población pertenece a los niveles socioeconómicos B, C, D y E. u centro urbano activo más antiguo es el pueblo de San Pedro de Carabayllo y es un distrito con una gran área rural (aproximadamente el 65% tierras de cultivo) teniendo haciendas de importancia como Punchauca. a zona urbana se divide en urbanizaciones como: Santa Isabel, Tungasuca, Lucyana, Villa Corpac, Apavic, Santo Domingo; pueblos jóvenes como Raúl Porras Barrenechea, La Flor, El Vallecito, Villa Esperanza, El Progreso, etc. y asentamientos humanos como Las Malvinas.

El suelo estudiado en la investigación se obtuvo de la urbanización San Pedro – Carabayllo. En la figura 3-3, mostramos una vía afirmada en la Zona de San Pedro de Carabayllo, con defectos comunes como vemos en la figura 3-4.



Figura 3-3: Vía afirmada en la zona de Carabayllo – San Pedro.



Figura 3- 4 : Vía afirmada luego de una llovizna en la zona de Carabaylo – San Pedro.

b. Zona Este – Huaycán

La Comunidad Urbana Autogestionaria de Huaycán se encuentra ubicada en el Distrito de Ate, al este de la Provincia de Lima, está ubicada a la altura del kilómetro 16,5 de la Carretera Central. Es el hogar de miles de pobladores inmigrantes de diferentes partes del Perú. Se han agrupado en 23 organizaciones que llegaron a Huaycán en busca de mejorar su nivel de vida y oportunidades de trabajo en la ciudad de Lima. El suelo estudiado en la investigación se obtuvo específicamente de la Zona R de la comunidad de Huaycán. En la figura 3-5, una fotografía de la zona donde se extrajo la muestra.



Figura 3-5: Zona R de la comunidad de Huaycán.

c. Zona Sur – Lurín

El distrito de Lurín es uno de los 43 que conforman la Provincia de Lima, ubicada en el Departamento de Lima, en el Perú. Limita al norte con los distritos de Pachacámac, Villa María del Triunfo y Villa El Salvador, al este también con el Distrito de Pachacámac, al sur con el Distrito de Punta Hermosa y al oeste con el Océano Pacífico.

El distrito de Lurín es un distrito costero que se encuentra al sur de Lima entre el km 32 y el km 42 de la carretera Panamericana Sur. Posee en sus dominios marítimos dos islotes frente a la playa San Pedro. Este distrito consta de litoral marítimo poseyendo playas muy hermosas destino turístico sobre todo en la época del verano; se encuentra situado desde los 0 msnm hasta los 380 msnm considerado el último valle verde de Lima.

El suelo estudiado en la investigación se obtuvo de los alrededores de la urbanización Las Praderas de Lurín. En la figura 3-6, una fotografía de la zona Las Praderas de Lurín, se puede observar el problema del levantamiento de polvo.



Figura 3-6: Alrededores de la urbanización las Praderas de Lurín

Cuadro 3- 1: Resumen General de Vías Pavimentadas y No Pavimentadas por Departamento

| N° | Departamento | Pavimento (Km) | No Pavimentado (Km) | Sub total Existentes (Km) | En Proyecto (Km) | Total (Km) |
|---------------|---------------|------------------|---------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| 1 | Amazonas | 311.28 | 525.79 | 837.07 | 32.53 | 869.60 |
| 2 | Ancash | 803.02 | 786.89 | 1,589.91 | 38.14 | 1,628.05 |
| 3 | Apurímac | 287.90 | 820.67 | 1,108.57 | 0.00 | 1,108.57 |
| 4 | Arequipa | 1,040.07 | 699.41 | 1,739.48 | 61.80 | 1,801.28 |
| 5 | Avacucho | 422.57 | 920.93 | 1,343.50 | 0.00 | 1,343.50 |
| 6 | Cajamarca | 577.63 | 1,010.83 | 1,588.46 | 11.72 | 1,600.18 |
| 7 | Callao | 13.10 | 0.00 | 13.10 | 0.00 | 13.10 |
| 8 | Cusco | 797.86 | 995.62 | 1,793.48 | 183.84 | 1,977.32 |
| 9 | Huancavelica | 280.26 | 947.61 | 1,227.87 | 52.58 | 1,280.45 |
| 10 | Huánuco | 401.22 | 469.63 | 870.85 | 312.80 | 1,183.65 |
| 11 | Ica | 548.47 | 77.99 | 626.46 | 0.00 | 626.46 |
| 12 | Junín | 716.18 | 427.32 | 1,143.50 | 284.91 | 1,428.41 |
| 13 | La Libertad | 486.09 | 757.87 | 1,243.96 | 100.31 | 1,344.27 |
| 14 | Lambayeque | 363.13 | 104.50 | 467.63 | 90.64 | 558.27 |
| 15 | Lima | 1,002.85 | 421.42 | 1,424.27 | 33.33 | 1,457.60 |
| 16 | Loreto | 43.09 | 44.80 | 87.89 | 43.40 | 131.29 |
| 17 | Madre de Dios | 397.85 | 1.43 | 399.28 | 625.49 | 1,024.77 |
| 18 | Moquegua | 439.69 | 202.11 | 641.80 | 0.00 | 641.80 |
| 19 | Pasco | 136.70 | 428.17 | 564.87 | 0.00 | 564.87 |
| 20 | Piura | 907.54 | 307.89 | 1,215.43 | 180.77 | 1,396.20 |
| 21 | Puno | 1,153.43 | 674.62 | 1,828.05 | 14.08 | 1,842.13 |
| 22 | San Martín | 509.80 | 338.28 | 848.08 | 126.56 | 974.64 |
| 23 | Tacna | 454.72 | 177.91 | 632.63 | 4.37 | 637.00 |
| 24 | Tumbes | 138.15 | 0.00 | 138.15 | 8.79 | 146.94 |
| 25 | Ucayali | 212.37 | 9.24 | 221.61 | 215.21 | 436.82 |
| Total: | | 12,444.97 | 11,150.93 | 23,595.90 | 2,421.27 | 26,017.17 |

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

3.4 Población Urbana y Rural

La tendencia observada en las últimas décadas es la intensificación del proceso de urbanización que se refleja en un mayor incremento de la población urbana frente a un fuerte decrecimiento de la población rural, en el cuadro 3-1 se muestra un resumen general de las vías no pavimentadas.

En la Provincia de Lima, la población rural se concentra en los distritos de Carabayllo, Lurín, Pachacámac, Pucusana, San Bartolo y Punta Hermosa, siendo Carabayllo el distrito con la mayor concentración de población rural (66%). Estos distritos se caracterizan por tener aún áreas de uso agrícolas en los valles de Chillón y Lurín, y de algunas zonas de uso pecuario como en las pampas del Sur.

3.5 Problemática de las vías en afirmado en Lima Metropolitana

El deterioro de carreteras no pavimentadas es un proceso acelerado respecto a vías pavimentadas, esto se da por que los neumáticos pulverizan los finos y así se produce el desgaste en la vía. Para este tipo de vías se ha analizado dos aditivos que puedan enfrentar este problema, esto permite mayor seguridad, en las vías para peatones y conductores, reducir la contaminación ambiental a causa de la emisión de polvo.

I. Problemática Social

- En zonas rurales se presenta como único medio de movilización para la población de zonas marginadas.
- Perdida en productos agrícolas, el transporte de ganado y víveres se hace imposible y la inaccesibilidad a los servicios de salud.
- Deterioro de las economías locales, salud y calidad de vida de los habitantes de estas zonas.

II. Problemática tecnológica

- Vías en tierra, en grava, suelo natural original.
- Se encuentran en regular estado o no existen.
- Mantenimiento nulo, o insuficiente y de mala calidad.
- Escasa o nula información, documentación técnica y normativa.
- Atención de menor prioridad.

III. Gestión

- Poca capacidad de gestión vial a nivel local (municipios).
- Restricciones municipales.
- No existen herramientas operativas para un trabajo permanente y sostenible.
- Preparación técnica insuficiente en la administración local.

CAPÍTULO IV: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO PORTLAND

4.1 Introducción:

La estabilización de suelos es una técnica cuyo fin es modificar sus características mediante la incorporación de un conglomerante (normalmente cal y/o cemento) para permitir su aprovechamiento.

Los objetivos directos que se obtienen suelen ser:

- Permitir el aprovechamiento de suelos de la vía que tienen una deficiente calidad, evitando su extracción y transporte a un vertedero así como el de tener que transportar de diferentes lugares que en ocasiones pueden hallarse a distancias importantes.
- Reducir la sensibilidad al agua de los suelos, y con ello aumentar su resistencia a la erosión, a la helada, y a otros agentes climáticos.
- Permitir la circulación por terrenos intransitables.
- Obtener una plataforma estable y resistente estructuralmente.

La estabilización de suelos con Cemento consiste en la construcción de una capa, constituida por material transportado totalmente o por material natural estabilizado con cemento, de acuerdo con las dimensiones, alineamientos y secciones indicados en los documentos del Proyecto. La adición de cemento, debe mejorar las propiedades mecánicas del suelo, sin llegar a condiciones de rigidez similares a morteros hidráulicos.

4.2 Marco Teórico

4.2.1 Materiales

4.2.1.1 Suelos

El material por estabilizar con cemento podrá provenir de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de:

- (a). Excavaciones o zonas de préstamo.
- 11. Agregados locales de baja calidad.
- 12. Mezclas de ellos.

Cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado del concreto. Deberá, además, cumplir los siguientes requisitos generales.

Las consideraciones ambientales están referidas a la protección del medio ambiente durante la construcción de una capa, constituida por material totalmente o por material natural estabilizado con cemento Portland.

(a) Granulometría (Agregados)

La granulometría del material a estabilizar puede corresponder a los siguientes

tipos de suelos A – 1, A – 2, A – 3, A – 4, A – 5, A – 6 y A – 7.

Además el tamaño máximo no podrá ser mayor de cincuenta milímetros (50 mm) o un tercio (1/3) del espesor de la capa compactada.

(b) Plasticidad

Las restricciones en Límite Líquido (LL) e Índice de Plasticidad (IP) del suelo, están indicadas en la guía referencial para la selección del tipo de aditivo estabilizado de las Especificaciones Técnicas que lo encontramos en el capítulo II. El Límite Líquido (LL) e Índice de Plasticidad (IP) serán determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111.

(c) Composición Química

La proporción de sulfatos del suelo, expresada como SO_4 no podrá exceder de 0.2%, en peso.

(d) Abrasión

Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la Abrasión (Máquina de Los Ángeles) MTC 207 no mayor a 50%.

(e) Solidez

Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de sodio superiores a doce por ciento (12%) y en materiales Finos superiores a diez por ciento (10%).

4.2.1.2 Cemento

El cemento para estabilización deberá cumplir lo especificado en la Norma Técnica Peruana NTP334.009, NTP 334.090, Norma AASHTO M85 o la Norma ASTM C150. Si los documentos del proyecto, no especifican lo contrario, se empleará el denominado Tipo I o Cemento Portland Normal.

4.2.1.3 Agua

El agua deberá ser limpia y estará libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma ASTM D-1293, deberá estar comprendido entre cinco y medio y ocho (5.5 - 8.0) y el contenido de sulfatos, expresado como SO_4^- y determinado según norma ASTM D-516, no podrá ser superior a un gramo por litro (1 g/l).

4.2.2 Equipo

El equipo será el requerido para ejecutar las siguientes actividades:

- Escarificación.
- Disgregación.
- Adición de Cemento Portland y mezclado.
- Adición del agua.
- Extendido, compactado y acabado de la superficie de la capa.
- Curado (fraguado).
- Control de calidad.

4.3 Requerimientos de Construcción

4.3.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Si se considera la posibilidad de emplear cemento Portland para estabilizar el suelo, debe estudiarse, primero, el material que se encuentra a lo largo del mismo. Como cada tipo de suelo requiere una cantidad adecuada de cemento para su estabilización, las variaciones en la naturaleza del terreno complican un poco esta operación y frecuentemente no queda de otra que mezclar entre sí las diferentes clases de suelos en ciertos lugares para reducir a un mínimo los cambios en el material antes de proceder a su estabilización.

4.3.2 Diseño de la mezcla

4.3.2.1 Consideraciones de diseño de mezcla

Cuando se propone un diseño de mezcla, se debe tener en cuenta, que esta varía en función al tipo de estabilización que se va a realizar, por ejemplo, se debe cumplir ciertos requisitos más estrictos cuando se estabiliza una base con suelo cemento, que una sub-base con suelo cemento.

Para el diseño de una mezcla de la base, en la estabilización suelo cemento, se propone como parte de la investigación, realizar el ensayo de compresión simple (ASTM D1633) en lugar de realizar el ensayo de durabilidad, ello básicamente a la experiencia que se viene adoptando en otros países, con fines de optimización de los recursos empleados, a fin de requerir por ejemplo menos material de ensayo de laboratorio, menor capacitación técnica, y el empleo de menor tiempo que tomaría realizar el ensayo de compresión simple (7 días vs 30 días). Para la estabilización suelo cemento se debe seleccionar los objetivos y definir los requisitos de cemento. Los objetivos son incrementar el esfuerzo a compresión simple y el aumento de la capacidad portante.

4.3.2.2 Contenido de Cemento Portland en mezcla estabilizada

En la tabla 4-1, el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, muestra según el tipo de suelo (AASHTO), los contenidos teóricos iniciales recomendados para la estabilización de este tipo de suelo.

Tabla 4-1: Rango de cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento

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

Fuente: Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”

En la tabla 4-2, el Department of the Army, the Navy and the Air Force. Army, muestra según el tipo de suelo (AASHTO), los contenidos teóricos iniciales recomendados para la estabilización de este tipo de suelo.

Tabla 4-2: Contenido Inicial de cemento según la clasificación de suelos

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

Fuente: Soil Stabilization for Roads and Airfields FM 5-410. Department of the Army, the Navy and the Air Force. Army.

En la tabla 4-3, el ACI, muestra según el tipo de suelo (clasificación USCS y AASHTO), los contenidos teóricos iniciales recomendados para la estabilización de este tipo de suelo.

Tabla 4-3: Rango típico cemento según clasificación de suelos

| AASHTO | 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

En la tabla 4-4, se presenta según la Asociación del Cemento Portland (PCA) y USAGE los valores iniciales del contenido de cemento en función a la clasificación SUCS.

Tabla 4-4: Contenido inicial de cemento de acuerdo a la clasificación SUCS

| Contenido de Cemento Inicial, % en peso. | Método PCA | USAGE | Perú |
|--|------------------------|--|---|
| 5 | GW, GP, GM, SW, SP, SM | GW, SW | No sugiere ningún valor inicial, deja a la aprobación del supervisor. |
| 6 | GM, GP, SM, SP | GP, SW-SM, SW-SC, GW-GM, GW-GC | |
| 7 | GM, GP, SM, SP | GM,SM, GC, SC, SP-SM, SP-SC, GP-GC, SM-SC, GM-GC | |
| 9 | SP CL, ML, MH | SP,CL,ML | |
| 10 | CH | ML, CL,CH | |
| 11 | -- | MH-OH | |
| 12 | CL, CH | -- | |
| 13 | MH, CH | -- | |

Fuente: Asociación del Cemento Portland (PCA) y USAGE

4.4 Procedimiento constructivo

4.4.1 Limitación de la Zona de Trabajo:

La zona de trabajo deberá limitarse de acuerdo con la disponibilidad de equipos de compactación, debido a que cada tramo deberá terminarse antes de que la mezcla comience a ganar resistencia.

Se despeja la zona del camino de piedras grandes, plantas y materia orgánica, se excava hasta encontrar terreno firme que servirá de apoyo a la base.

4.4.2 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de préstamo, antes de proceder con la estabilización, se comprobará que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad de 95% del ensayo de laboratorio según MTC E 115, así como las cotas indicadas en los planos.

En caso que la estabilización se vaya a realizar únicamente con el suelo existente, éste se deberá escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar, hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa estabilizada alcance el espesor señalado en los planos.

Si se contempla la adición de un suelo de préstamo para mejorar el existente, ambos se deberán mezclar uniformemente antes de iniciar la distribución del estabilizante. En todos los casos en que el proceso involucre el suelo del lugar, parcial o totalmente, deberá comprobarse que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente las condiciones de resistencia indicadas.

4.4.3 Pulverización del Suelo

Antes de aplicar el cemento, el suelo por tratar, sea que haya sido escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen aprobados, se pulverizará, utilizando métodos mecánicos como los arados de rastras o de discos, en el ancho

y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los planos.

El proceso de pulverización continuará hasta que desmenuzar el suelo y se logren los requerimientos granulométricos. Una vez pulverizado el suelo, éste deberá conformarse a la sección transversal aproximada de la calzada, con el empleo de motoniveladora. Lo explicado anteriormente se muestra en la figura 4-1.



Figura 4-1: Escarificación o pulverización del camino.

4.4.4 Reacción del cemento y el agua.

El cemento necesita humedad para hidratar y curar (endurecer) y convertirse en un unificador de otros materiales apropiados como agregados, arena, etc. Cuando el unificador (Cemento) se seca, deja de volverse más fuerte.

El cemento Portland consiste en cinco componentes mayores y unos cuantos componentes menores. La composición de un cemento Portland típico está listado por porcentaje de peso en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5: Composición del cemento Portland con composición química y porcentaje de peso.

| Componentes del Cemento | Porcentaje de peso | Formula química |
|-------------------------------|--------------------|---|
| Silicato de tricalcio | 50% | Ca ₃ SiO ₅ ó 3CaO.SiO ₂ |
| Silicato de dicalcio | 25% | Ca ₂ SiO ₄ ó 2CaO.SiO ₂ |
| Aluminato de tricalcio | 10% | Ca ₃ Al ₂ O ₆ ó 3CaO .Al ₂ O ₃ |
| Aluminoferrito de tetracalcio | 10% | Ca ₄ Al ₂ Fe ₂ O ₁₀ |
| | | 4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ |
| Sulfato de calcio | 5% | CaSO ₄ .2H ₂ O |

Fuente: Manual Trabajando con RoadCem – P. Marjanovic. 2008

Cuando se le agrega agua al cemento, cada uno de los componentes sufre una hidratación y contribuye al producto final. El silicato de tricalcio es responsable de la mayoría del endurecimiento temprano (primeros 7 días). El silicato de dicalcio, el cual reacciona más lento, contribuye únicamente al fortalecimiento los últimos días.

La ecuación para la hidratación del silicato de tricalcio es dado por:

Silicato de tricalcio + Agua ---> Silicato de calcio hidratado+Hidróxido de calcio + calor

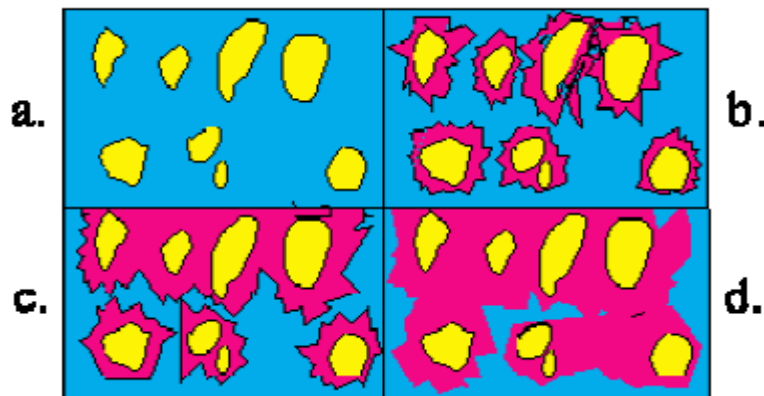


Figura 4-2: Esquema de los poros en el silicato de calcio.

En la figura 4-2 representa la formación de poros como hidrato de silicato de calcio. Note que en el diagrama (a) aún no ha ocurrido y los poros (espacios vacíos entre granos) son llenados con agua. El diagrama (b) representa el inicio de hidratación. En el diagrama (c), la hidratación continúa. A pesar de que aún existen espacios vacíos, éstos son llenados con agua e hidróxido de calcio. El diagrama (d) muestra la pasta de cemento casi endurecida. La hidratación continuará en tanto haya presencia de agua y aun haya componentes anhidros en la pasta de cemento.

Los otros componentes principales del cemento Portland, aluminato de tricalcio y aluminoferrito tetracalcio también reaccionan con agua. En general, los grados de hidratación durante los primeros pocos días clasificados del más rápido al más lento son:

Aluminato de tricalcio > silicato de tricalcio > aluminoferrita de tetracalcio > silicato de dicalcio.

El calor se desarrolla con la hidratación del cemento. Esto es debido al rompimiento y al hacer enlaces químicos durante la hidratación. El calor generado se muestra en la figura 4-3 como una función de tiempo.

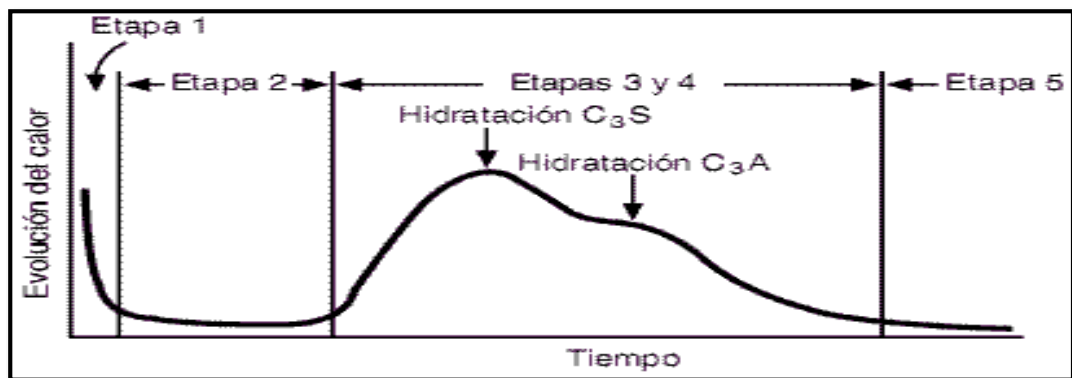


Figura 4-3: Grado de la evolución de calor.

En la etapa I la hidrólisis de los compuestos de cemento ocurre rápidamente con un aumento de varios grados en la temperatura.

La etapa II se conoce como el período latente. La evolución de calor disminuye dramáticamente en esta etapa. Este período de latencia puede durar de una a tres horas. Durante este período, el concreto se encuentra en un estado plástico que permite al concreto ser transportado y colocado sin ninguna dificultad importante. Esto es particularmente importante para la industria de la construcción ya que el concreto se tiene que transportar hasta el lugar de trabajo. Es al final de esta etapa que la configuración inicial comienza.

En las etapas III y IV, el concreto comienza a endurecerse y la evolución calor se incrementa debido principalmente a la hidratación del Silicato Tricálcico.

La etapa V se alcanza después de 36 horas. Se produce la lenta formación de productos hidratados y esta continúa en tanto agua y silicatos anhidros estén presentes.

En la figura 4-4 se muestra el proceso de composición de la pasta de cemento fresca y endurecida.

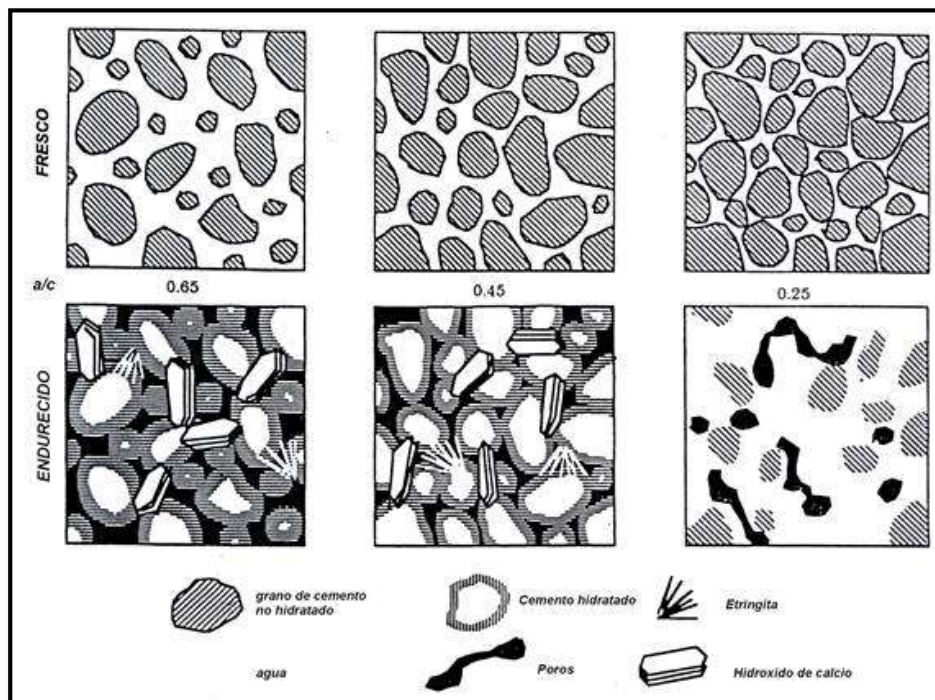


Figura 4-4: Composición de la pasta de cemento fresca y endurecida.

Nota: en la máxima hidratación para varias relaciones a/c.

Una baja relación agua/cemento conduce a una alta resistencia, pero baja trabajabilidad. Una relación alta de agua/cemento conduce a una baja resistencia, pero a una buena manejabilidad.

Las reacciones de hidratación disminuyen cada vez más conforme se forma el hidrato de Silicato Tricálcico. Se necesita una gran cantidad de tiempo, incluso años para que todos los enlaces se formen, lo cual determina la resistencia del producto.

4.4.5 Aplicación del Cemento en campo.

Durante la aplicación del cemento, la humedad del suelo no podrá ser superior a la definida durante el proceso de diseño como la adecuada para lograr una mezcla íntima y uniforme del suelo con el cemento.

Luego se esparce el cemento de forma uniforme y se procede a mezclar, como se puede observar en la figura 4-5.



Figura 4-5: Distribución de las bolsas de cemento.

4.4.6 Mezclado Uniforme:

La mezcla deberá ser homogénea. En la figura 4-6, se observa a una maquina escarificadora haciendo el mezclado de suelo – cemento.



Figura 4-6: Mezcla del suelo cemento en campo.

4.4.7 Adición del Agua:

El agua es un elemento esencial para hidratar el cemento y para facilitar la compactación.

4.4.8 Compactación:

Inmediatamente se comienza la consolidación de la capa formada hasta lograr una densidad igual cuando menos a la del ensayo Proctor. La compactación se realiza partiendo de los bordes hacia el centro excepto en las curvas con peralte.

4.4.9 Terminación:

Una vez completada la compactación se procede a perfilar la superficie dejando la pendiente transversal o bombeo deseada, luego se da un par de pasadas de un rodillo liso de 3 a 12 toneladas, dependiendo del tipo de suelo.

4.4.10 Curado:

El agua es muy importante en el proceso de endurecimiento del cemento; por lo tanto, debemos preservarla evitando su evaporación, para ello, se debe hacer un riego asfáltico en proporción de 0.15 a 0.30gls/m², el cual se puede hacer con RC-2 o emulsión de rompimiento rápido.

4.5 Dosificación para Ensayos de Laboratorio

La determinación del óptimo contenido de cemento para los suelos en estudio, se determinó en base a su clasificación AASHTO por medio de un análisis granulométrico descrito en el Capítulo VII,

Para el análisis de ensayos en laboratorio se consideró los siguientes porcentajes de cemento descritos en el cuadro 4-1.

Cuadro 4- 1: Dosificación óptima de cemento según la tabla 4-1

| Distrito | AASHTO | % |
|-----------|----------|--------|
| Carabaylo | A-4 IP | 7 |
| Huaycan | A-1-b IP | 5 |
| Lurín | A-3 IP | 8 & 10 |

Los porcentajes de cemento fueron mezclados con cada tipo de suelo en relación a su peso.

CAPÍTULO V: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ZEOLITAS

5.1 Introducción:

Por años, se han buscado nuevos métodos y soluciones a los principales problemas de degradación ambiental, contaminación y cambio climático, con el reclamo de éxito en su contribución a un futuro sostenible de las sociedades humanas.

En esta búsqueda, a menudo se encuentran nuevos métodos, nuevos materiales y nuevas tecnologías que, la mayoría de las veces, no soportan el rigor de una prueba científica. Estos productos tienen características básicas para convertir materiales secundarios, altamente contaminados y subproductos de la sociedad, en un material-producto-servicio útil y lo hacen, tanto con ganancias ecológicas como financieras.

El transporte, medio ambiente y otros costos continúan en incremento debido a las distancias cada vez más largas de donde tienen que importarse los materiales. La carencia de materiales importados en muchas situaciones y países también señala un incremento de costos. Así mismo al incrementarse los costos de energía por excavación, se incrementarán los costos para el usuario final.

Este producto que hace posible tener una respuesta apropiada a los problemas identificados con anterioridad permite:

- El uso de materiales de desecho en la construcción de carreteras.
- El uso de materiales in situ para la construcción de carreteras independientemente de su calidad.
- Reducción en el grosor de la estructura del camino por el equivalente desempeño del mismo.
- Evitar el importe de material para la construcción.
- Inmovilización de materiales contaminantes.
- Reducción en costos por el manejo de captación de desechos.

- Reducción en el consumo de energía necesaria para la construcción de carreteras y la reducción asociada a la huella ambiental y ecológica de construcción.

Para maximizar los beneficios del uso del aditivo Zeolítico en construcción de carreteras es necesario que sea utilizado un procedimiento en diseño, estructurado, detallado y eficiente.

El aditivo Zeolítico es un material que se utiliza en conjunto con cemento y/o ceniza volcánica como un aglutinante modificador y mejorador permitiendo el uso de un completo rango de concreto, materiales vírgenes y secundarios en la construcción de carreteras. Esto hace posible tener una mejor solución general para la construcción de carreteras, que reúna todos los requerimientos y en particular una reducción de costos.

5.2 Marco teórico:

En descubrimiento de la zeolita se realizó en el año 1,756 por el geólogo sueco

Barón Axel Cronstedt, el cual observando una roca silícea, se percató que en el interior de las vesículas existían unos pequeños cristales bien definidos, los que, sometidos al calor, para su sorpresa, observó que desprendían el agua de hidratación o combinación en forma de vapor, de aquí que su nombre de piedra hirviente provenga de dos palabras griegas Zein (hervir) y Lithos (piedra).

Esta simple observación también trascendió en el campo de la química y la mineralogía, ya que dio lugar a que se determinara que las zeolitas constituyen los únicos silicatos naturales que hierven, al ser calentados a la llama con bórax en un tubo de ensayo abierto.

Las zeolitas por definición, son aluminio-silicatos de cationes alcalinos y alcalinos térreos (potásicos, cálcicos y sódicos). Tanto el aluminio como el silicio se presentan, entre otras formas, en tetraedros de AlO_4 y Si_4 unidos, que pueden ser representados por la fórmula: $R_n + 2/NO. Al_2O_3. XSiO_2. YH_2O$.

La X en esta fórmula es generalmente mayor o igual que 2, debido a que el AlO_4 tetraédrico es unido solamente al SiO_4 tetraédrico; n es el catión de valencia.

5.3 Zeolitas Sintéticas:

En el mundo existen más de un centenar de zeolitas sintéticas y por lo menos diez de ellas son catalizadores útiles, siendo el más versátil el llamado ZSM-5 que se utiliza en diez procesos diferentes en las ramas de la industria del petróleo, química y producción de combustibles sintéticos.

En 1962 aparecieron los primeros craqueadores catalíticos para las refinerías de petróleo (zeolitas sintéticas) que aumentaron hasta en un 40% la producción de gasolina. Actualmente, en países industrializados, la producción de zeolita sintética para la refinación del petróleo se ha convertido en un negocio que moviliza millones de dólares anualmente.

El aditivo a base de zeolitas sintéticas y compuestos inorgánicos de carácter alcalino, actúan en el proceso de hidratación del cemento, modificando la dinámica química extendiendo el crecimiento de los cristales cálcicos hexagonales en forma de agujas largas, formando un entramado cristalino que hace posible, para fines de estabilización, el uso de todo tipo de suelos (inclusive arcillas plásticas) incrementando la resistencia a la compresión y a la flexión, el módulo elástico, mejorando la impermeabilidad al agua y su resistencia a los agentes atmosféricos sin presentar agrietamientos ni deformaciones. En la figura 5-1, se muestra la presentación del producto.



Figura 5-1. Presentación del aditivo en bolsas de 25 kg.

5.3.1 Propiedades Físicas y Químicas:

- Densidad en masa: Aprox. 1,100kg/m³ neto.
- Forma: Sólido, polvo
- Color: Gris
- Olor: Inodoro

En la figura 5-2, se muestra la forma sólida de la zeolitas sintéticas.



Figura 5-2. Aditivo: Zeolita Sintética

La tabla 5-1 indica la composición del producto.

Tabla 5-1: Composición e información de ingredientes del producto

| Nombre | Contenido % (en peso) |
|--------------------------------|-----------------------|
| Metales alcalinos | 60-80 |
| Zeolitas | 5-10 |
| Silicatos de metales alcalinos | 5-10 |
| Carbonato de calcio | 10-20 |

Fuente: Ficha Técnica PowerCem México

5.4 Cemento Portland con Zeolitas Sintéticas.

Cuando se utiliza cemento con zeolitas sintéticas, la humedad sigue siendo necesaria para la hidratación y endurecimiento. La cristalización del Hidróxido de Calcio, en consecuencia, sucede a ritmos diferentes y se produce una reducción de la generación de calor a partir de las reacciones de hidratación. Cuando se añade zeolitas, hay más formación de cristales durante las reacciones y la matriz cristalina es mucho más extensa.

Al agregar las zeolitas, la cantidad de agua atrapada, como agua libre, se reduce y los cristales crecen en los espacios vacíos. Esto hace que el producto sea menos permeable al agua y por tanto más resistente a todo tipo de ataques, ya sea que dependan del agua o estén influenciados por ella.

El espacio vacío (porosidad) está todavía determinado por la relación agua/cemento pero se ve afectado en menor medida como resultado del incremento de la relación y la magnitud del proceso de cristalización.

El proceso de cristalización cambia significativamente cuando se usa zeolitas. El mecanismo de unión cambia de "pegar" a "envolver" como se muestra en la figura 5-3.

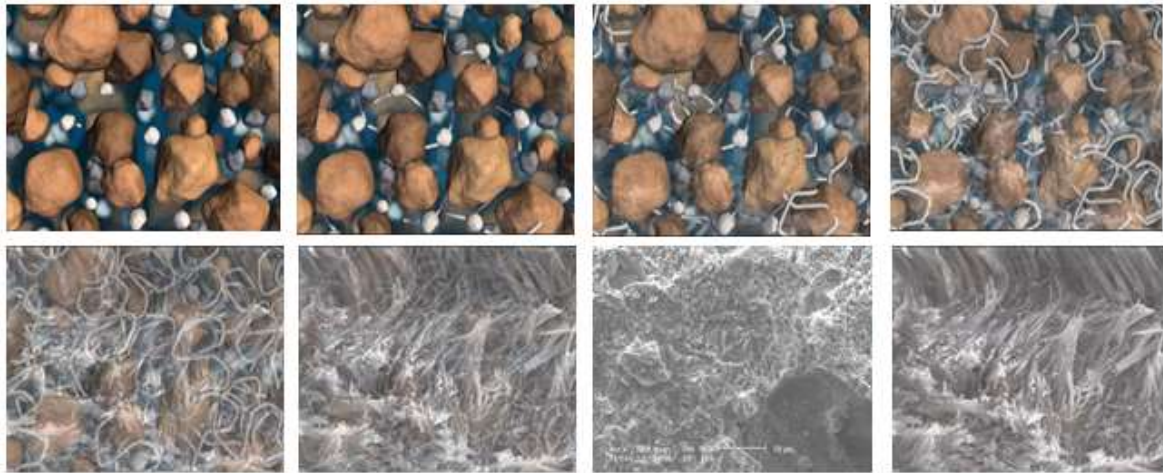
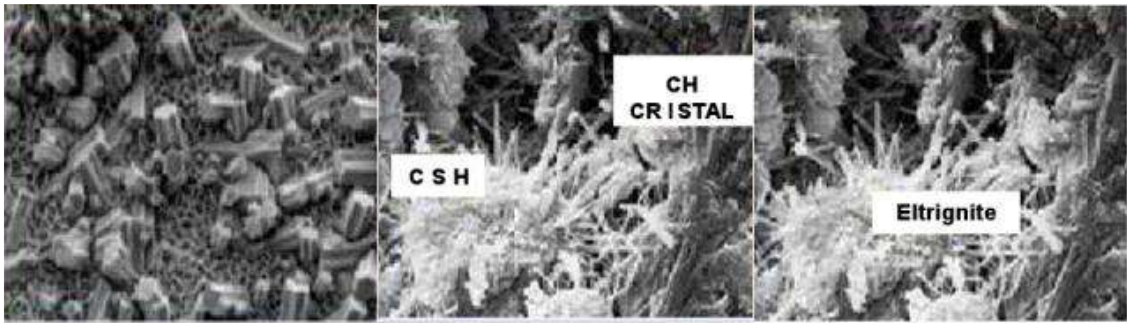
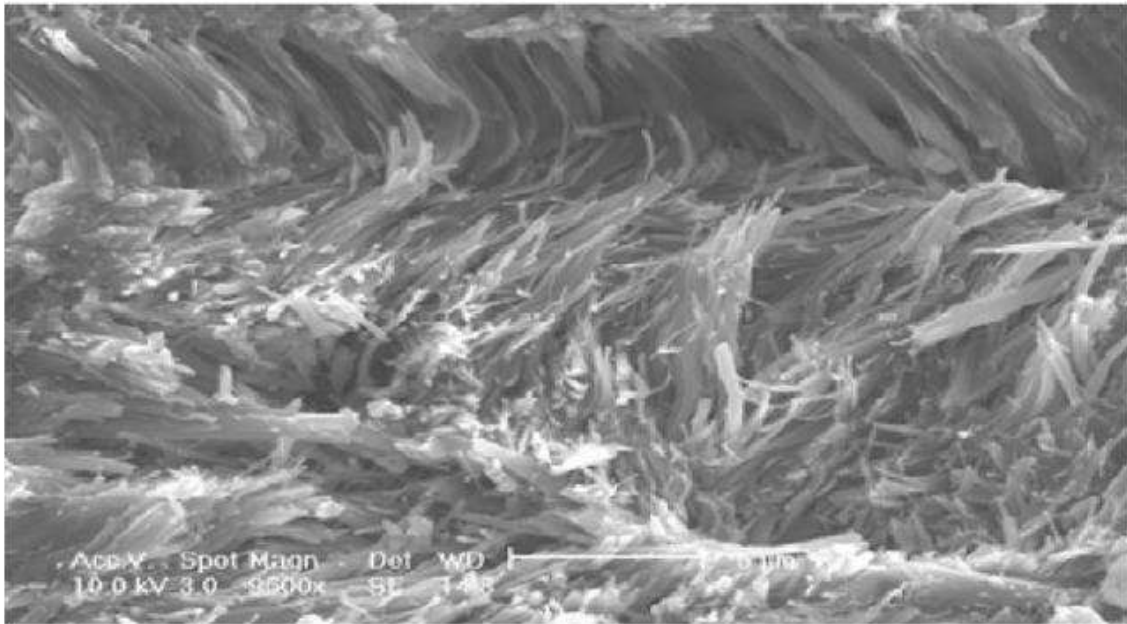


Figura 5-3: Expresiones simuladas de las reacciones de hidratación y el efecto de cristalización “envolvente”

El efecto de "envoltura" está asociado a los productos cristalinos de las reacciones de hidratación, las cuales continúan con el tiempo y son, en efecto, también responsables de la habilidad del cemento modificado con zeolitas sintéticas para unir incluso arcillas.



A. Producto Final de la Hidratación del Cemento Mostrando Elementos Formados de la Estructura Cristalina



B. Producto Final de la Hidratación del Cemento + RoadCem Mostrando una Extendida y Más Pronunciada Formación de la Estructura Cristalina y el "Efecto Envoltente"

Figura 5-4: Producto Final de la Reacción cemento – zeolita.

Las zeolitas sintéticas son capaces de encapsular sustancias peligrosas y tóxicas y mantener esas sustancias contaminadas fuera del medio ambiente, así como prevenir su liberación.

La "envoltura" y encapsulamiento de sustancias contaminantes dentro de una estructura cristalina, que es producto de las reacciones de hidratación del cemento mejorado con zeolitas sintéticas, crea un material fuerte y estable, el cual tiene cualidades estructurales que son deseables en la construcción de la vía; por ejemplo una gran resistencia a la compresión, gran resistencia de flexión y gran resistencia a la fractura. Ver figura 5-4.

5.5 El método del aditivo zeolítico:

El Método del aditivo zeolítico se basa realmente en la capacidad de zeolita en sinergia con el Cemento para modificar las características de los materiales del pavimento y de esta manera realzar esas características deseables y reducir aquellas que podrían ser las responsables de una falla en la estructura de pavimento.

Los materiales modificados con Aditivo Zeolítico/Cemento eliminan efectivamente el término negativo para la fuerza cortante, haciéndola significativamente más alta bajo condiciones ambientales críticas. El Método del Aditivo zeolítico se vuelve especialmente benéfico cuando un problema de suelos y materiales están en cuestión.

Los suelos y materiales problemáticos, son aquellos que, en virtud de sus propiedades desfavorables, normalmente pudieran requerir tratamiento especial antes de ser aceptados en la estructura de pavimento o de la sub base. Esta categoría de suelos y materiales incluyen:

- Suelos de poca resistencia.
- Arcillas expansivas (suelos de "algodón negro").
- Arenas colapsables.
- Suelos dispersivos.
- Suelos orgánicos.
- Suelos salinos o con presencia de agua salina.

Al tratar con estos materiales, se tiene que hacer un balance cuidadoso entre el costo de un tratamiento con aditivo Zeolítico y cemento. Los beneficios que se derivan por evitar la importación de otro material adecuado y los costos del daño ambiental deben ser tomados en cuenta.

5.5.1 Suelos Expansivos (Los encontramos en la Zona Norte de Lima)

Estos suelos arcillosos, particularmente muestran grandes cambios volumétricos (dilatación y contracción) siguiendo variaciones en los contenidos de humedad. Estos se encojen y agrietan cuando están secos. Estas grietas permiten la penetración profunda del agua en el suelo, por lo tanto, provocan una expansión considerable la cual da como resultado una deformación y falla en el pavimento si se usan estos materiales.

a) Método tradicional:

Métodos de tratamiento tradicional para estos suelos incluyen:

- Realineamiento donde sea posible evitar las arcillas.
- Excavación y reemplazo.
- Tratamiento químico.
- Control de cambios de humedad.

b) Método con aditivo Zeolítico:

El tratamiento de la zeolita/Cemento hace el uso de estos materiales para una estructura de pavimento viable y justificado. El mecanismo de la acción es el control del comportamiento de dilatación y contracción de dichos suelos.

5.5.2 Suelos de arenas colapsables: (Zona sur de Lima)

Estos suelos muestran una construcción de suelo débilmente cementada y bajo ciertas circunstancias, se puede inducir a un rápido asentamiento. A un contenido de humedad in situ se pueden soportar cargas impuestas relativamente grandes con poco o nada de asentamientos. Sin embargo, sin ningún cambio en la carga pero con un incremento del contenido de humedad puede ocurrir un asentamiento significativo.

a) Método tradicional:

Los métodos tradicionales para tratar con suelos colapsables incluyen lo siguiente:

- Excavación de material a una profundidad especificada por debajo del nivel del suelo y la sustitución de capas finas (por lo general de 200 mm).
- Escarificación del lecho de la carretera, inundación con agua y compactación con rodillos vibratorios pesados.
- Uso de alta compactación de impacto en el contenido de humedad in situ.

b) Método con aditivo Zeolítico:

El tratamiento de la zeolita/Cemento hace el uso de estos materiales para estructura de pavimentos viables y justificados. El mecanismo de la reducción de la acción global de la carga efectiva evita el asentamiento.

Todas las medidas anteriores son relativamente caras para llevarlas a cabo y debe hacerse un balance cuidadoso entre los costos y los beneficios de su aplicación.

5.5.3 Suelos Dispersivos

Estos suelos, algunos de los cuales son gravas arcillosas, son fácilmente erosionables en presencia de agua, una característica que los convierte en problemáticos cuando se les encuentra en los taludes de corte y en canales de drenaje. Casi no tienen resistencia a la erosión, son susceptibles a los asentamientos en terremotos, se fracturan fácilmente y tienen baja resistencia al corte.

a) Método Tradicional:

Las siguientes medidas son comúnmente empleadas donde se encuentran suelos dispersos:

- Protección contra la erosión en taludes cortados y canales de drenaje.

- Modificación con de 2% a 3% de cal o un tratamiento químico alternativo.

b) Método con aditivo Zeolítico:

El tratamiento Zeolita/Cemento cae en la segunda categoría y hace el uso de estos materiales para estructura de pavimento, viable y justificado. El mecanismo de acción es a través de la estabilización y el control de erosión.

5.6 Estabilización con Zeolita. Especificación de Mezcla

El uso de Zeolita/Cemento como agente estabilizante en estructuras de pavimento basadas en material de sitio, es una función de muchos diferentes parámetros que son específicos en la locación. Estos parámetros son:

- Características del material in situ.
- Condiciones geotécnicas a lo largo de la carretera a construir.
- Tipo de cemento.
- Carga de tráfico, intensidad y crecimiento.
- Durabilidad requerida de la carretera.

Esto requiere que cada caso específico tenga que ser considerado por separado a fin de preparar un diseño óptimo y una solución a la medida más económica. Para hacer esto se requiere que las muestras para pruebas de laboratorio estén preparadas y probadas antes de que se especifique el diseño final.

Sin embargo, en la práctica a menudo uno requiere considerar una situación donde sólo hay disponibles datos e información limitados y sin embargo se espera llegar a un diseño lo suficientemente resistente que represente las bases para la comparación técnico-económica de diferentes alternativas y esto a veces sin la asignación de los recursos adecuados para las pruebas de campo o laboratorio.

El punto de inicio es el Sistema de Clasificación Unificado de Suelos discutido y presentado en el Capítulo 4. Para cada uno de los grupos de suelo dentro de la USCS la dosis de Zeolita y Cemento (basado en el CEM I 42.5N) está definida y este es el punto inicial para un análisis más detallado en las etapas posteriores del proceso de diseño. En la tabla 5-2 indica la dosificación que se utiliza actualmente por tipo de suelo según sistema SUCS.

Tabla 5-2: Guía general de dosificación de zeolitas sintéticas

| Clase de Suelo | Tráfico Pesado Carga de Eje 120 KN-Tándem | | | | Tráfico Medio Carga de Eje 100 KN-Tándem | | | | Tráfico Ligero Carga de Eje 80 KN-Tándem | | | |
|----------------|--|--|---------------------|--|---|---|---------------------|--|---|---|---------------------|--|
| | Dosis Cemento Kg/m ³ | Dosis RoadCem [®] Kg/m ³ | Espesor de Suelo mm | Espesor Capa de Rodamiento Asfalto, mm | Dosis Cemento Kg/m ³ | Dosis Road Cem [®] Kg/m ³ | Espesor de Suelo mm | Espesor Capa de Rodamiento Asfalto, mm | Dosis Cemento Kg/m ³ | Dosis Road Cem [®] Kg/m ³ | Espesor de Suelo mm | Espesor Capa de Rodamiento Asfalto, mm |
| GW | 150 | 1.50 | 250 | 70 | 150 | 1.50 | 200 | 50 | 140 | 1.50 | 150 | 50 |
| GP | 150 | 1.50 | 250 | 70 | 150 | 1.50 | 200 | 50 | 140 | 1.50 | 150 | 50 |
| GM | 150 | 1.50 | 250 | 70 | 150 | 1.50 | 200 | 50 | 140 | 1.60 | 150 | 50 |
| GC | 150 | 1.50 | 250 | 70 | 150 | 1.50 | 200 | 50 | 150 | 1.60 | 150 | 50 |
| SW | 160 | 1.60 | 250 | 70 | 160 | 1.60 | 200 | 50 | 150 | 1.60 | 150 | 50 |
| SP | 160 | 1.60 | 250 | 70 | 160 | 1.60 | 200 | 50 | 160 | 1.60 | 150 | 50 |
| SM | 160 | 1.60 | 250 | 70 | 160 | 1.60 | 200 | 50 | 160 | 1.70 | 150 | 50 |
| SC | 165 | 1.65 | 250 | 70 | 165 | 1.65 | 200 | 50 | 160 | 1.70 | 150 | 50 |
| ML | 165 | 1.65 | 250 | 70 | 165 | 1.65 | 200 | 50 | 165 | 1.70 | 150 | 50 |
| CL | 165 | 1.65 | 250 | 70 | 165 | 1.65 | 200 | 50 | 165 | 1.70 | 150 | 50 |
| OL | 170 | 1.70 | 250 | 70 | 170 | 1.70 | 200 | 50 | 170 | 1.70 | 150 | 50 |
| MH | 170 | 1.70 | 250 | 70 | 170 | 1.70 | 200 | 50 | 170 | 1.70 | 150 | 50 |
| CH | 170 | 1.70 | 250 | 70 | 170 | 1.70 | 200 | 50 | 170 | 1.80 | 150 | 50 |
| OH | 180 | 1.80 | 250 | 70 | 180 | 1.80 | 200 | 50 | 180 | 1.80 | 150 | 50 |
| PT | 200 | 2.00 | 300 | 70 | 200 | 2.00 | 250 | 70 | 200 | 2.00 | 200 | 70 |

Fuente: Manual Trabajando con RoadCem. Holanda 2008.

Nota: Para diferentes tipos de suelos con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y para diferentes cargas por Eje y categorías de volumen de tráfico. Vida útil estimado 20 años.

5.7 Procedimiento Constructivo para realizar un tramo de prueba:

- 1) Establecer niveles de referencia corroborando el nivel de rasante del proyecto, verificar el nivel para el desplante de la base de la estructura. Verificar y revisar las instalaciones existentes (hidráulicas, eléctricas, fibra óptica, etc.).
- 2) Determinar el área del tramo que se va a trabajar. Esto depende del volumen y espesor que se determine con anticipación.

- 3) Excavar con medios mecánicos a la profundidad requerida (a nivel Sub- Rasante) y colocar el material fuera del área de vía, para poder trabajarlo.
- 4) Se extiende, disgrega, tritura y orea el material producto de la excavación, para secarlo fuera del área de vía.
- 5) Afinar y compactar la subrasante (desplante de la base) al 100% AASHTO Modificada. De ser necesario, este paso se puede realizar con el compactador “Pata de cabra”. Para suelos arcillosos.
- 6) Se dará un riego ligero de agua a la subrasante compactada, para evitar la pérdida de humedad de la mezcla (sólo si se requiere).
- 7) Se verifica el volumen de material que se va a trabajar, considerando el porcentaje de esponjamiento que corresponda.
- 8) Se aplica uniforme y al ras del piso evitando la volatilización, el 100% de Zeolita Sintética de acuerdo a las dosificaciones consideradas para este proyecto en el material previamente extraído en el paso 3 y se mezclará con el equipo necesario hasta que quede en forma correcta la homogenización de la mezcla Suelo – Zeolita Sintética, dejándola reposar según tipo de suelo.
- 9) Se coloca el 100% del cemento gris tipo Portland, distribuido en todo el material previamente mezclado con Zeolita. Se mezclan todos los materiales con el equipo necesario hasta que quede en forma correcta la homogenización de la mezcla Suelo – Zeolita Sintética – Cemento.
- 10) Se inicia la incorporación del agua y se mezcla con el equipo necesario, hasta lograr la humedad óptima de compactación (± 3 a 4 %) del Suelo – Zeolitas Sintéticas – Cemento. A partir de este momento, se cuenta con un máximo de 3 horas para llegar al siguiente punto, debido a que se inicia el desarrollo de los cristales del cemento Portland.
- 11) Ya lograda la humedad óptima de compactación de la mezcla (prueba de la “muñeca”), se procederá a meter el material encima de la subrasante con el equipo necesario.
- 12) Se verifican los niveles forzosamente con el apoyo de la cuadrilla Topográfica, de acuerdo a las especificaciones del proyecto y se vuelve a verificar la humedad de la mezcla, ya que si el clima está muy seco o hay mucho viento, puede requerir de un poco más de agua.
- 13) Compactar tanto con vibro como estáticamente toda la sección al 100% AASHTO Modificada.
- 14) Se dará un riego abundante de agua después de la compactación, para el curado y se continuará con riegos suficientes para mantener húmeda la sección al menos durante 72 horas (3 días). Dependiendo del clima y sequedad del aire, se puede extender el curado con riegos de agua por otros cinco días más. Debe mantenerse húmeda la superficie de la base de Concreto Zeolítico en todo momento con suficiente agua, NO usar ningún tipo de membrana de curado ni plástico.



Figura 5-5: Camino de acceso a una sub-estación eléctrica.

En la figura 5-5, muestra los trabajos de escarificado y riego después de la compactación para una obra en la Ciudad de Monterrey, Nuevo León en México. Debido a la importancia de la sub-estación eléctrica, se requería que esta vialidad se encontrara en buenas condiciones durante todo el año, aún y en los climas más extremos y con fuertes lluvias, por lo que su construcción con una mezcla de Zeolita Sintética resultó ser el método idóneo para ello.

5.8 Trascendencia del producto.

La experiencia de la utilización del producto se da en varios países, en la siguiente información se muestra un extracto de las obras que se han realizado utilizando el producto.


| San Luis Potosí, Ciudad Valles Libramiento carretero "Tamulín" | |
|---|---|
| País | México |
| Localización | Ciudad Valles - Tamuín, San Luis Potosí |
| Año | 2012 |
| Producto | RoadCem [®] |
| Proyecto | Construcción de Carretera |

Descripción:

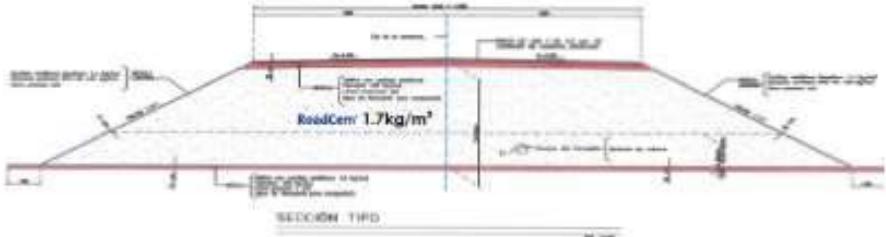
Esta obra consiste en la construcción de carretera que une Ciudad Valles con San Luis Potosí a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), en donde están como contratistas GAMI, COMISA, MG y Coconal.

PowerCem México colaboró en el cambio de proyecto y hace la asesoría de la colocación de RoadCem para la construcción de la obra que consta de 2 carriles de circulación, los entronques San Vicente y San Juan de los 6 que forman parte del proyecto total, así como pasos vehiculares y estructuras mayores.

Tipo de suelo : Arena Limosa



Solución Técnica



Fuente: Revista PowerCem

Otra experiencia con el producto:

Oaxaca, Oaxaca
Construcción de bases para talleres, patio de maniobras y escuela de conducción

| | |
|--------------|---|
| País | México |
| Localización | Oaxaca, Oaxaca |
| Año | 2008 |
| Producto | RoadCem[®] y ConcreCem[®] |
| Proyecto | Construcción de bases para talleres, patio de maniobras y escuela de conducción |

Descripción:

Esta obra cuyo cliente fue Grupo ADO (Autobuses de Oriente) consistió en la construcción de bases en más de 9,000 m² para el acceso a los talleres de mantenimiento de autobuses, patios de maniobras y escuela de conducción en la base ADO de Oaxaca, Oaxaca. El uso de los productos PowerCem (RoadCem y ConcreCem) permitió brindar al cliente una solución innovadora con las siguientes características: Aumento de la resistencia, incremento de la vida útil y económicamente competitiva frente a métodos tradicionales.

Propuesta técnica:

Tipo de suelo: Tepetate (arena arcillosa).

Dosificación RoadCem[®]

RoadCem 1.6kg/ m²
Cemento 160kg/ m²

Dosificación ConcreCem[®]

ConcreCem 2 kg/ m²



Veracruz, Nanchital
Vialidades Internas en Complejo Petroquímico Etileno XXI.

País
Localización
Año
Producto
Proyecto

México
Nanchital
2012 y en proceso
RoadCem
Construcción de vialidades y plataformas



Descripción:

La presente obra se encuentra ubicada en el Estado de Veracruz y consiste en la construcción de un complejo petroquímico, denominado "Etileno XXI".

El diseño y construcción de este complejo esta a cargo del grupo Odebrecht, Technip, Grupo Idesa, Braskem e ICA Fluor, el cual sub-contrato a PowerCem México para la estabilización y construcción de 79,815 m2 de vialidades internas.

Dentro de este complejo, Odebrecht tiene contrato con PowerCem México para la construcción de 121,000 m2 de plataformas provisionales. Dentro de este proyecto se contempla una reducción en costo del 21.7% y una reducción en tiempo del 48.4% .

El aditivo se puede utilizar en cualquier tipo de suelo, teniendo las precauciones diferentes para cada uno y así lograr los objetivos que deseamos para nuestra carpeta de rodadura, utilizando un suelo encontrado de manera insitu, no haciendo consumo de materiales de préstamo que son el mayor gasto en una obra, es por esto que muchas empresas importantes a nivel mundial están optando por este aditivo que ofrece un buen rendimiento.

5.9 Dosificación para Ensayos de Laboratorio

La determinación del óptimo contenido de cemento para los suelos en estudio, se determinó en base a su clasificación AASHTO por medio de un análisis granulométrico descrito en el Capítulo VII,

Mediante el cuadro 5-1 se determinó el porcentaje óptimo de cemento para cada tipo de suelo:

Cuadro 5- 1: Dosificación de la Mezcla Cemento – Zeolita

| Zona | Tipo Estabilización | Dosificación de aditivo | | | | |
|--|--------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Norte</i> (<i>Carabayllo</i>) | <i>Suelo Cemento - Zeolita</i> | <i>C=6%</i> | <i>C=5%</i> | <i>C=4%</i> | <i>C=5%</i> | <i>C=4%</i> |
| | | <i>Z=1%</i> | <i>Z=1%</i> | <i>Z=1%</i> | <i>Z=2%</i> | <i>Z=2%</i> |
| <i>Este</i> (<i>Huaycán</i>) | <i>Suelo Cemento - Zeolita</i> | <i>C=2%</i> | <i>C=3%</i> | <i>C=4%</i> | <i>C=3%</i> | - |
| | | <i>Z=1%</i> | <i>Z=1%</i> | <i>Z=1%</i> | <i>Z=2%</i> | - |
| <i>Sur</i> (<i>Las Praderas de Lurín</i>) | <i>Suelo Cemento - Zeolita</i> | <i>C=9%</i> | <i>C=8%</i> | <i>C=8%</i> | - | - |
| | | <i>Z=1%</i> | <i>Z=1%</i> | <i>Z=2%</i> | - | - |

Los porcentajes de cemento fueron mezclados con cada tipo de suelo en relación a su peso.

CAPÍTULO VI: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON BIOPOLÍMEROS.

6.1 Introducción

Los caminos a nivel de afirmado, continuamente han presentado problemas en su mantenimiento y la calidad de la superficie de rodadura, lo que ha despertado una búsqueda por prolongar el tiempo de vida útil de estos caminos.

Las soluciones más usadas son la pavimentación o estabilizaciones con cemento, sin embargo, muchos de estos caminos no cumplen los requisitos que demandan estos métodos, convirtiéndolos en proyectos no rentables para los municipios.

En la búsqueda de soluciones más económicas, planteamos el uso de un estabilizador a base de biopolímeros el cual está formado por macromoléculas de elevado peso molecular el cual al ser compactado con el suelo, forma enlaces, aglomerando las partículas del suelo e incrementando la resistencia del mismo, prolongando la vida útil y motivando a la extensión de los caminos.

El biopolímero actualmente es usado como controlador de polvo, para la investigación se utilizó como aditivo para la estabilización de suelos a fin de conseguir que el suelo de la vía no solo sea controlado por el polvo, sino también ganar una resistencia y una mayor duración para el mantenimiento de esta.

6.2 Definiciones

6.2.1 Biopolímeros

Son definidos como una variedad de macromoléculas o materiales poliméricos sintetizados por sistemas biológicos, como animales, plantas o microorganismos. Entre los biopolímeros más comunes encontramos: Ácidos nucleicos, Proteínas, Polisacáridos, Politerpenos y Polihidroxicanoatos.

6.2.2 Polisacáridos

Se encuentran entre los glúcidos, y cumple funciones diversas, sobre todo de reservas energéticas y estructurales.

6.3 Estabilizador a base de Biopolímeros (EBB)

Es un producto de origen natural diseñado específicamente para adherir las partículas del suelo, no contiene productos químicos nocivos y son inocuos para las personas, animales y plantas. Es un producto biodegradable, de solución acuosa de polisacáridos naturales y sus derivados, especificado para zonas ecológicamente sensibles.

La combinación de propiedades elásticas y adhesivas lo hace ideal para el control de polvo en calles transitadas y percutidas por la erosión, estabilizar suelos, terraplenes y control en siembra, entre otros usos.

Con una técnica de aplicación adecuada, el EBB es capaz de crear una superficie resistente y flexible, duradera al paso de vehículos, incluyendo carreteras, estacionamientos y calzadas de conducción.

Una vez que el EBB es aplicado tópicamente o mezclado con el suelo/agregado, las moléculas del polímero se fusionan y entrelazan, formando enlaces entre el suelo o las partículas del agregado. A medida que el agua se disipa del suelo, se crea una matriz duradera de masa sólida. Cuando se comparan con la estructura molecular de los materiales tradicionales como el bitumen, lignina, cloruros y resinas variadas, los polímeros pueden ser hasta 10,000 veces más grandes. La ventaja clave de los polímeros se origina en su estructura molecular larga y relativamente derecha de hasta 1'000,000 de moléculas de largo que están enlazadas y entrelazadas.

Las tasas de aplicación ligeras son efectivas para la supresión de polvo y control de erosión al crear una capa polimérica tridimensional estable dentro del suelo. Las tasas

de aplicación mayores generan las mismas cualidades que el cemento y son utilizadas para estabilizar el suelo y la construcción de capas de la sub-base y base en carreteras.

6.3.1 Características Físicas y Químicas:

En la tabla 6-1 indica las características del producto en investigación, y en la figura 6-1, muestra el producto que se utilizó en el laboratorio para realizar los ensayos.

Tabla 6-1: Características físicas y químicas del biopolímero

| | |
|---------------------|-------------------------------|
| Estado Físico | Líquido |
| Color | Marrón |
| Olor | Característico |
| Punto de ebullición | Aprox. 100°C |
| Densidad a 20°C | 1.16 – 1.18 g/cm ³ |
| Solubilidad en agua | Soluble |
| pH a 20°C (%) | 4 – 5 |

Fuente: Informe Técnico de SIKA DUST PE.



Figura 6-1: Producto biopolímero en probeta de vidrio.

6.4 Alcances del Estabilizador

- Aumentar la Capacidad de Soporte del Suelo (CBR).

- Formar una superficie compacta y firmemente aglomerada.
- Eliminar los baches y ondulaciones en la superficie de rodadura.
- Reducir el mantenimiento del camino.
- Conservar una buena visibilidad en la ruta.
- Aumentar la vida útil de los afirmados.

6.5 Dosificación

La cantidad de Biopolímero que se usa por método de intervención a la vía es la que se muestra a continuación:

- Estabilización de la vía: 0.80 – 1.60 litros/m² (Dependerá del tipo de suelo)
- Mantenimiento de la vía: 0.30 – 0.50 litros/m²

De la dosificación mostrada para cada tipo de suelo, se obtiene la proporción de agua: biopolímero. (a:b)

6.6 Método de Aplicación

Se realiza una escarificación del suelo a estabilizar con la ayuda de una motoniveladora, a una profundidad determinada por el diseño de espesor del afirmado.

Se humedece la superficie del camino a estabilizar con 0.50 a 1.0 litro/m² de agua. Se disuelve el aditivo con la cantidad de agua requerida para alcanzar la máxima densidad de compactación.

Mediante pulverización desde un camión acondicionado adecuadamente para la operación, se aplica el aditivo diluido. La dosis de aplicación puede regularse vía caudal de bombeo o velocidad del camión usando equipos de alimentación por gravedad. En la figura 6-2 muestra el modo de aplicación del biopolímero.



Figura 6-2: Aplicación de la dosis de biopolímero

Una vez aplicado el producto se mezcla con el suelo moviéndolo a los lados con la motoniveladora, hasta conseguir una mezcla homogénea. Se procede a compactar con el uso de un compactador vibrador de rueda de acero.

Una vez compactado el suelo, se hace una aplicación tópica para crear un sellado en el área optimizando el resultado final. El producto se dejará curando por 8 horas y el suelo estará listo.

Luego de la primera aplicación el camino estará en perfecto estado por varios días. El mantenimiento requiere del 30% de la cantidad original de la aplicación. Cuando un camino ya cuenta con una correcta estabilización se podrá mantener realizando aplicaciones tópicas en bajas diluciones (1:8 a 1:10).

6.7 Dosificación para Ensayos de Laboratorio

La dosificación de biopolímero fue determinada mediante el ensayo CBR, este ensayo permitió obtener el óptimo contenido de biopolímero y alcanzar la capacidad de soporte requerida para el diseño del pavimento.

En el cuadro 6-1 se muestran las dosificaciones de biopolímero determinados con el ensayo CBR, los resultados se muestra en el Capítulo VII.

Cuadro 6- 1: Dosificaciones de relación agua: biopolímero

| Zona | Proporción (biopolimero:agua) |
|-----------|----------------------------------|
| Huaycán | Natural |
| | 1:7 |
| | 1:5 |
| | 1:3 |
| Carabaylo | Natural |
| | 1:4 |
| | 1:3 |
| | 1:2 |
| | 1:1 |
| Lurín | Natural |
| | 1:2 |
| | 1:1 |
| | 2:1 |
| | 3:1 |

CAPÍTULO VII: DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

7.1 Introducción

Para evaluar la influencia de los aditivos en los suelos en estudio, se realizaron ensayos que permitan mostrar las propiedades físicas y el desempeño del suelo, por medio de muestras representativas de las zonas Norte, Este y Sur de Lima. En el cuadro 7-1 indicamos los ensayos que se realizaron en la investigación.

Cuadro 7- 1: Normas vigentes de los ensayos a realizar

| Ensayos | Normas Vigentes |
|---|---|
| Contenido de Humedad | ASTM D- 2216 |
| Gravedad Especifica | ASTM D- 854 |
| Limites Liquido y Plástico | ASTM D- 423 ASTM D- 424 |
| Granulometría | ASTM D- 421 |
| Compresión Simple | ASTM D -1632 ASTM D- 1633 ASTM D -558 |
| Proctor Estándar | ASTM D-698 |
| Proctor Modificado | ASTM D- 1557 |
| Relación de Soporte de California (CBR) | ASTM D- 1883 |

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos en los ensayos se realizó cuadros comparativos con el fin de analizar las propiedades de cada suelo y cada aditivo por cada zona estudiada en la investigación.

Según el documento técnico N° 24 – 2014 – MTC/2014, en Tabla 7-1 (Especificaciones Técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros), indica los parámetros máximos y/o mínimos que deben cumplir los suelos estabilizados.

Tabla 7-1: Especificaciones técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros

| Suelo estabilizado con | Parámetros |
|--|--|
| Cemento | <ol style="list-style-type: none"> 1. Resistencia a compresión simple = 1.8 MPa mínimo (MTC E 1103) 2. Humedecimiento-secado (MTC E 1104): <ul style="list-style-type: none"> - Para suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A3 = 14 % de Pérdida Máxima - Para suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A5 = 10 % de Pérdida Máxima - Para suelos A-6; A-7 = 7 % de Pérdida Máxima |
| Emulsión Asfáltica | <ol style="list-style-type: none"> 1. Estabilidad Marshall = 230 Kg mínimo (MTC E 504) 2. Pérdida de estabilidad después de saturado = 50% máximo 3. Porcentaje de recubrimiento y Trabajabilidad de la mezcla debe estar entre 50 y 100% |
| Cal | <ol style="list-style-type: none"> 1. CBR = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión nula |
| Sales | <ol style="list-style-type: none"> 1. CBR = 100% mínimo, CBR no saturado (MTC E 115, MTC E 132) |
| Productos químicos (aceites sulfatados, ionizadores, polímeros, enzimas, etc.) | <ol style="list-style-type: none"> 1. CBR = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión nula |

Fuente: Documento técnico N°24-2014-MTC/2014, Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas.

Para el desarrollo de la investigación se emplearon 3 aditivos (zeolita, biopolímero y cemento), este último fue empleado para compararlo con los resultados de la mezcla suelo - cemento - zeolita.

Durante los ensayos se evaluaron distintas dosis, a fin de obtener el óptimo contenido de aditivo. Las dosificaciones empleadas durante los ensayos se observan en la Cuadro 7-2.

Cuadro 7- 2: Dosificación de Aditivos Químicos Empleados en la Investigación

| Zona | Tipo de Estabilización | Dosificación de aditivo | | | | | Ensayos |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|------|------|------|------|---|
| Norte (San Pedro Carabayllo) | Suelo Cemento | 7% | | | | | Proctor Estándar y Modificado, CBR, Compresión Simple |
| | Suelo Zeolita | C=6% | C=5% | C=4% | C=5% | C=4% | |
| | | Z=1% | Z=1% | Z=1% | Z=2% | Z=2% | |
| | Suelo Biopolímero (b:a) | 1:4 | 1:3 | 1:2 | 1:1 | | Proctor Modificado, CBR |
| Este (Huaycán-Ate) | Suelo Cemento | 5% | | | | | Proctor Estándar y Modificado, CBR, Compresión Simple |
| | Suelo Zeolita | C=2% | C=3% | C=4% | C=3% | - | |
| | | Z=1% | Z=1% | Z=1% | Z=2% | - | |
| | Suelo Biopolímero (b:a) | 1:7 | 1:5 | 1:3 | - | - | Proctor Modificado, CBR |
| Sur (Las Praderas de Lurín) | Suelo Cemento | 8% | | | 10% | | Proctor Estándar y Modificado, CBR, Compresión Simple |
| | Suelo Zeolita | C=9% | C=8% | C=8% | - | - | |
| | | Z=1% | Z=1% | Z=2% | - | - | |
| | Suelo Biopolímero (b:a) | 1:2 | 1:1 | 2:1 | 3:1 | - | Proctor Modificado, CBR |

Leyenda: C: Cemento, Z: Zeolita, Relación b: a, b=biopolímero, a= agua.

7.2 Contenido de Humedad

7.2.1 Objetivo

Determinar el contenido de agua presente en las muestras de suelo de las zonas en estudio en términos de su peso en seco.

7.2.2 Resumen del ensayo

Es el grado de humedad que posee todo suelo en su estado natural o artificial.

Para lograr una determinación confiable del contenido de humedad de un suelo se recomienda utilizar la siguiente cantidad mínima de muestra húmeda (muestra representativa): En la tabla 7-2 recomienda la cantidad mínima de muestra de suelo a usar en los ensayos.

Tabla 7-2: Peso mínimo recomendado de la muestra

| Tamaño máximo de las partículas de muestra | Peso mínimo recomendado de la muestra (g) |
|--|---|
| N°40 (0.420 mm) | 10 a 50 |
| N°4 (4.75 mm) | 100 |
| 12.6 mm | 300 |
| 50.0 mm | 1000 |

Fuente: Manual de Laboratorio de Ingeniería Civil - Joseph E. Bowles

7.2.3 Equipos a Utilizar

- Recipiente de aluminio o latón
- Espátula
- Balanza, con precisión de 0.01gr.
- Horno de tipo de tiro forzado (105 a 115 °C)

7.2.4 Procedimiento

Se pesaron los recipientes, previamente revisados e identificados; se colocó una muestra representativa de cada suelo extraído, en estado natural, a los recipientes y se determinó los pesos, de cada uno de ellos. Después de pesar las muestras, se enviaron las muestras al horno por 12 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C y una vez secas, se determinaron los pesos de los recipientes más el del suelo seco.

Este procedimiento se realizó para los tres tipos de suelo. En la figura 7-1 muestra las taras listas para llevar al horno de secado.



Figura 7-1: Taras con muestra de suelo húmedo.

7.2.5 Cálculos:

- Peso de la tara en gramos
- Peso de muestra inicial húmeda + tara
- Peso de muestra final seca + tara en gramos
- Peso del agua (W_w)= (Peso de muestra inicial húmeda) - (Peso de muestra final seca)
- Peso de la muestra final seca (W_s)= (Peso de muestra final seca + tara) - (peso de la tara)

Dónde:

W_w =Peso del agua.

W_s =Peso de la muestra final seca.

Luego del ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

| Zona | % Humedad Natural |
|-------|-------------------|
| Norte | 6.00% |
| Este | 0.78% |
| Sur | 0.27% |

7.3 Densidad natural de los suelos:

7.3.1 Objetivo

Determinar la densidad de un suelo en el terreno o en estado natural.

7.3.2 Resumen del ensayo

Representa la relación peso – volumen del suelo en el terreno, existen diferentes procedimientos, entre ellos el densímetro de Washington y el método del cono de arena, los cuales consisten en realizar un orificio en el suelo, determinar el peso seco del material y el volumen que dicho material ocupaba.

Entre otros métodos tradicionales se encuentran: el Método del Balón de goma, el de los Bloques, el de Sumergir en Parafina y otros más en donde todos coinciden en la forma de obtener del suelo natural su peso seco, pero difieren en la determinación de su volumen. Para el suelo de la zona Norte se empleó el Método de Sumergir en Parafina.

7.3.3 Equipos a Utilizar

Los equipos a utilizar son la parafina, una balanza de 0.01 gr y una cocina eléctrica.

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Parafina | Balanza con precisión | Cocina Eléctrica |

7.3.4 Procedimiento:

- Para el suelo de Carabayllo se tomaron terrones como muestras inalteradas.
- Con mucho cuidado se trasladó hacia el laboratorio de Mecánica de Suelos. Se registró el peso de cada porción de suelo, para el ensayo se tomaron tres terrones.
- Luego se procedió a cubrir la superficie de cada terrón con parafina líquida, de esta manera se impermeabiliza el suelo.
- Se dejó enfriar la parafina que cubre el suelo y se registró su peso. En una probeta graduada de boca ancha se vertió 500 ml de agua, seguidamente se ingresaron en la probeta los terrones de suelo cubiertos de parafina y se registró el volumen de agua desplazado.

7.3.5 Cálculos

Se muestra los resultados del ensayo de densidad natural de la investigación.

| PESO ESPECIFICO NATURAL CARABAYLLO (γ gr/cc) | | | | | |
|--|-------------------------------|---------|--------|--------|-------------|
| 1 | γ Parafina | (gr/cc) | | | 0.87 |
| 2 | Constante del sifón | | | | 1.0015337 |
| 3 | W sw | (gr) | 123.59 | 89.11 | 55.72 |
| 4 | W parafina sw | (gr) | 146.54 | 114.12 | 70.09 |
| 5 | V parafina swa | (cc) | 100 | 80 | 50 |
| 6 | W parafina: 4 - 3 | (gr) | 22.95 | 25.91 | 14.37 |
| 7 | Vparafina swa efectivo: 5 * 2 | (cc) | 100.15 | 80.12 | 50.08 |
| 8 | Vparafina : 6 / 1 | (cc) | 26.38 | 28.75 | 16.52 |
| 9 | Vswa : 7 - 8 | (cc) | 73.77 | 51.38 | 33.56 |
| 10 | γ : 3 / 9 | (gr/cc) | 1.68 | 1.73 | 1.66 |
| 11 | γ : promedio | (gr/cc) | | | 1.69 |

7.4 Gravedad Específica

7.4.1 Objetivo

Determinar el peso específico relativo de los sólidos y predecir el peso unitario de los suelos encontrados en las muestras de suelo obtenidas.







7.4.2 Resumen del Ensayo

El valor de la gravedad específica es necesario, para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también en el análisis de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo.

La gravedad específica de cualquier sustancia se define como el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua, de igual forma puede expresarse por el peso del material dividido por el peso unitario del agua multiplicado por su volumen, siempre y cuando se consideren volúmenes iguales del material y agua. Se obtiene G_s , como:

7.4.3 Equipos a Utilizar

Los equipos a utilizar son los siguientes:

| | | |
|---|--|--|
|  |  |  |
| Fiola | Balanza con precisión | Horno de secado |
|  |  |  |
| Cocina eléctrica | Pizeta | Embudo |

7.4.4 Procedimiento

Se llenó la fiola con agua hasta el nivel de la marca registrándose el peso, para luego eliminar el agua e ingresar una porción de suelo en la fiola hasta un tercio de su volumen, se adicionó agua hasta cubrir el suelo dentro, seguidamente se llevó la fiola a la hornilla eléctrica por un lapso de 15 min para así eliminar el aire en el suelo. Una vez enfriada la fiola se añadió agua hasta la marca y se pesó. Luego se vertió el contenido en un recipiente llevándose al horno para así obtener el peso seco del suelo. Este procedimiento se llevó a cabo para los 3 tipos de muestra en estudio, como se observa en la figura 7-2.

Figura
Ensayo



7-2:
de

Gravedad Específica.

7.4.5 Cálculos:

$$G_s = \frac{\gamma_{material}}{\gamma_{agua}} = \frac{W_s}{V_s \gamma_{agua}}$$

- G_s = Gravedad Especifica de los sólidos.
- $\gamma_{material}$ = Peso específico del material.
- γ_{agua} = Peso específico de agua.
- W_s = Peso del suelo seco.
- V_s = Volumen del suelo.

De acuerdo al procedimiento mencionado líneas arriba se obtuvieron los siguientes resultados:

| Zona | G_s |
|-------|-------|
| Norte | 2.74 |
| Este | 2.72 |
| Sur | 2.65 |

7.5 Límite Líquido y Plástico

7.5.1 Objetivo

Determinar los contenidos de humedad que definen los límites líquidos y plásticos de los suelos de las zonas Norte, Este y Sur de Lima.

7.5.2 Marco Teórico

Los límites líquido y plástico son sólo dos de los 5 "límites" propuestos por A. Atterberg, un científico sueco dedicado a la agricultura. Estos límites son:

- a. *Límite de cohesión*. Es el contenido de humedad con el cual las boronas de suelo son capaces de pegarse una a otras.
- b. *Límite de pegajosidad*. Es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a pegarse a las superficies metálicas tales como la cuchilla de la espátula. Esta condición tiene importancia práctica para el ingeniero agrícola pues se relaciona con la capacidad del suelo para adherirse a las cuchillas o discos del arado cuando se cultiva un suelo.
- c. *Límite de contracción*. Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.
- d. *Límite plástico*. Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico
- e. *Límite líquido*. Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico.

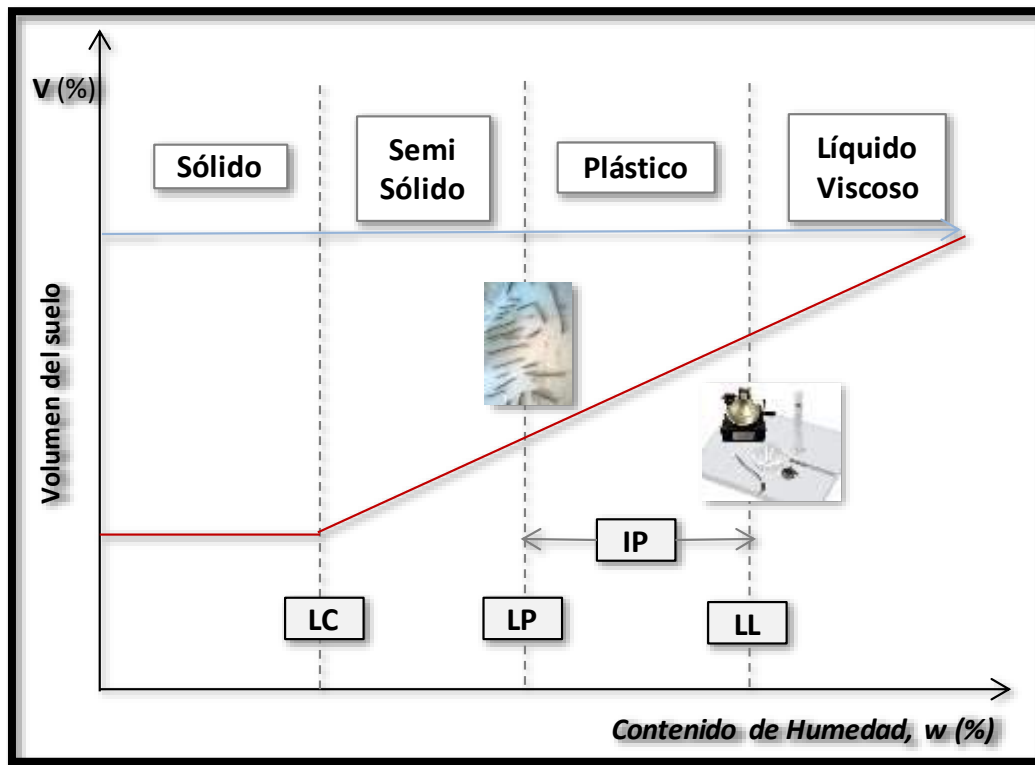


Figura 7-3: Localización relativa de los límites plástico y líquido.

Fuente: elaboración propia.

A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

La localización relativa de los límites de contracción (LC), plástico (LP) y líquido (LL), se muestran sobre una escala de humedad en la *Fig. 7-3*.

En la figura 7-3 se muestra la localización de los límites plástico y líquido, sobre la escala de contenido de humedad.

A) Limite Líquido

El límite líquido es una medida de la resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad. El límite líquido es análogo a un ensayo de resistencia, y Casagrande (1932) encontró que cada golpe necesario para cerrar el surco en la cazuela corresponde a un esfuerzo cortante cercano a un gramo por cm^2 . En la figura 7-4 se

muestra en ensayo límite líquido al suelo de la Zona R de la Urb. Huaycán; este suelo no presenta límite líquido.



Figura 7-4: Ensayo de límite líquido.

B) Límite Plástico

El límite plástico se ha definido arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro se rompe o se resquebraja, cuando se enrolla a un diámetro de 3 mm. Esta prueba es bastante más subjetiva (dependiente del operador) que el ensayo del límite líquido pues la definición del resquebrajamiento del cilindro de suelo así como del diámetro de 3 mm están sujetas a la interpretación del operador.

La falla del cilindro se puede definir de la siguiente forma:

- a. Simplemente por separación en pequeños pedazos.
- b. Por desprendimiento de escamas de forma tubular (cilindros huecos) de dentro hacia fuera del cilindro o hilo de suelo.
- c. Pedacitos sólidos en forma de barril de 6 a 8 mm de largo (para arcillas altamente plásticas).

7.5.3 Equipos a utilizar:

- Copa de Casagrande para el ensayo del límite líquido.
- Herramienta para hacer la ranura.
- Recipientes de aluminio o latón.
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Cápsula o recipiente de porcelana para mezclar el suelo y agua.
- Espátula, para mezclar la muestra.
- Pisseta, para agregar agua a la mezcla.
- Tamiz # 40.
- Horno de tipo de tiro forzado.

7.5.4 Procedimiento de los ensayos:

A) Límite Líquido:

Se preparó un espécimen de 300 gr de suelo que pasó por el tamiz # 40. Se mezcló el suelo con agua en el recipiente de porcelana, obteniendo una pasta homogénea y densa que pueda ser moldeada.

Se colocó una porción del suelo preparado en la copa de Casagrande, en la zona donde la copa descansa en la base, apretando hacia abajo la muestra con la ayuda de una espátula y esparciéndola dentro de la copa de modo que tenga una profundidad de aproximadamente 1 cm.

En su punto más profundo, procurando que quede una superficie horizontal. Se colocó el suelo sobrante en un recipiente y cubrirlo para que no se seque, se formó una ranura en el suelo colocado en la copa con ayuda del ranurador manteniéndolo perpendicular a la superficie de la copa.

Se giró la manivela del dispositivo de Casagrande a razón de 2 golpes/seg. hasta que las dos porciones de suelo entraron en contacto en la parte inferior de la ranura a lo largo de 13 mm (1/2") registrando el número de golpes que fueron necesarios para cerrar la ranura, posteriormente se retiró una porción de suelo de aproximadamente 2 cm. de ancho de la zona en que se cerró la ranura y se colocó en uno de los recipientes de latón, pesándolo e introduciéndolo en el horno durante 24 horas, para encontrar la humedad.

Este procedimiento se repitió hasta obtener al menos 3 puntos que estén ubicados en los rangos: 25 a 35 golpes, 20 a 30 golpes y 15 a 25 golpes.

B) Limite Plástico

Se dividió en varias porciones pequeñas de 20 a 30 g, la muestra de suelo que se había separado con anterioridad durante la preparación de la muestra para límite líquido.

Se enrolló las porciones de suelo con la mano extendida sobre un pedazo de papel colocado a su vez sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 golpes o movimientos de mano por minuto (un golpe = movimiento hacia adelante y hacia atrás). Cuando el diámetro del cilindro de suelo llega a 3 mm se debe romper en pequeños pedazos, y con ellos moldear nuevamente unas bolas o masas que a su vez vuelvan a enrollarse. El proceso de hacer bolas o masas de suelo y enrollarlas debe continuarse alternativamente hasta cuando el hilo o cilindro de suelo se rompa bajo la presión de enrollamiento y no permita que se le enrolle adicionalmente.

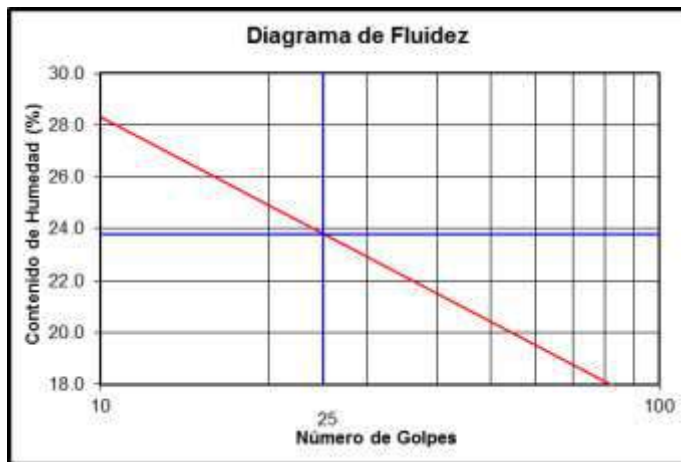
Esta secuencia se repitió 5 veces. Se pesó un recipiente con los cilindros para luego ser colocado dentro del horno.

Se determinó los límites líquido y plástico de los suelos de las zonas en estudio tanto para los suelos naturales como para los suelos estabilizados con zeolitas y biopolímeros.

7.5.5 Cálculos:

Los valores de w versus N se grafican y papel semi-logarítmico; con los contenidos de agua en escala aritmética y el número de golpes en escala logarítmica. Lo que se obtiene es una recta conocida como la Curva de Fluidez, la ordenada del punto de la curva cuya abscisa es 25 golpes es el valor de límite líquido, tal como se aprecia en el grafico 7-1.

Gráfico 7- 1: Diagrama de Fluidez



$$w = -Fw \log N + C$$

Fuente: Fundamentos de Ingeniería geotécnica, Braja M. Das

Dónde:

- w (%) = contenido de agua como porcentaje de peso seco
- Fw = índice de fluidez, es la pendiente
- N = número de golpes
- C = constante, la ordenada en la abscisa de un golpe, se calcula prolongando la curva de fluidez.

El límite líquido (LL) puede establecerse a partir de un solo ensayo utilizando la ecuación:

$$w_L = w_N * \left(\frac{N}{25}\right)^{\tan \beta}$$

Dónde:

W_N = contenido de humedad al número de golpes N.

β = pendiente de la recta.

Según el análisis mostrado se obtuvieron los siguientes resultados:

| Zona | Límite Líquido | Límite Plástico | Índice Plástico |
|-------|----------------|-----------------|-----------------|
| Norte | 23.80% | 17.34% | 6.46% |
| Este | NP | NP | NP |
| Sur | NP | NP | NP |

7.6 Análisis Granulométrico

7.6.1 Objetivo

Determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada.

7.6.2 Resumen del ensayo

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelos dada. Obviamente para obtener un resultado significativo la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa de suelo. Como no es físicamente posible determinar el tamaño real de cada partícula independiente de suelo, la práctica solamente agrupa los materiales por rangos de tamaño. Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a la anterior y se relaciona esta cantidad retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices. Es evidente que el material retenido de esta forma en cualquier tamiz consiste de partículas de muchos tamaños todos los cuales son menores al tamaño de la malla a través de la cual todo el material pasó pero mayores que el tamaño de la malla del tamiz en el cual el suelo fue retenido.

7.6.3 Equipos a utilizar

Los equipos a utilizar son los siguientes:

| | |
|---|--|
|  | <p>Juego de tamices (Fracción Gruesa 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ¼", N°4; Fracción Fina N°10, N°20, N°40, N°60, N°80, N°100, N°200).</p> |
|  | <p>Balanza, con precisión de 0.01 gr.</p> |
|  | <p>Recipientes de Metal.</p> |
|  | <p>Horno de Secado</p> |

7.6.4 Procedimiento

- El tamaño de la muestra varía entre 1500 g, para gravas con partículas máximas de 19 mm hasta 6000 g para materiales cuya partícula máxima tenga 75 mm.

Se usaron las siguientes cantidades:

| Zona | Peso (g) |
|-------|----------|
| Norte | 3000 |
| Este | 6000 |
| Sur | 3000 |

- Luego se lavó la muestra a través de la malla N°200 (al lavarla se eliminan los limos).
- Después secamos el material retenido (24hr en el horno).
- Secada la muestra procedimos a pesarla en la balanza digital.
- A continuación vertimos la muestra en el juego de cernidores, zarandamos manualmente y mecánica las mallas con mucho cuidado de manera no perder material de la muestra.
- Luego retiramos la primera malla, el material retenido en esta malla, se registró su peso.
- Nuevamente se zarandó el material y se retiró la segunda malla, se vació la muestra, y se registró su peso, se repitió este procedimiento hasta la última malla.
- En todas las operaciones de limpieza del tamiz se tuvo cuidado de no perder material, el cual se quedó atrapado en los intersticios de las mallas, para minimizarlo nos ayudamos de una pequeña escobilla.

En la figura 7-5, se muestra el resultado obtenido en la granulometría del suelo de Huaycàn.

Figura 7-5: Material retenido del ensayo de granulometría.



7.7 Clasificación de los Suelos (SUCS & AASHTO)

Existen varios métodos de clasificación de suelos, el conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO), el Sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el Sistema de la ASTM y el Sistema de la Agencia Federal de Aviación (FAA) para nombrar sólo unos cuantos. Actualmente, los departamentos estatales de transporte utilizan el sistema de clasificación de la AASHTO.

Debido a que existe mucha similitud entre los diferentes métodos y a que los métodos de clasificación de suelos unificados y AASHTO, son los más ampliamente usados, esta investigación tendrá en cuenta solamente estos dos sistemas.

7.7.1 Sistema SUCS

Los elementos esenciales del sistema de clasificación fueron propuestos inicialmente por Arturo Casagrande (1942) y adoptados subsecuentemente por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para la construcción de aeropuertos. Actualmente, este sistema se utiliza con modificaciones mínimas en la mayoría de los países fuera de los Estados Unidos.

La Tabla 7-3 presenta los factores a considerar en la clasificación de un suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, empleado para la práctica de Ingeniería.

Tabla 7-3: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) ASTM D2487-93

| División Mayor | | Simbolo | Nombres Típicos | Criterio de clasificación en laboratorio | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200 | Las partículas de 0,075 mm de diámetro (malla N°200) son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista. | ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla N°4. Para clasificación visual puede usarse 1/3 con como equivalente abertura malla N°4. | GW Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos | Dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa por la malla N°200), los suelos gruesos se clasifican como: malos de 5% (GW, GP, SP), más de 5% a 12% (GM, GC, SM, SC), de 5% a 12% son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles (nunca puede ser GW-GP o SW-SP) | | |
| | | | GP Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos | | Coeficiente de uniformidad C_u : mayor de 4 Coeficiente de curvatura C_c : entre 1 y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW | |
| | | | GM Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo | | Límites abajo de la "Línea A" o IP menor que 4 Arriba de "Línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. | |
| | | | GC Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla | | Límites arriba de la "Línea A" y con IP mayor que 7 | |
| | | | SW Arenas bien graduadas, arena con gravas, poco o nada de finos | | Coeficiente de uniformidad C_u : mayor de 6 Coeficiente de curvatura C_c : entre 1 y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW | |
| | | | SP Arenas mal graduadas, arena con gravas, poco o nada de finos | | Límites abajo de la "Línea A" y con IP menor que 4 Arriba de "Línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. | |
| | | SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo | Dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa por la malla N°200), los suelos gruesos se clasifican como: malos de 5% (GW, GP, SP), más de 5% a 12% (GM, GC, SM, SC), de 5% a 12% son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles (nunca puede ser GW-GP o SW-SP) | | | |
| | | SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla | | Límites arriba de la "Línea A" y con IP mayor que 7 | | |
| | | SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla N° 200 | | Las partículas de 0,075 mm de diámetro (malla N°200) son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista. | ML Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos | |
| | | | | | CL Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arenosas o limosas | |
| | | | | | OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad | |
| | | | | | MH Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos | |
| CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas | | | | | | |
| OH Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad | | | | | | |
| Pt Turbas y otros suelos altamente orgánicos | Suelos altamente orgánicos | | | | | |

Fuente: Julio Ricaldoni "Tablas y Ábacos" – 2008

7.7.2 Sistema AASHTO

Este método divide a los materiales inorgánicos en 7 grupos (del A-1 al A-7), los cuales a su vez se subdividen en un total de 12 subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8. Estos últimos se identifican visualmente y no son aptos como material de construcción.

Tabla 7-4: Clasificación de suelos y mezclas de agregados para la Construcción Vial - AASHTO M 145-82

| Clasificación General | Materiales Granulares (35% o menos pasa el tamiz N°200) | | | | | | | Materiales limo-arcillosos (más de 35% pasa el tamiz N°200) | | | |
|---|--|--------|------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--|--------|-------------------|--------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Clasificación de Grupo | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 |
| Análisis de tamizado (% pasa) | | | | | | | | | | | |
| 2.00 mm (# N°10) | 50 máx | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.425 mm (# N°40) | 30 máx | 50 máx | 51 min | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.075 mm (# N°200) | 15 máx | 25 máx | 10 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| Características de fracción pasa # N°40 | | | | | | | | | | | |
| Límite Líquido (LL) | --- | | --- | 40 máx | 41 min | 40 máx | 41 min | 40 máx | 41 min | 40 máx | 41 min |
| Índice Plástico (IP) | 6 máx | | NP | 10 máx | 10 máx | 11 min | 11 min | 10 máx | 10 máx | 11 min | 11 min |
| Materiales constituyentes significativos | Fragmentos de piedra, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena limosa o arcillosa | | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | |
| Clasificación general como subrasante | Excelente a buena | | | | | | | Regular a pobre | | | |
| <small>El IP del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL menos 30. El IP del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30 (ver Gráfico siguiente). La casilla A-3 antes de la A-2 es debido al proceso de eliminación de izquierda a derecha. No indica superioridad de A-3 sobre A-2.</small> | | | | | | | | | | | |

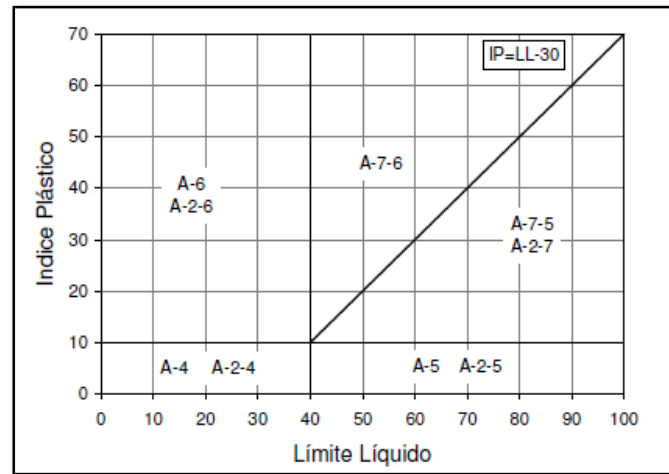
Fuente: Julio Ricaldoni “Tablas y Ábacos” – 2008

- **Procedimiento de Clasificación:**

Una vez conocidos los resultados experimentales de granulometría y plasticidad de un determinado material, se debe encontrar su grupo correcto, a través de la Tabla 7-4, por un proceso de eliminación de izquierda a derecha. El primer grupo desde la izquierda en el cual los datos experimentales coinciden con las especificaciones es el grupo correcto.

Para los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 es fundamental el conocimiento de sus características de plasticidad. En estos casos puede utilizarse en el gráfico 7-2, el cual permite definir rápidamente el subgrupo correcto.

Gráfico 7- 2: Carta de Plasticidad



Fuente: Fundamentos de Ingeniería geotécnica, Braja M. Das

Los materiales con mucho material fino se identifican además por su Índice de Grupo (IG). Cuanto mayor es este número, peor es el material para ser usado como subrasante de una carretera. Este número se calcula con la fórmula:

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

donde (F) es el porcentaje de material que pasa el tamiz N°200, (LL) es el límite líquido e (IP) es su índice de plasticidad. Todos expresados como números enteros. Para el caso de los subgrupos **A-2-6** y **A-2-7** solo se debe utilizar el segundo término de la fórmula.

Este índice se reporta aproximando al número entero más cercano, a menos que su valor calculado sea negativo, en cuyo caso se toma como cero. Se agrega a la clasificación de grupo y subgrupo a la derecha y entre paréntesis (ej. A-7-6 (25), A-1-a (0)).

De los gráficos anteriores se obtuvieron los siguientes resultados.

| Zona | SUCS | ASSTHO |
|-------|------|-----------|
| Norte | ML | A-4 (0) |
| Este | GP | A-1-a (0) |
| Sur | SP | A-3 (0) |

7.8 Proctor Estándar y Modificado – (ASTM D698 y ASTM D1557)

7.8.1 Objetivo

El objetivo básico de la compactación de un suelo, es la obtención de un mejorado material con un comportamiento adecuado para su aplicación específica. La compactación genera en el suelo deformaciones permanentes que modifica sus propiedades originales , causando efectos como incremento en la densidad, incremento en el potencial de expansión , aumento de resistencia al corte , incremento de rigidez , disminución de permeabilidad , compresibilidad ,contracción y reducción de erosión.

7.8.2 Resumen del ensayo

La densidad que se puede obtener en un suelo, por medio de un método de compactación dado, dependiendo de su contenido de humedad, en general, esta humedad es menor que la del límite plástico, y decrece al aumentar la compactación.

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Densidad Seca de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde que depende si es proctor modificado o proctor estándar.

El ensayo de proctor modificado produce en general y aproximadamente, la misma densidad que se obtiene en obra con un equipo pesado de construcción. Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" (1.9 cm).

Para relaciones entre densidad seca y contenido de humedad de suelos con 30% o menos en peso de material retenido en la malla 3/4" (1.9 cm), a pesos unitarios y

contenido de humedad de la fracción pasante la malla de 3/4" (1.9 cm), ver ensayo ASTM D 4718 ("Método de ensayo para corrección de la densidad seca y el contenido de agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas").

La norma presenta tres métodos alternativos; según la granulometría de los suelos en estudio, el suelo de la zona Norte (Carabaylo) cumple con el Método A; el suelo de la zona Este (Huaycán-Ate) cumple con el Método C y el suelo de la zona Sur (Las Praderas de Lurín) cumple con el Método A.

7.8.3 Equipos a utilizar

- Moldes de compactación de $944 \pm 14 \text{ cm}^3$ y $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$ con base y collar.
- Pisón o Martillo de compactación de $4.54 \pm 0.01 \text{ Kg.}$ y $45.72 \pm 0.16 \text{ cm.}$ de altura de caída.
- Balanza, con precisión de 1 gr.
- Horno, del tipo de tiro forzado, $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ($110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Recipientes para contenido de humedad.
- Bandejas para el mezclado.
- Tamices 3/4", 3/8" y N°4.
- Extractor de muestras.

La figura 7-6 muestra los diferentes porcentajes de humedad, a fin de obtener el óptimo.



Figura 7-6: Moldes de la curva Proctor Modificado del suelo de Carabaylo.

7.8.4 Procedimiento:

- Se separó el suelo con la finalidad de obtener 3 puntos como mínimos para ensayar.
- Se mezcló las fracciones de suelo con la cantidad de agua apropiada para conseguir la humedad, repetir el proceso para las fracciones restantes. Como sugerencia la variación de humedad entre cada dos porciones deberá ser del orden 2%.
- Pesar el molde y medir sin considerar la placa base y collarín de extensión.
- Ensamblar la placa base y el collarín de extensión al molde.
- Introducir al molde, la tercera parte de suelo si es que va a realizar el Ensayo Proctor Standard y la quinta parte si es modificado.
- Nivelar la superficie, compactar la capa de suelo, con ayuda de un martillo y aplicar el número de golpes según sea el método; considerar que los golpes sean distribuidos uniformemente sobre la superficie de cada capa.
- La superficie de la última capa debe sobresalir 6mm del borde del molde.
- Retirar el collarín de extensión y enrasar el suelo con el borde superior del molde, mediante una regla metálica, retirar con sumo cuidado la placa base.
- Limpiar los derrames y luego pesar el molde más el suelo compactado.
- Extraer del suelo compactado una muestra para obtener el contenido de humedad.

7.8.5 Cálculos:

- Peso unitario del suelo compactado:

$$\gamma = \frac{Wt}{Vt}$$

Dónde:

$$Wt = (\text{Peso del molde} + \text{suelo compactdo}) - (\text{peso del molde})$$

$Vt = \text{Volumen del molde}$

- Contenido de humedad:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s}$$

Dónde:

$W_w = \text{Peso del agua}$

$W_s = \text{Peso del suelo seco.}$

- Densidad seca:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w\%}$$

Dónde:

$\gamma = \text{Densidad natural del suelo.}$

7.8.6 Resultados:

Los ensayos de proctor estándar y modificaron arrojaron los siguientes valores:

Óptimo Contenido de Humedad (OCH) y Peso Específico Máximo (γ_{dmax}) del Proctor Estándar (PE) y Proctor Modificado (PM)

| Tipo de mezcla | Parámetros | Carabaylo | | Huaycán | | Las Praderas de Lurín | |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------|-------|---------|------|-----------------------|------|
| | | PM | PE | PM | PE | PM | PE |
| Suelo Natural | OCH (%) | 11.25 | 14.30 | 6.35 | 7.75 | 5.00 | 5.55 |
| | γ_{dmax} (gr/cm ³) | 1.98 | 1.86 | 2.15 | 2.08 | 1.63 | 1.56 |
| Suelo Cemento | OCH (%) | - | 15.51 | - | 7.81 | - | 5.65 |
| | γ_{dmax} (gr/cm ³) | - | 1.80 | - | 2.09 | - | 1.60 |
| Suelo Cemento - Zeolita | OCH (%) | - | 15.80 | - | 7.80 | - | 5.60 |
| | γ_{dmax} (gr/cm ³) | - | 1.80 | - | 2.09 | - | 1.60 |
| Suelo Biopolímero | OCH (%) | 11.10 | - | 6.20 | - | 7.00 | - |
| | γ_{dmax} (gr/cm ³) | 1.98 | - | 2.19 | - | 1.60 | - |

Los resultados de densidad seca y contenidos de humedad se grafican a escala y se obtiene una curva de compactación. Con la curva se puede encontrar la máxima densidad seca y el contenido óptimo del agua, en la figura 7-7 se puede observar la variación para cada curva.

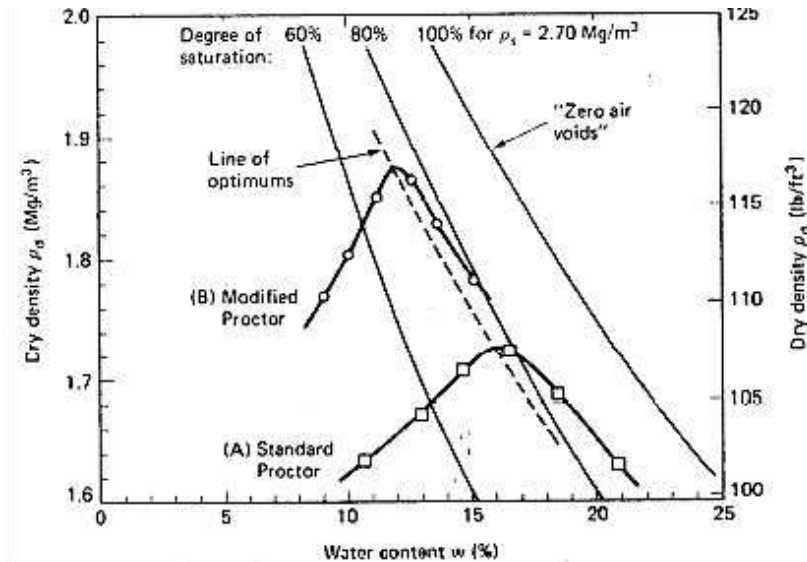


Figura 7-7: Curvas de los métodos de compactación estándar y modificada.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería geotécnica, Braja M. Das

7.9 Capacidad de soporte de los Suelos (CBR) – ASTM 1883

Este ensayo se realizó tanto a suelos naturales como también a suelos estabilizados con biopolímeros.

7.9.1 Objetivo

Determinar la capacidad de soporte (CBR) de los suelos compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables, sometidos a esfuerzos del corte con el objetivo de evaluar la relación óptima de biopolímero: agua.

7.9.2 Resumen del ensayo

El ensayo de relación de soporte de California se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en construcción de carreteras.

El ensayo CBR (la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (con un área de 19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación esto es:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} \times 100 (\%)$$

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero, como 3, 45, 98. Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación se muestra en el cuadro 7-3:

Cuadro 7- 3: Valores de carga unitaria

| PENETRACIÓN | | CARGA UNITARIA PATRÓN | |
|-------------|------|-----------------------|------|
| mm | pulg | Mpa | psi |
| 2.5 | 0.1 | 6.9 | 1000 |
| 5.0 | 0.2 | 10.3 | 1500 |
| 7.5 | 0.3 | 13.0 | 1900 |
| 10.0 | 0.4 | 16.0 | 2300 |
| 12.7 | 0.5 | 18.0 | 2600 |

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 1.27 mm/min, se toman lecturas de carga contra

penetración a cada 0.5 mm de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm a partir del cual se toman lecturas con incrementos de 2,5 mm hasta obtener una penetración total de 12.7 mm.

El valor de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente con fines de utilización para base, sub base y sub rasante bajo pavimentos de carreteras y aeropistas. En la tabla 7-5 da calificaciones típicas para distintos tipos de suelo.

Tabla 7-5: Calificaciones típicas según tipo de suelo

| N° CBR | Clasificación General | Usos | Sistema de Clasificación | |
|-----------|--------------------------|----------------|--------------------------|---------------------|
| | | | Unificado | AASHTO |
| 0 - 3 | Muy Pobre | Subrasante | OH, CH, MH, OL | A5, A6, A7 |
| 3 - 7 | Pobre a regular | Subrasante | OH, CH, MH, OL | A4, A5, A6, A7 |
| 7 - 20 | Regular | Sub-base | OL, CL, ML, SC, SM, SP | A2, A4, A6, A7 |
| 20 - 50 | Bueno | Base, sub-base | GM, GC, SW, SM, SP, GP | A1b, A2-5, A3, A2-6 |
| > 50 | Excelente | Base | GW, GM | A1a, A2-4, A3 |

Fuente: “El Manual del Asfalto”, The Asphalt Institute, 1996, cap. 5

7.9.3 Equipos a utilizar



Figura 7-8: Molde de compactación para CBR.

Los moldes de la figura 7-8, son de 15.2 cm de diámetro x 17.8 cm de altura con collar.

- Disco espaciador de 15.1 cm de diámetro x 6.14 cm de altura (ó 5.1 cm de altura si ese está disponible).
- Martillo de compactación.
- Dial con precisión de 0.01 mm para medir la expansión.
- Pesos para sobrecarga.
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR con sección transversal de 19.4 cm² y capaz de penetrar a una tasa de 1.27 mm/min.
- Recipientes para contenido de humedad.
- Balanza electrónica con precisión de 0.01 gr.

7.9.4 Procedimiento del Ensayo

- Preparación de la muestra:

Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1 mm (3/4") y de 4.75 mm (No. 4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

Una vez determinado la óptima cantidad de agua y el peso específico seco máximo con el proctor modificado, se puede realizar el ensayo de CBR.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número

de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas.

Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del suelo de acuerdo con la Norma MTC E 108.

- Inmersión:

Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2,27 kg (5,5 lb) correspondientes a una pesa. Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) para el suelo de Carabayllo, para el suelo de Huaycán-Ate y Las Praderas de Lurín 24 horas (1 día), con el nivel de agua aproximadamente constante. Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

- Penetración:

Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con ± 2.27 kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb). Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra.

Se llevó el conjunto a la prensa y se colocó en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga luego de la inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

7.9.5 Ensayo CBR mezcla de suelo con biopolímero

El ensayo de CBR para esta mezcla es fundamental para hallar el contenido óptimo de biopolímero.

Se realizó el ensayo Proctor modificado con diferentes contenidos de agua y biopolímero. En el ensayo de CBR, una vez compactado la mezcla y antes de que sean sumergidos los moldes, estos se dejaron al aire libre durante 7 día para que el agua se evapore, luego se siguió el procedimiento de penetración descrito en el ítem 7.9.4.

A continuación se muestran los resultados de la capacidad portante a 0.1" y 0.2" de penetración al 95% de compactación con biopolímero, en la figura 7-9 se muestra los materiales a utilizar en la mezcla.



Figura 7-9: Mezcla de agua – biopolímero – suelo.

A. Resultados de ensayos de CBR de las zonas en estudio:

A.1. Zona Norte: Carabayllo

Gráfico 7- 3: Capacidad de Soporte de CBR – Zona Carabayllo



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en el ensayo CBR en el gráfico 7-3 muestra que en esta zona no se alcanzó la capacidad de soporte mínima para ser usado en vías estabilizadas no pavimentadas.

A.2. Zona Este: Huaycán

Gráfico 7- 4: Capacidad de soporte de CBR – Zona Huaycán



En el gráfico 7-4, a dosificación óptima de biopolímero para el suelo de Huaycán-Ate-ate fue la relación biopolímero / agua 1:5, la cual cumple con el 100% CBR mínimo al 95% del grado de compactación.

(Ver Tabla 7-1).

A.3. Zona Sur: Las Praderas de Lurín

Gráfico 7- 5: Capacidad de soporte de CBR – Zona Lurín



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en el ensayo CBR en el gráfico 7-5, para esta zona no alcanzaron la capacidad de soporte mínima para ser usado en vías estabilizadas no pavimentadas.

7.10 Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo cemento (ASTM D1633)

Este ensayo fue realizado a las probetas de suelo cemento y probetas de suelo cemento zeolita.

7.10.1 Objetivo:

Este método se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo.

7.10.2 Resumen del Ensayo

La norma proporciona dos procedimientos alternativos:

Método A, emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4.0") de diámetro y de 116,4 mm (4.584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.

Método B, emplea un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2.8") de diámetro y de 142,2 mm (5.6") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 2,0.

Se hizo uso del Método A, el cual hace uso del mismo equipo de compactación y moldes empleados para el ensayo proctor. Se considera que este método suministra una medida relativa de la resistencia en lugar de un valor exacto de la resistencia a la compresión. Debido a una menor relación de altura al diámetro (1,15) de los cilindros, la resistencia a la compresión determinada mediante el Método A será normalmente mayor que la del Método B.

A causa de la mayor relación de la altura al diámetro (2,00), el Método B da una mejor medida de la resistencia a la compresión desde un punto de vista técnico, ya que reduce condiciones complejas de esfuerzos que pueden presentarse durante el aplastamiento de especímenes del Método A.

En la práctica, el Método A ha sido empleado más comúnmente que el Método B. Como consecuencia de esto, ha sido costumbre evaluar o especificar valores de resistencia a la compresión según el Método A.

7.10.3 Equipos a Utilizar

- Elaboración de probetas
 - Bandejas
 - Taras
 - Molde de proctor estándar
 - brocha
 - Martillo de 2.5 kg
 - Tamiz #4

En la figura 7-10 y 7-11, muestra los instrumentos antes mencionados.



Figura 7-10: Instrumentos para el ensayo compresión simple.
Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos de la URP.

- **Compresión de probetas**



Figura 7-11: Prensa de compresión del laboratorio de Calidad de UNICON.

7.10.4 Procedimiento del Ensayo

Para la elaboración de probetas, se empleó el procedimiento del ensayo Relaciones Humedad-Peso Unitario de mezclas de suelo cemento (ASTM D558), donde se prepararon las muestras para ensayo de las tres zonas, para el suelo de Huaycán-Ate se reemplazó el material retenido en el tamiz 3/4" por el material retenido entre los tamices 3/4" y el No.4 (Figura 7-12); los suelos de Carabayllo y Las Praderas de Lurín (Figura 7-13), se disgregó los terrones del suelo para que pasen el tamiz No.4, pero de tal manera que se evitó la reducción del tamaño natural de las partículas individuales.



Figura 7-12: Reemplazo de partículas individuales.

Para cada suelo, se escogió tres muestras representativas de 2.3 kg. Se agregó al suelo, de acuerdo con el diseño, la cantidad requerida de cemento o con zeolitas y suficiente agua para humedecer la mezcla, y obtener tres puntos con una variación de humedad del 2%.



Figura 7-13: Mezcla de suelo – cemento

- Compactación

Se colocó las muestras en bandejas para formar especímenes compactando en el molde con el collar, usando la mezcla preparada de suelo cemento y suelo zeolita y se dividió en tres capas iguales, cada capa se compactó mediante 25 golpes del martillo usado en el ensayo de Proctor estándar, a fin de que ingrese la cantidad de suelo calculada para el volumen del molde; esta cantidad se obtiene de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de Proctor estándar.

- Curado

Se realizó la extracción de las probetas compactadas con ayuda del extractor, luego se realizó un curado hermético haciendo uso de bolsas plásticas, tal como se muestra en la Figura 7-14, las probetas se mantuvieron durante 7 días en la cámara de curado. Luego del periodo de curado, las probetas se someten al ensayo a compresión en condición húmeda, inmediatamente después de ser removidas del curado hermético.



Figura 7-14: Curado hermético de probetas

- Compresión

Antes de ensayar las probetas, se tomó las medidas de sus diámetros y alturas, obteniendo un valor promedio de dichas mediciones, la toma de mediciones se realizó con el vernier. En la fotografía XX se observa el momento en la toma de las medidas. Se coloca la probeta a ensayar entre pads de neopreno, los cuales distribuyen la carga de forma uniforme, se dio inicio a la compresión a una velocidad de carga de 2 a 3 Kg/cm² por segundo.

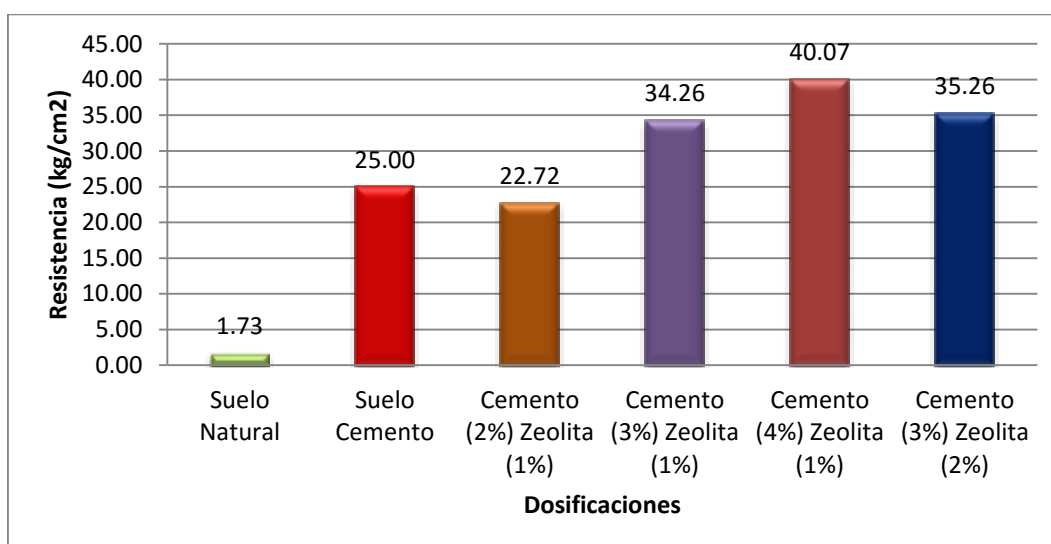
7.10.5 Compresión simple para suelo cemento zeolita

Se ensayó distintos tipos de dosificaciones para obtener el óptimo contenido del aditivo. Nuestro objetivo fue utilizar menor cantidad de cemento que se utiliza con la estabilización suelo cemento, y también con la adición de la zeolita aumentar la resistencia. Para esto utilizamos las dosificaciones del Cuadro 7-4 para la zona de Huaycán – Ate, Cuadro 7-5 para la zona de Carabayllo y el Cuadro 7-6 para la zona de Lurín:

Cuadro 7- 4: Resultados de los ensayos realizados al suelo de la zona de Huaycán-Ate

| Tipo | Dosificaciones | | Resistencia a la compresión (kg/cm ²) |
|---------------------------|----------------|---------|---|
| | Cemento | Zeolita | |
| Suelo Natural | - | - | 1.73 |
| Suelo Cemento | 5.00% | - | 25.00 |
| Cemento (2%) Zeolita (1%) | 2.00% | 1.00% | 22.72 |
| Cemento (3%) Zeolita (1%) | 3.00% | 1.00% | 34.26 |
| Cemento (4%) Zeolita (1%) | 4.00% | 1.00% | 40.07 |
| Cemento (3%) Zeolita (2%) | 3.00% | 2.00% | 35.26 |

Gráfico 7- 6: Resultados de resistencia del ensayo compresión simple (Zona Huaycán)



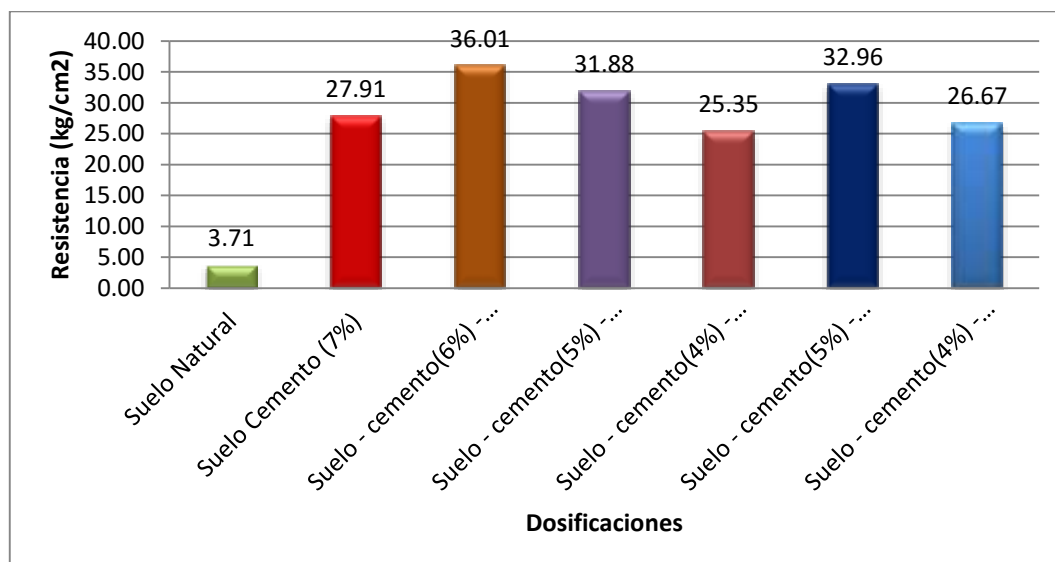
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 7-6 se puede observar la variación de los valores de resistencia con diferentes dosificaciones de cemento y de zeolita para lograr obtener el óptimo contenido de los aditivos. La dosificación Cemento (4%) y Zeolita (1%) obtuvo la mayor resistencia a la compresión simple con 40.07 kg/cm², y el suelo natural obtuvo la menor resistencia con 1.73 kg/cm².

Cuadro 7- 5: Resultados de los Ensayos Realizados al Suelo de la Zona De Carabayllo

| Tipo | Dosificaciones | | Resistencia a la compresión (kg/cm ²) |
|------------------------------------|----------------|---------|---|
| | Cemento | Zeolita | |
| Suelo Natural | 0% | 0% | 3.71 |
| Suelo Cemento (7%) | 7% | 0% | 27.91 |
| Suelo - cemento(6%) - zeolita (1%) | 6% | 1% | 36.01 |
| Suelo - cemento(5%) - zeolita (1%) | 5% | 1% | 31.88 |
| Suelo - cemento(4%) - zeolita (1%) | 4% | 1% | 25.35 |
| Suelo - cemento(5%) - zeolita (2%) | 5% | 2% | 32.96 |
| Suelo - cemento(4%) - zeolita (2%) | 4% | 2% | 26.67 |

Gráfico 7- 7: Resultados de resistencia del ensayo compresión simple (Zona Carabayllo)



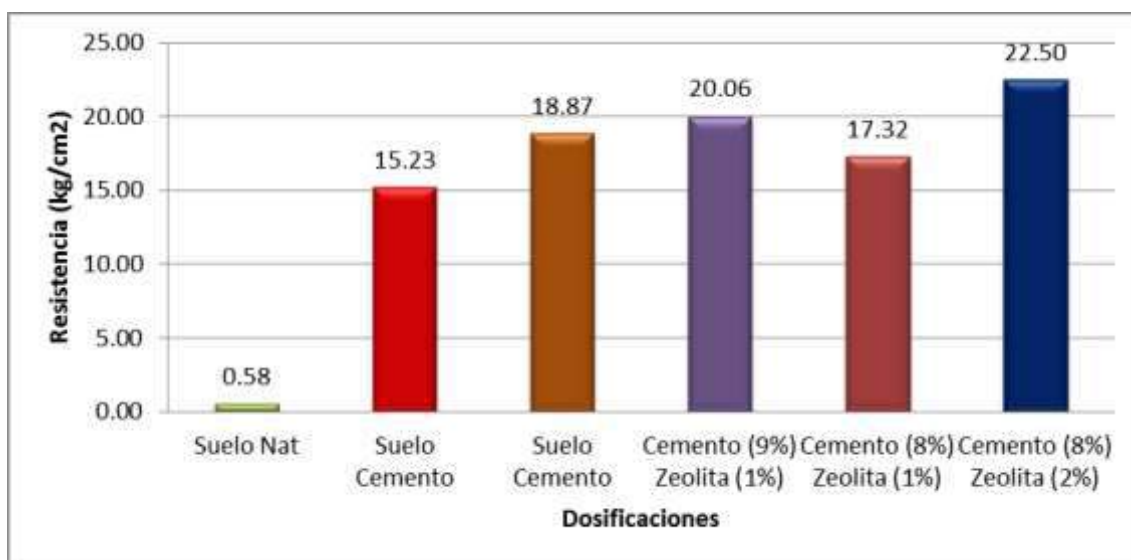
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 7-7 se puede observar la variación de los valores de resistencia con diferentes dosificaciones de cemento y de zeolita para lograr obtener el óptimo contenido de los aditivos. La dosificación Cemento (6%) y Zeolita (1%) obtuvo la mayor resistencia a la compresión simple con 36.01 kg/cm², y el suelo natural obtuvo la menor resistencia con 3.71 kg/cm².

Cuadro 7- 6: Resultados de los Ensayos Realizados al Suelo de la Zona Las Praderas De Lurín

| Tipo | Dosificaciones | | Resistencia a la compresión (kg/cm ²) |
|---------------------------|----------------|---------|---|
| | Cemento | Zeolita | |
| Suelo Nat | - | - | 0.58 |
| Suelo Cemento | 8.00% | - | 15.23 |
| Suelo Cemento | 10.00% | - | 18.87 |
| Cemento (9%) Zeolita (1%) | 9.00% | 1.00% | 20.06 |
| Cemento (8%) Zeolita (1%) | 8.00% | 1.00% | 17.32 |
| Cemento (8%) Zeolita (2%) | 8.00% | 2.00% | 22.50 |

Gráfico 7- 8: Resultados de resistencia del ensayo compresión simple (Zona Lurín)



Elaboración Propia

En el gráfico 7-8 se puede observar la variación de los valores de resistencia con diferentes dosificaciones de cemento y de zeolita para lograr obtener el óptimo contenido de los aditivos. La dosificación Cemento (8%) y Zeolita (2%) obtuvo la mayor resistencia a la compresión simple con 22.50 kg/cm², y el suelo natural obtuvo la menor resistencia con 0.58 kg/cm².

CAPÍTULO VIII: DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Las carreteras no pavimentadas con revestimiento granular en sus capas superiores y superficie de rodadura corresponden en general a carreteras de bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de Ejes Equivalentes de hasta 300,000 EE en un periodo de diez años; estas carreteras no pavimentadas pueden ser clasificadas como sigue:

- a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes.
- b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
- c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm. Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o zarandeadas, o afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.
- d) Carreteras con superficie de rodadura tratada con materiales industriales:
 - i. Afirmados con superficie tratada para el control de polvo, con materiales como: cloruros, aditivos, productos asfálticos (imprimación reforzada o diferentes tipos de sello asfáltico), cemento, cal u otros estabilizadores químicos.
 - ii. Suelos naturales estabilizados con: emulsión asfáltica, cemento, cal, cloruros, geo sintéticos y otros aditivos que mejoren las propiedades del suelo.

Tener en cuenta que en una vía de afirmado estabilizada para que mantenga sus características iniciales debe de tener un adecuado drenaje, que debe de intervenir en el diseño de pavimento.

8.1 Métodos de Diseño

Para vías de bajo volumen de tránsito las metodologías de diseño deben comenzar a tener en cuenta las deformaciones que se producen en la única capa granular, y los modelos para predecir dichas deformaciones, deben ser capaces de reproducir el comportamiento de estos materiales bajo diversas trayectorias de carga cíclica y condiciones del medio ambiente.

La metodología a desarrollarse permitirá diseñar de manera técnica y rápida el espesor de una capa de afirmado, teniendo en cuenta la resistencia de la subrasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño.

Los métodos más usados para el dimensionamiento del espesor del afirmado son: AASHTO, NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) y método USACE (Método del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos).

En el Perú en el 2010, se aprobó la norma de Pavimentos Urbanos, la norma considera tres tipos de soluciones para las vías; pavimento asfáltico, pavimento de concreto hidráulico y vías adoquinadas. En la norma utilizan la GUÍA AASHTO para el diseño de los espesores de pavimentos. Mas no contemplan como solución una vía estabilizada.

En esta sección de la investigación se hará una comparación entre el método AASTHO y NAASRA para que la elección del espesor de la capa de la vía estabilizada se la más óptima.

8.2 Método AASTHO:

El método AASTHO simplificado para el diseño de vías con bajo volúmenes de tránsito puede ser usado para la determinación del espesor de la capa de afirmado estabilizado. AASHTO presenta dos aproximaciones para el diseño de vías en afirmado, la primera está basada en nomogramas y la segunda basada en catálogos de diseño.

La dimensionamiento del espesor de la capa de afirmado involucra el análisis de los factores que afectan la durabilidad de la misma. Los principales factores a considerar son el tránsito, las condiciones climáticas, las características mecánicas de la subrasante y del material de afirmado.

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

8.3 Variables para el diseño:

8.3.1 Periodo de diseño:

Se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido, aun costo razonable.

El espesor de la capa estabilizada será calculado para un periodo de diseño de 10 años, considerando frecuencias de mantenimiento periódico cada 04 años. En la tabla 8-1, muestra el periodo de diseño en función al tipo de carretera.

Tabla 8-1: Periodo de Diseño en función del tipo de carretera

| Tipo de Carretera | Periodo de Diseño (años) |
|---|--------------------------|
| Urbana de tránsito elevado | 30-50 |
| Interurbana de tránsito elevado | 20-50 |
| Pavimentada de baja intensidad de tránsito | 15-25 |
| De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava | 10-20 |

Fuente: AASTHO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

8.3.2 Nivel de confiabilidad:

La confiabilidad es un parámetro relacionado con el grado de incertidumbre, la variación en las predicciones de tráfico y de la respuesta de la estructura del pavimento a las condiciones ambientales y la importancia de la vía.

Básicamente, es una forma de incorporar un cierto grado de certeza en el proceso de diseño, para garantizar que las diferentes alternativas de sección del pavimento proyectado se comportarán satisfactoriamente bajo las condiciones de tráfico y medio ambiente durante el periodo de diseño (Tabla 8-2 y Tabla 8-3).

Tabla 8-2: Niveles de Confiabilidad recomendados por clasificación de la vía

| Clasificación | Niveles de Confiabilidad recomendados | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| | Urbana | Rural |
| Autopistas Interestatales y otros | 85 – 99.9 | 80 – 99.9 |
| Arterias Principales | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Vías colectoras de tránsito | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Carreteras Locales | 50 – 80 | 50 – 80 |

Fuente: Manual de Suelos y Pavimentos – MTC

Tabla 8-3: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

| Tipo de Caminos | Tráfico | Ejes Equivalentes | | Nivel de Confiabilidad |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------|------------------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | T _{P0} | 100,000 | 150,000 | 65% |
| | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | 70% |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | 75% |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | 80% |
| | T _{P4} | 750,001 | 1,000,000 | 80% |

Fuente: Manual de Suelos y Pavimentos – MTC

8.3.3 Desviación Estándar Normal (Z_r)

El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_r) representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal (Tabla 8-4).

Tabla 8-4: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

| Tipo de Caminos | Tráfico | Ejes Equivalentes | | Desviación Estándar Normal (Z_r) |
|-------------------------------------|----------|-------------------|-----------|--------------------------------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | T_{P0} | 100,000 | 150,000 | -0.385 |
| | T_{P1} | 150,001 | 300,000 | -0.524 |
| | T_{P2} | 300,001 | 500,000 | -0.674 |
| | T_{P3} | 500,001 | 750,000 | -0.874 |
| | T_{P4} | 750,001 | 1,000,000 | -0.842 |

Fuente: Manual de Suelos y Pavimentos – MTC

8.3.4 Desviación Estándar Combinada (S_o)

La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y 0.50. El Manual de Suelos y Pavimentos (MTC) adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45.

8.3.5 Módulo de Resiliencia:

Para el diseño de pavimentos flexibles se debe utilizar valores promedios de resultados en el ensayo de Modulo Resiliente en el laboratorio, las diferencias que se puedan presentar están consideradas en el nivel de confiabilidad R .

Durante el año se presentan variaciones en el contenido de humedad de la subrasante, las cuales producen alteraciones en la resistencia del suelo, para evaluar esta situación es necesario establecer los cambios que produce la humedad en el módulo resiliente.

Con este fin se obtienen módulos resilientes para diferentes contenidos de humedad que simulen las condiciones que se presentan en el transcurso del año, en base a los resultados se divide el año en periodos en los cuales el

M_R es constante.

Para cada valor de M_R se determina el valor del daño relativo, utilizando el ábaco de la Gráfico 8-1 de la siguiente expresión:

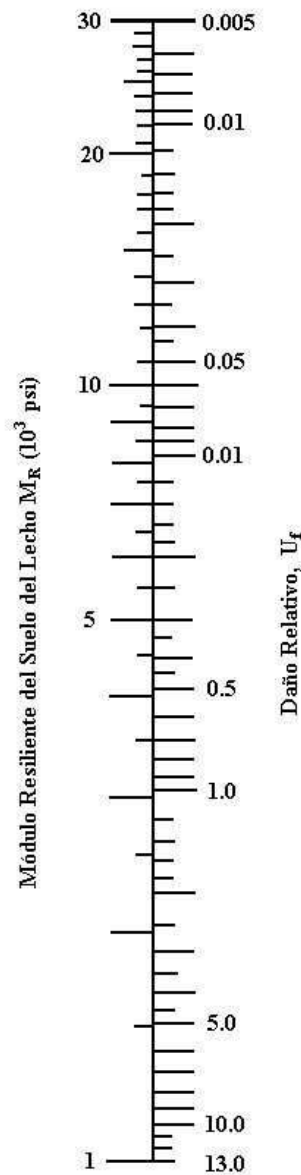
$$U_f = 1.18 * 10^8 * M_R^{-2.32}$$

U_f : Daño relativo.

Gráfico 8- 1: Abaco para la determinación del Daño Relativo.

| Mes | Módulo Resiliente Suelo M_R (psi) | Daño Relativo U_f |
|------------|-------------------------------------|---------------------|
| Enero | | |
| Febrero | | |
| Marzo | | |
| Abril | | |
| Mayo | | |
| Junio | | |
| Julio | | |
| Agosto | | |
| Septiembre | | |
| Octubre | | |
| Noviembre | | |
| Diciembre | | |
| Sumatoria: | $\Sigma U_f =$ | |

Promedio: $\bar{U}_f = \frac{\Sigma U_f}{n} = \text{-----}$



Fuente: AASTHO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

8.3.5.1 Relación CBR – Modulo de Resiliencia

A continuación se presentan algunas correlaciones empíricas entre el CBR y el valor del módulo resiliente. En la Gráfico 8-2 se esquematizan las mismas.

- Shell (Heukelomm y Foster 1960)

$$Mr (psi) = 1500 CBR$$

- U.S. Cuerpos de Ingenieros (USACE) (Green y Hall 1975)

$$Mr (psi) = 5409 CBR^{0.711}$$

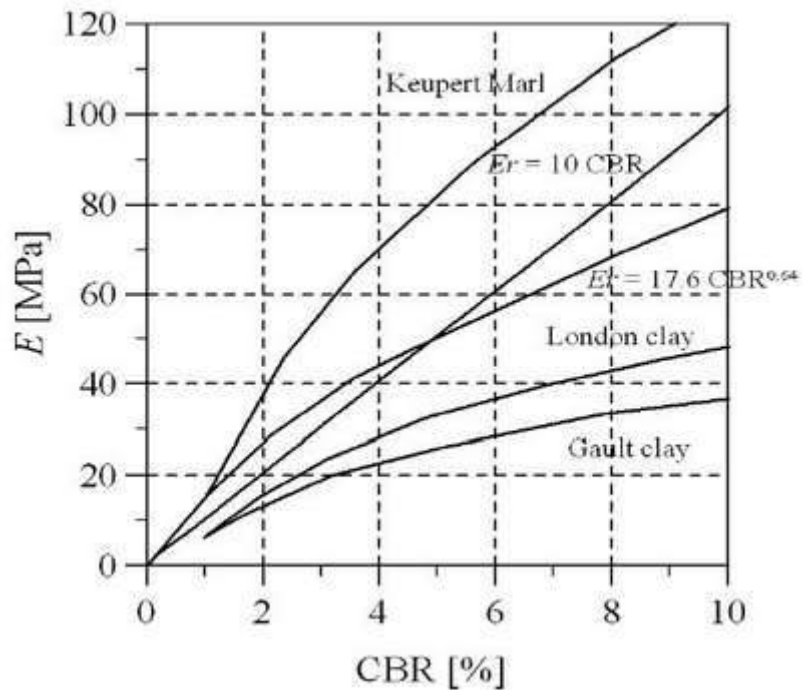
- Concilio Sur Africano de Investigaciones Científicas e Industriales (CSIR)

$$Mr (psi) = 3000 CBR^{0.65}$$

- Laboratorio de Investigación de Transporte y Carreteras (TRRL) (Lister 1987)

$$Mr (psi) = 2555 CBR^{0.64}$$

Gráfico 8- 2: Relación entre el CBR y el módulo resiliente.



Fuente: Brown & Selig, 1991; Garnica et al., 2001

8.3.6 Criterios del comportamiento del Pavimento

a) Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El Índice de Serviciabilidad Presente (tabla 8-5) es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

a) Serviciabilidad inicial (Pi): Condición recientemente construida.

Tabla 8-5: Índice de Serviciabilidad Inicial

| Tipo de Caminos | Tráfico | Ejes Equivalentes | | Índice de Serviciabilidad |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------|---------------------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | 3.8 |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | 3.8 |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | 3.8 |
| | T _{P4} | 750,001 | 1,000,000 | 3.8 |

Fuente: Guía AASHTO'93

b) Serviciabilidad Final (Pt): condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción (tabla 8-6).

Tabla 8-6: Índice de Serviciabilidad Inicial

| Tipo de Caminos | Tráfico | Ejes Equivalentes | | Índice de Serviciabilidad |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------|---------------------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | 2.00 |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | 2.00 |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | 2.00 |
| | T _{P4} | 750,001 | 1,000,000 | 2.00 |

Fuente: Guía AASHTO'93

Una vez establecidos Po y Pt, se aplica la segunda ecuación para definir el cambio total en el índice de servicio.

$$PSI = P_o - P_t$$

Po = Inicio del Periodo.

Pt = Fin del Periodo.

8.3.7 Análisis de tráfico:

El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos. Para obtener este dato es necesario determinar el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el periodo de diseño, a partir de un tráfico inicial medido en el campo a través de aforos. El número y composición de los ejes se determina a partir de la siguiente información:

- Periodo de Diseño.
- Distribución de ejes solicitantes en cada rango de cargas.
- Índice medio diario anual de todos los vehículos IMDA.
- Tasas de crecimiento anuales de cada tipo de vehículo.
- Sentido del tráfico.
- Número de Carriles por sentido de tráfico.
- Porcentaje del tránsito sobre el carril más solicitado.
- Índice de Serviciabilidad.
- Factores de equivalencia de cargas.

a) Factor de distribución direccional: corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

b) Factor de distribución carril: corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril (Tabla 8-7).

Tabla 8-7: Factor de distribución carril

| Número de calzadas | Número de sentidos | Número de carriles por sentido | Factor Direccional (Fd) | Factor Carril (Fc) | Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño |
|---|--------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------|--|
| 1 calzada (para IMDa total de la calzada) | 1 sentido | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | 1 sentido | 2 | 1.00 | 0.80 | 0.80 |
| | 1 sentido | 3 | 1.00 | 0.60 | 0.60 |
| | 1 sentido | 4 | 1.00 | 0.50 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 1 | 0.50 | 1.00 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 2 | 0.50 | 0.80 | 0.40 |
| 2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas) | 2 sentidos | 1 | 0.50 | 1.00 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 2 | 0.50 | 0.80 | 0.40 |
| | 2 sentidos | 3 | 0.50 | 0.60 | 0.30 |
| | 2 sentidos | 4 | 0.50 | 0.50 | 0.25 |

c) Tasa de crecimiento:

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico.

Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI).

$$Factor\ Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{n}$$

Dónde:

r : Tasa anual de crecimiento. (Poblacional o PBI)

n : Periodo de diseño

d) Número de repeticiones de Ejes Equivalentes:

Para el cálculo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93 (Tabla 8-8), para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento:

Tabla 8-8: Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos.

| Tipo de Eje | Eje Equivalente (EE _{8.2 tn}) |
|--|--|
| Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1}) | $EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$ |
| Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2}) | $EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$ |
| Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1}) | $EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$ |
| Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2}) | $EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$ |
| Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1}) | $EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$ |
| Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2}) | $EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$ |
| P = peso real por eje en toneladas | |

e) Factor de vehículo pesado:

Se define como el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo la sumatoria de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.

f) Factor de ajuste por presión de neumáticos:

Para el caso de afirmados y pavimentos rígidos el factor de ajuste por presión de neumáticos será igual 1.0. Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo

de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep\ de\ EE_{8.2\ tn}} = \sum [EE_{día-carril} * Fca * 365]$$

$$EE_{día-carril} = IMD_{pi} * Fd * Fc * Fv_{pi} * F_{pi}$$

Dónde:

IMD_{pi} : Corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i).

Fd: Factor Direccional

Fc: Factor Carril de Diseño

Fvp: Factor Vehículo Pesado, según su composición.

Fp: Factor de presión de los vehículos.

Fca: Factor de crecimiento acumulado.

365: Número de días del año.

8.3.8 Coeficiente de drenaje (m_i):

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la tabla 8-9:

Tabla 8-9: Valores de m_i recomendados para modificar los coeficientes de capas de afirmado.

| Características de Drenaje | Agua Eliminada (tiempo) | Porcentaje de tiempo en el año, que la estructura del pavimento está expuesto a un nivel de humedad próxima a la saturación. | | | |
|----------------------------|-------------------------|--|-----------|-----------|-------|
| | | < 1% | 1% - 5% | 5% - 25% | > 25% |
| Excelente | 2 horas | 1.40-1.35 | 1.35-1.30 | 1.30-1.20 | 1.2 |
| Bueno | 1 día | 1.35-1.25 | 1.25-1.15 | 1.15-1.00 | 1 |
| Regular | 1 semana | 1.25-1.15 | 1.15-1.05 | 1.00-0.80 | 0.8 |
| Pobre | 1 mes | 1.15-1.05 | 1.05-0.80 | 0.80-0.60 | 0.6 |
| Muy malo | No drena | 1.05-0.95 | 0.95-0.75 | 0.75-0.40 | 0.4 |

Fuente: AASTHO, Guide for Design of Paviment Structures.

8.3.9 Número Estructural:

$$SN = \sum_{i=1}^n a_i D_i m_i \quad \dots (a)$$

$$SN = a_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \dots (b)$$

SN: Numero Estructural

a_i = coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales.

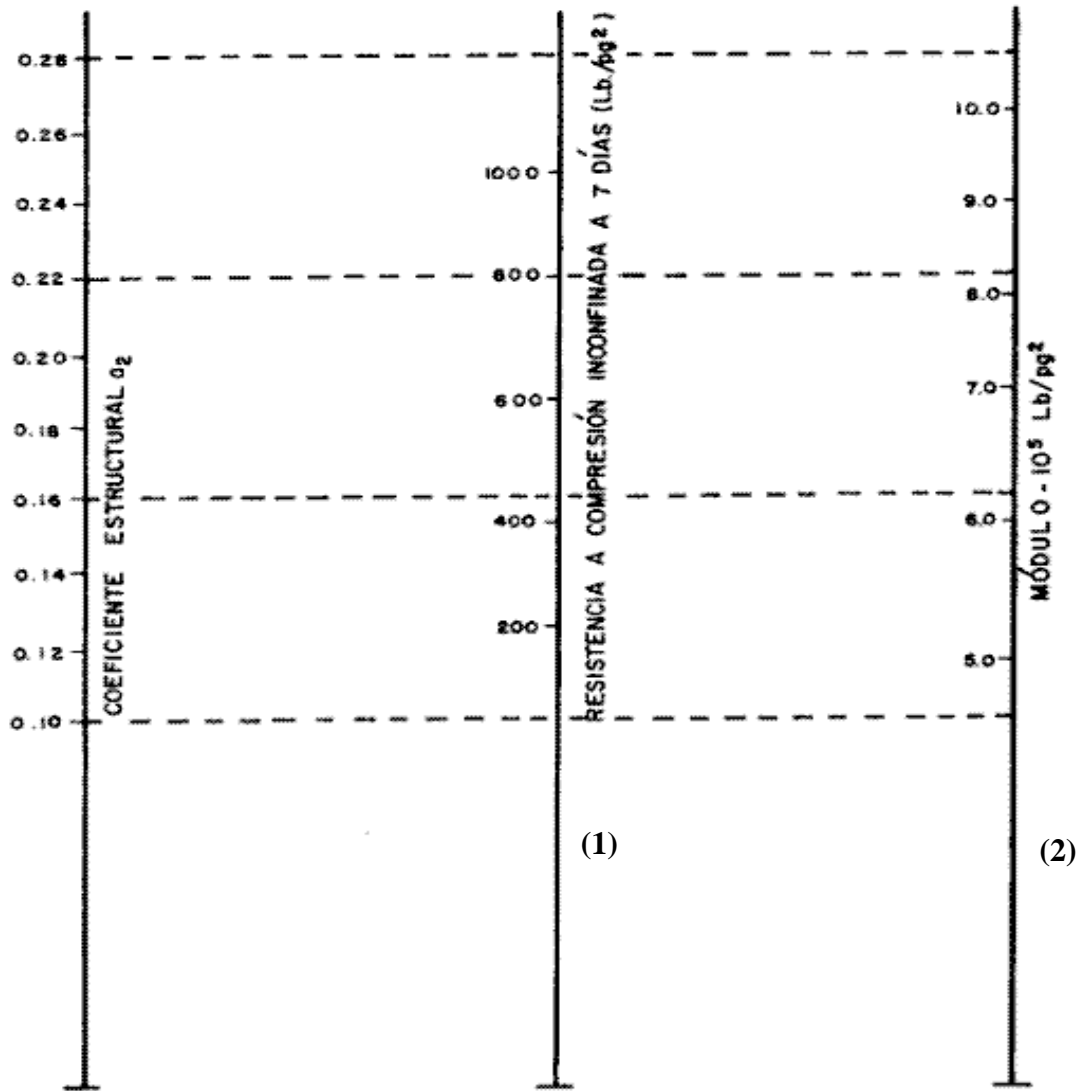
D_i = espesores.

m_i = coeficiente de drenaje.

La estructura de las vías estabilizadas se componen de una sola capa (a_2) el cual podemos determinar el espesor mediante el método AASTHO. Para hallar el coeficiente estructural se puede utilizar la ecuación (a) y (b), también por medio de nomogramas, como el que mostramos a continuación:

El nomograma de Gráfico 8-3 se puede utilizar para vías estabilizadas con cemento y el ensayo de compresión simple es la base para hallar en contenido óptimo de aditivo.

Gráfico 8- 3: Coeficiente estructural para capas estabilizadas con cemento.

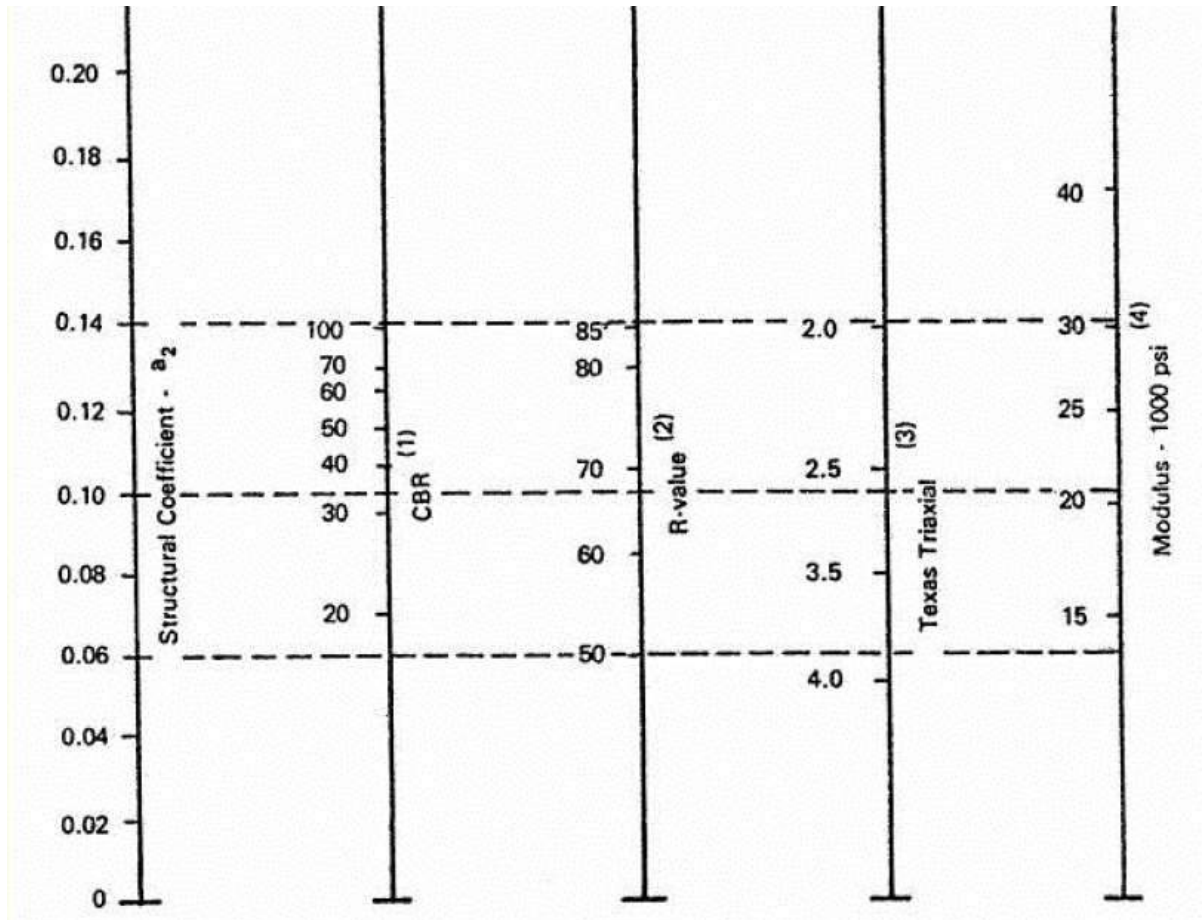


- (1) Escala derivada de correlaciones promedios obtenidas en Illinois, Louisiana.
- (2) Escala derivada de NCHRP, proyecto.

Fuente: Guía AASTHO

El nomograma del Gráfico 8-4 se puede utilizar para vías estabilizadas con biopolímero y otros, donde CBR es requerido para el óptimo contenido del aditivo.

Gráfico 8- 4: Coeficiente estructural para bases estabilizadas.



Fuente: Guía AASTHO

8.4 Método de la ecuación del método NAASRA:

La ecuación del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities (hoy AUSTRROADS), relaciona el valor de soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresado en el número de repeticiones:

$$e = [219 - 211 * (\log_{10} CBR) + 58 * (\log_{10} CBR)^2] * \log_{10} \left(\frac{N_{rep}}{120} \right)$$

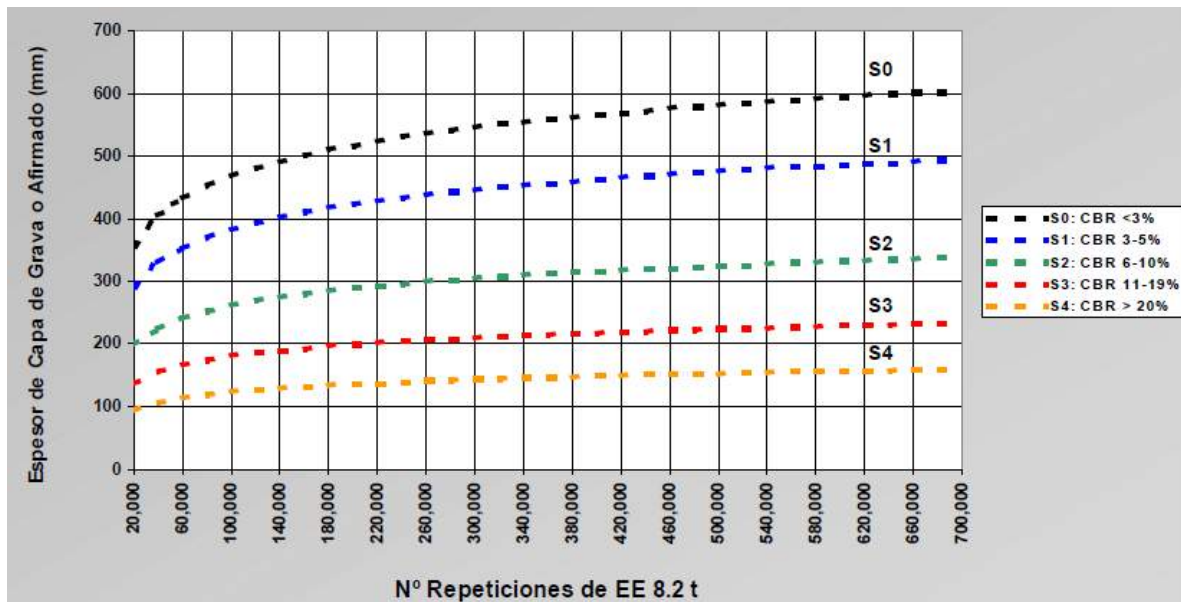
e: espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR: valor del CBR de la subrasante

Nrep : número de repeticiones de ejes equivalentes para el carril de diseño.

En el gráfico 8-5 se muestra la determinación del espesor en función al valor de CBR y numero de repeticiones de ejes equivalentes.

Gráfico 8- 5: Determinación de espesor de capa de revestimiento granular



Fuente: Elaboración en base a la ecuación de diseño del método NAASRA

8.5 Cálculo del espesor de las vías estabilizadas.

8.5.1 Determinación del EAL

El IMD se proyectó en base al estudio de tráfico realizado por la Municipalidad de Ate. El cuadro 8-1 muestra el resumen del estudio de tráfico realizado en vías con las características idóneas para la investigación.

Cuadro 8- 1: Cálculo del EAL

| Tipo de Vehículo | Descripción | IMDA | Fd | Fc | r (%) | n (años) | FCa | Fvp | Promedio de presión de inflado (PPI-psi) | Fp (PPI*0.90) | EE (por vehículo) | EE |
|------------------|----------------|------|-----|----|-------|----------|-------|-------|--|---------------|-------------------|----------|
| B2 | Omnibus 2E | 6 | 0.5 | 1 | 0.05 | 10 | 12.58 | 4.504 | 70 | 1 | 62043 | 1.29E+05 |
| C2 | Camiones 2E | 3 | 0.5 | 1 | 0.07 | 10 | 13.82 | 4.504 | 70 | 1 | 34079 | |
| C3 | Camiones 3E | 2 | 0.5 | 1 | 0.07 | 10 | 13.82 | 3.285 | 70 | 1 | 16571 | |
| 2S2 | Semitrayler 4E | 1 | 0.5 | 1 | 0.07 | 10 | 13.82 | 6.523 | 70 | 1 | 16452 | |
| 2S3 | Semitrayler 5E | 0 | 0.5 | 1 | 0.07 | 10 | 13.82 | 6.21 | 70 | 1 | 0 | |

Fuente: Elaboración propia

El estudio de tráfico que se observa en el cuadro anterior ha sido utilizado para las tres zonas en estudio, con el fin de obtener las mismas condiciones de tráfico en el diseño.

8.5.2 Cálculo de espesores por Zona y por Aditivo

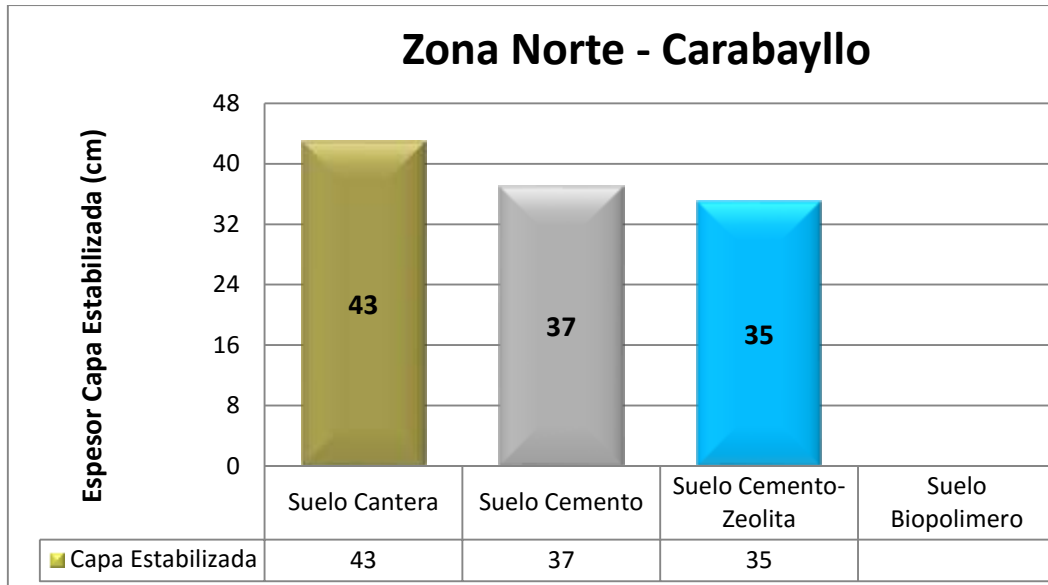
Se realizó el cálculo de espesores con los métodos AASTHO 1993 Y NAASRA, a continuación se muestra un gráfico comparativo por cada zona.

Para la Zona Norte, los diseños con material de cantera requirió un espesor de 43 cm y suelo estabilizado con cemento requirió un espesor de 37 cm, mientras que con el diseño del suelo estabilizado con cemento y zeolita requirió un espesor de 35 cm gracias al incremento de la resistencia a compresión que aportó la zeolita (Gráfico 8-6).

Respecto la estabilización con biopolímero, no se efectuó el diseño debido al bajo desempeño que presentó el aditivo, tal como se menciona en el Cap. 7.

A) Método de Diseño AASTHO

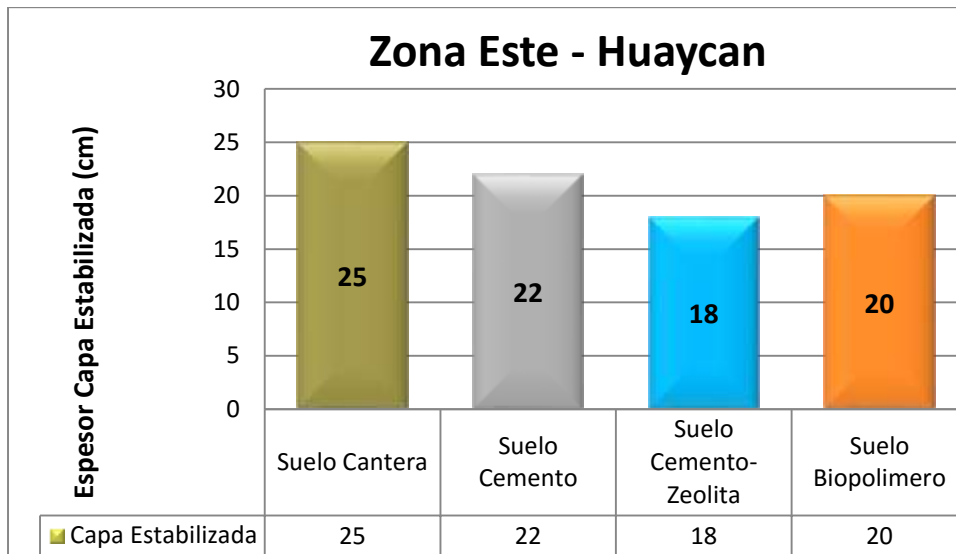
Gráfico 8- 6: Espesores de la Capa Estabilizada (METODO AASTHO) – Norte



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 8-7 se observa en la Zona Este, presentó un CBR de sub-rasante muy bueno, reduciendo los espesores en comparación con los requeridos en la zona Norte.

Gráfico 8- 7: Espesores de la Capa Estabilizada (METODO AASTHO) – Este



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 8-8 se observa en la Zona Sur, corresponde a un suelo SP según la clasificación SUCS, demandando un mayor contenido de aditivo tal como se evidenció en el capítulo 7; los resultados con el biopolímero fueron deficientes para la capacidad de soporte requerida, es por ello que no se realizó el diseño.

Gráfico 8- 8: Espesores de la Capa Estabilizada (METODO AASTHO) - Sur



Fuente: Elaboración Propia

B) Método de Diseño NAASRA

En los siguientes gráficos (8-9, 8-10,8-11) muestra los resultados de los diseños con el método NAASRA, como este método se basa en la capacidad portante del suelo de fundación no hay variedad de espesor para los métodos estudiados.

Gráfico 8- 9: Espesores de la Capa Estabilizada (METODO NAASRA)- Norte



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 8- 10: Espesores de la Capa Estabilizada (METODO NAASRA) – Este



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 8- 11: Espesores de la Capa Estabilizada (METODO NAASRA) – Sur



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE COSTOS

9.1 Objetivo

Determinar el costo de cada tipo de suelo estabilizado para cada combinación del suelo natural con cada uno de los 3 estabilizadores empleados en la investigación, siendo el metro cuadrado ($1m^2$) como unidad de medida para estimar los costos.

9.2 Antecedentes

Para encarar la solución de los problemas sociales y económicos de la ciudad de Lima, y en particular para mejorar la calidad de vida de los pobladores ubicados en distritos periféricos, mejorando los tiempos de transporte rumbo a sus centros de labores y en el retorno a sus hogares, el Estado ha fijado metas concretas para lo cual ha adoptado políticas que incluyen objetivos a corto, mediano y largo plazo, dentro del marco de la descentralización. Una de estas políticas de descentralización consiste en incrementar la inversión en la rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura de transporte que haga posible un cambio en la calidad de vida de los pobladores.

Para concretar la realización de estos objetivos, se tiene previsto realizar inversiones significativas en carreteras y caminos no solamente comprendidos en la red Nacional, sino también en las vías pertenecientes a la red Departamental y a la red Vecinal, a cargo del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Descentralizado, monitoreado por PROVIAS DESCENTRALIZADO.

9.3 Generalidades

Ante una demanda de vías en mejor estado para un tránsito fluido y que brinde confort para los conductores, se proponen soluciones las cuales requieren montos de inversión elevados para la baja demanda de vehículos que transitaran en estas vías. La investigación plantea posibles soluciones para vías donde los costos de construcción de una vía asfaltada no se justifican con los beneficios que se obtendrán. Una alternativa de

solución que se plantea es el uso de estabilizadores químicos en el suelo in-situ de cada zona con el fin de reducir los costos.

Determinando el porcentaje de participación de cada estabilizador con el suelo de cada zona y determinando tanto los valores de Compresión Simple y valores de CBR de los suelos mezclados con los diferentes estabilizadores; se realiza el diseño estructural para cada uno de los suelos estabilizados, obteniendo el espesor en metros que satisfagan la demanda del tráfico y el costo de ejecución, decisión que depende no solo del análisis técnico sino también de un análisis de costos y ver cuán beneficiosa podría resultarnos dicha elección. Elección muchas veces mal realizada, reflejándose ello, en las malas condiciones de servicio que presentan las vías antes de cumplir con el periodo de vida útil a la cual fueron diseñadas.

Para fines prácticos en el análisis de costos que se presenta en el capítulo, solo se presentan partidas específicas para realizar el proceso de conformación de la capa, no se considera costos indirectos, llámense gastos fijos y variables que se requiere al momento de realizar un presupuesto para tal partida, tampoco obras provisionales, ni preliminares.

El análisis de costos de la investigación solo considera el valor de los insumos del material a emplear para la construcción de la c estabilizada, los índices de rendimiento de la mano de obra, equipos y un porcentaje del costo de herramientas manuales. Los rendimientos utilizados en el análisis de precio unitario se extrajeron de experiencias de obras ya realizadas, también se tomó como referencia el libro “Costos y tiempos en Carreteras” de Walter Ibáñez.

9.4 Procedimiento

Conociendo el precio actual de los estabilizadores, los cuales son: Cemento Portland, Zeolita y Biopolímero; así como también los precios de la mano de obra, equipos y determinado el espesor de la capa estabilizada para cada zona en estudio obtenidos en el capítulo VIII, se realiza el Análisis de Precios Unitarios para cada tipo de estabilizador aplicado en cada zona, finalmente se realiza un comparativo de los costos más factibles

de cada zona. Los análisis de costos se realizan en base a los rendimientos y los precios de los recursos, publicados en la Revista Constructivo edición Diciembre del 2014.

9.5 Análisis de Precios Unitarios

El análisis se realiza en base a los costos unitarios del suelo estabilizado con Cemento, Zeolita y Biopolímero, presentado en los cuadros de resultados, de acuerdo a espesores de diseño obtenidos mediante el Método AASTHO y NAASRA.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis de precio unitario para el suelo natural y suelos estabilizados con los aditivos cemento, zeolita y biopolímero, para cada una de las zonas en estudio Huaycán, Carabayllo y Las Praderas de Lurín.

Para las tres zonas se consideró los siguientes precios unitarios:

| Partida | | Extracción y Apilamiento | | | |
|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| | | MO | EQ | | |
| Rendimiento | (m3/día) | 810.00 | 810.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.010 | 19.44 | 0.19 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.010 | 17.44 | 0.17 |
| Peón | hh | 4.00 | 0.040 | 12.13 | 0.48 |
| | | | | | 0.84 |
| Equipos | | | | | |
| Tractor | hm | 1.00 | 0.012 | 170.33 | 2.10 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.843 | 0.025 |
| | | | | | 2.13 |
| Total | | | | | 2.97 |

| Partida | | Carguío | | | | |
|--------------------------------|----------------|------------------|-----------------|---------------------|----------------------|------|
| | | MO | | EQ | | |
| Rendimiento | (m/día) | 1,040.00 | | 1,040.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.008 | 17.44 | 0.13 | 0.13 |
| Equipos | | | | | | |
| Cargador frontal 950B,2.4 yd3 | hm | 1.00 | 0.010 | 197.58 | 1.90 | 1.90 |
| Total | | | | | 2.03 | |

| Partida | | Transporte a Obra | | | | |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|------|
| | | MO | | EQ | | |
| Rendimiento | (m3/día) | 239.00 | | 239.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.033 | 17.44 | 0.58 | 0.58 |
| Equipos | | | | | | |
| Volquete 10 m3 | hm | 1.00 | 0.042 | 188.87 | 7.90 | 7.90 |
| Total | | | | | 8.49 | |

| Partida | | Corte de material suelto | | | | |
|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|------|
| | | MO | | EQ | | |
| Rendimiento | (m2/día) | 300.00 | | 300.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.20 | 0.005 | 19.44 | 0.10 | |
| Operador | hh | 1.00 | 0.027 | 15.50 | 0.41 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.027 | 17.44 | 0.47 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.160 | 12.13 | 1.94 | 2.92 |
| Equipos | | | | | | |
| Tractor | hm | 1.00 | 0.027 | 170.00 | 4.533 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 5.000 | 2.923 | 0.146 | 4.68 |
| Total | | | | | 7.60 | |

| Partida | | Perfilado y compactación de la Sub-Rasante | | | | |
|--------------------------------|----------|--|----------|--------------|---------------|--|
| Rendimiento | (m2/día) | MO | | EQ | | |
| | | 1,400.00 | | 1,400.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.80 | 0.005 | 19.44 | 0.09 | |
| Peón | hh | 4.00 | 0.023 | 12.13 | 0.28 | |
| | | | | | 0.37 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 1.00 | 0.007 | 133.85 | 0.96 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.007 | 125.29 | 0.89 | |
| Rodillo Liso | hm | 6.00 | 0.043 | 136.92 | 5.87 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.366 | 0.011 | |
| | | | | | 7.73 | |
| Total | | | | | 8.10 | |

- Precios Unitarios determinados con los espesores obtenidos del Método AASTHO

a) Zona Norte: Carabayllo

| Partida | | Capa Granular - Afirmado | | | | |
|--------------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------|---------------|--------|
| Rendimiento | (m2/día) | MO | | EQ | e | 0.43 m |
| | | 1,500.00 | | 1,500.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.10 | 0.001 | 19.44 | 0.01 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.005 | 17.44 | 0.09 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.032 | 12.13 | 0.39 | |
| | | | | | 0.49 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | 0.559 | 63.00 | 35.22 | |
| | | | | | 35.22 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.004 | 133.85 | 0.54 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.007 | 125.29 | 0.84 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.004 | 136.92 | 0.55 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.004 | 137.92 | 0.55 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.492 | 0.015 | |
| | | | | | 2.48 | |
| Total | | | | | 38.19 | |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento | | | | | |
|---|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| | MO | | EQ | e = | 0.37 m |
| Rendimiento (m2/día) | 1,200.00 | | 1,200.000 | %Cemento | 7.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 |
| Peón | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 |
| | | | | | 0.73 |
| Materiales | | | | | |
| Material granular | m3 | | | 63.00 | - |
| Cemento | kg | | 43.771 | 0.47 | 20.57 |
| | | | | | 20.57 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 |
| | | | | | 3.11 |
| Total | | | | | 24.41 |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento - zeolita | | | | | |
|---|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| | MO | | EQ | e = | 0.35 m |
| Rendimiento (m2/día) | 1,200.00 | | 1,200.000 | % Cemento | 5.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 |
| Peón | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 |
| | | | | | 0.73 |
| Materiales | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 20.00 | - |
| Cemento | kg | | 29.575 | 0.47 | 13.90 |
| Zeolita | kg | | 0.296 | 84.26 | 24.92 |
| | | | | | 38.82 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 |
| | | | | | 3.11 |
| Total | | | | | 42.66 |

b) Zona Este: Huaycán

| Partida | | Capa Granular - Afirmado | | | | |
|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|---------------------|----------------------|--|
| Rendimiento (m2/día) | MO | EQ | | e | 0.25 m | |
| | 1,500.00 | | 1,500.000 | | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.10 | 0.001 | 19.44 | 0.01 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.005 | 17.44 | 0.09 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.032 | 12.13 | 0.39 | |
| | | | | | 0.49 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | 0.325 | 63.00 | 20.48 | |
| | | | | | 20.48 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.004 | 133.85 | 0.54 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.007 | 125.29 | 0.84 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.004 | 136.92 | 0.55 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.004 | 137.92 | 0.55 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.492 | 0.015 | |
| | | | | | 2.48 | |
| Total | | | | | 23.45 | |

| Partida | | Base Granular Estabilizado con cemento | | | | |
|--------------------------------|-----------------|---|------------------|---------------------|----------------------|--|
| Rendimiento (m2/día) | MO | EQ | | e = | 0.22 m | |
| | 1,200.00 | | 1,200.000 | %Cemento | 5.00 | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 | |
| | | | | | 0.73 | |
| Materiales | | | | | | |
| Cemento | kg | | 19.800 | 0.47 | 9.31 | |
| | | | | | 9.31 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 | |
| | | | | | 3.11 | |
| Total | | | | | 13.15 | |

| Partida | | Base Granular Estabilizado con cemento - zeolita | | | | |
|--------------------------------|----------|--|----------|--------------|---------------|--------|
| | | MO | | EQ | e = | 0.18 m |
| Rendimiento | (m2/día) | 1,200.00 | | 1,200.000 | % Cemento | 3.00 |
| | | | | | % Zeolita | 1.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 | |
| | | | | | 0.73 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 20.00 | - | |
| Cemento | kg | | 9.720 | 0.47 | 4.57 | |
| Zeolita | kg | | 0.097 | 84.26 | 8.19 | |
| | | | | | 12.76 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 | |
| | | | | | 3.11 | |
| Total | | | | | 16.60 | |

| Partida | | Base Granular Estabilizado con biopolímero | | | | |
|--------------------------------|----------|--|----------|--------------|---------------|--------|
| | | MO | | EQ | e = | 0.20 m |
| Rendimiento | (m2/día) | 2,000.00 | | 2,000.000 | Biopolímero | 1 : 5 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.004 | 19.44 | 0.08 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.004 | 17.44 | 0.07 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.024 | 12.13 | 0.29 | |
| | | | | | 0.44 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 20.00 | - | |
| Biopolímero | lt | | 3.720 | 3.00 | 11.16 | |
| | | | | | 11.16 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.003 | 133.85 | 0.40 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 H | hm | 1.00 | 0.005 | 125.29 | 0.63 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.003 | 136.92 | 0.41 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.003 | 137.92 | 0.41 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.439 | 0.013 | |
| | | | | | 1.87 | |
| Total | | | | | 13.46 | |

c) Zona Sur: Lurín

| Partida Capa Granular - Afirmado | | | | | |
|---|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| Rendimiento (m2/día) | MO | | EQ | e | 0.26 m |
| | 1,200.00 | | 1,200.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.10 | 0.001 | 19.44 | 0.01 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 |
| Peón | hh | 4.00 | 0.027 | 12.13 | 0.32 |
| | | | | | 0.45 |
| Materiales | | | | | |
| Material granular | m3 | | 0.338 | 63.00 | 21.29 |
| | | | | | 21.29 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.453 | 0.014 |
| | | | | | 3.10 |
| Total | | | | | 24.85 |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento | | | | | |
|---|--------|-----------|----------|--------------|---------------|
| Rendimiento (m2/día) | MO | | EQ | e = | 0.25 m |
| | 880.00 | | 880.000 | %Cemento | 10.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.009 | 19.44 | 0.18 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.009 | 17.44 | 0.16 |
| Peón | hh | 6.00 | 0.055 | 12.13 | 0.66 |
| | | | | | 1.00 |
| Materiales | | | | | |
| Cemento | kg | | 40.750 | 0.47 | 19.15 |
| | | | | | 19.15 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.007 | 133.85 | 0.91 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.011 | 125.29 | 1.42 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.007 | 136.92 | 0.93 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.007 | 137.92 | 0.94 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.997 | 0.030 |
| | | | | | 4.24 |
| Total | | | | | 24.39 |

| Partida | | Base Granular Estabilizado con cemento - zeolita | | | | |
|---------------------------------|----------|--|----------|--------------|---------------|--------|
| | | MO | | EQ | e = | 0.20 m |
| Rendimiento | (m2/día) | 880.00 | | 880.000 | % Cemento | 9.00 |
| | | | | | % Zeolita | 1.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.009 | 19.44 | 0.18 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.009 | 17.44 | 0.16 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.055 | 12.13 | 0.66 | |
| | | | | | 1.00 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 20.00 | - | |
| Cemento | kg | | 29.340 | 0.47 | 13.79 | |
| Zeolita | kg | | 0.293 | 84.26 | 24.72 | |
| | | | | | 38.51 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.007 | 133.85 | 0.91 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.011 | 125.29 | 1.42 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.007 | 136.92 | 0.93 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.007 | 137.92 | 0.94 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.997 | 0.030 | |
| | | | | | 4.24 | |
| Total | | | | | 43.75 | |

- Precios Unitarios determinados con los espesores obtenidos del Método NAASRA

a) Zona Norte: Carabayllo

| Partida Capa Granular - Afirmado - NAASRA | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| | MO | | EQ | e | 0.35 m |
| Rendimiento (m2/día) | 1,500.00 | | 1,500.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.10 | 0.001 | 19.44 | 0.01 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.005 | 17.44 | 0.09 |
| Peón | hh | 6.00 | 0.032 | 12.13 | 0.39 |
| | | | | | 0.49 |
| Materiales | | | | | |
| Material granular | m3 | | 0.455 | 63.00 | 28.67 |
| | | | | | 28.67 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.004 | 133.85 | 0.54 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.007 | 125.29 | 0.84 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.004 | 136.92 | 0.55 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.004 | 137.92 | 0.55 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.492 | 0.015 |
| | | | | | 2.48 |
| Total | | | | | 31.64 |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento - NAASRA | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| | MO | | EQ | e = | 0.35 m |
| Rendimiento (m2/día) | 1,200.00 | | 1,200.000 | %Cemento | 7.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 |
| Peón | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 |
| | | | | | 0.73 |
| Materiales | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 63.00 | - |
| Cemento | kg | | 41.405 | 0.47 | 19.46 |
| | | | | | 19.46 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 |
| | | | | | 3.11 |
| Total | | | | | 23.30 |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento - zeolita - NAASRA | | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-----------------|---------------------|----------------------|---------------|
| | | MO | | EQ | e = | 0.35 m |
| Rendimiento | (m2/día) | 1,200.00 | | 1,200.000 | % Cemento | 5.00 |
| | | | OCH | 13.00% | % Zeolita | 1.00 |
| | | | | | Pe suelo | 1,690.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 | |
| | | | | | 0.73 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 20.00 | - | |
| Cemento | kg | | 29.575 | 0.47 | 13.90 | |
| Zeolita | kg | | 0.296 | 84.26 | 24.92 | |
| | | | | | 38.82 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 | |
| | | | | | 3.11 | |
| Total | | | | | | 42.66 |

b) Zona Este: Huaycán

| Partida Capa Granular - Afirmado - NAASRA | | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|--|
| Rendimiento (m2/día) | MO | EQ | | e | 0.10 m | |
| | 1,500.00 | | 1,500.000 | | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S./) | Parcial (S./) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.10 | 0.001 | 19.44 | 0.01 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.005 | 17.44 | 0.09 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.032 | 12.13 | 0.39 | |
| | | | | | 0.49 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | 0.130 | 63.00 | 8.19 | |
| | | | | | 8.19 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.004 | 133.85 | 0.54 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.007 | 125.29 | 0.84 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.004 | 136.92 | 0.55 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.004 | 137.92 | 0.55 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.492 | 0.015 | |
| | | | | | 2.48 | |
| Total | | | | | 11.17 | |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento - NAASRA | | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|--|
| Rendimiento (m2/día) | MO | EQ | | e = | 0.10 m | |
| | 1,200.00 | | 1,200.000 | %Cemento | 5.00 | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S./) | Parcial (S./) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 | |
| | | | | | 0.73 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 63.00 | - | |
| Cemento | kg | | 9.000 | 0.47 | 4.23 | |
| | | | | | 4.23 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 | |
| | | | | | 3.11 | |
| Total | | | | | 8.07 | |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento - zeolita - NAASRA | | | | | | |
|--|----------|----------|-----------|-----------|---------------|----------------|
| | | MO | | EQ | e = | 0.10 m |
| Rendimiento | (m2/día) | 1,200.00 | | 1,200.000 | % Cemento | 3.00 |
| | | | | | % Zeolita | 1.00 |
| Descripción del recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S./.) | Parcial (S./.) |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 |
| Oficial | | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 |
| Peón | | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 |
| | | | | | | 0.73 |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | | m3 | | - | 20.00 | - |
| Cemento | | kg | | 5.400 | 0.47 | 2.54 |
| Zeolita | | kg | | 0.054 | 84.26 | 4.55 |
| | | | | | | 7.09 |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 |
| Rodillo Liso Vibratorio | | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 |
| Rodillo neumático | | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 |
| Herramientas manuales | | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 |
| | | | | | | 3.11 |
| Total | | | | | | 10.93 |

| Partida Base Granular Estabilizado con biopolímero - NAASRA | | | | | | |
|--|----------|----------|-----------|-----------|---------------|----------------|
| | | MO | | EQ | e = | 0.10 m |
| Rendimiento | (m2/día) | 2,000.00 | | 2,000.000 | Biopolímero | 1 : 5 |
| Descripción del recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S./.) | Parcial (S./.) |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | | hh | 1.00 | 0.007 | 19.44 | 0.13 |
| Oficial | | hh | 1.00 | 0.007 | 17.44 | 0.12 |
| Peón | | hh | 6.00 | 0.040 | 12.13 | 0.49 |
| | | | | | | 0.73 |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | | m3 | | - | 20.00 | - |
| Biopolímero | | lt | | 1.860 | 3.00 | 5.58 |
| | | | | | | 5.58 |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | | hm | 0.60 | 0.005 | 133.85 | 0.67 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | | hm | 1.00 | 0.008 | 125.29 | 1.04 |
| Rodillo Liso Vibratorio | | hm | 0.60 | 0.005 | 136.92 | 0.68 |
| Rodillo neumático | | hm | 0.60 | 0.005 | 137.92 | 0.69 |
| Herramientas manuales | | MO% | | 3.000 | 0.731 | 0.022 |
| | | | | | | 3.11 |
| Total | | | | | | 9.42 |

c) Zona Sur: Lurín

| Partida Capa Granular - Afirmado - NAASRA | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| Rendimiento (m2/día) | MO | | EQ | e | 0.12 m |
| | 1,400.00 | | 1,400.000 | | |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 0.10 | 0.001 | 19.44 | 0.01 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.006 | 17.44 | 0.10 |
| Peón | hh | 6.00 | 0.034 | 12.13 | 0.42 |
| | | | | | 0.53 |
| Materiales | | | | | |
| Material granular | m3 | | 0.120 | 63.00 | 7.56 |
| | | | | | 7.56 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.004 | 133.85 | 0.57 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.007 | 125.29 | 0.89 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.004 | 136.92 | 0.59 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.004 | 137.92 | 0.59 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.527 | 0.016 |
| | | | | | 2.66 |
| Total | | | | | 10.75 |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento - NAASRA | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|--------------|---------------|
| Rendimiento (m2/día) | MO | | EQ | e = | 0.12 m |
| | 880.00 | | 880.000 | %Cemento | 10.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.009 | 19.44 | 0.18 |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.009 | 17.44 | 0.16 |
| Peón | hh | 6.00 | 0.055 | 12.13 | 0.66 |
| | | | | | 1.00 |
| Materiales | | | | | |
| Material granular | m3 | | 0.156 | 63.00 | 9.83 |
| Cemento | kg | | 19.560 | 0.47 | 9.19 |
| | | | | | 19.02 |
| Equipos | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.007 | 133.85 | 0.91 |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.011 | 125.29 | 1.42 |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.007 | 136.92 | 0.93 |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.007 | 137.92 | 0.94 |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.997 | 0.030 |
| | | | | | 4.24 |
| Total | | | | | 24.26 |

| Partida Base Granular Estabilizado con cemento - zeolita - NAASRA | | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-----------------|---------------------|----------------------|---------------|
| | | MO | | EQ | e = | 0.12 m |
| Rendimiento | (m2/día) | 880.00 | | 880.000 | % Cemento | 9.00 |
| | | | | | % Zeolita | 1.00 |
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Mano de Obra | | | | | | |
| Capataz A | hh | 1.00 | 0.009 | 19.44 | 0.18 | |
| Oficial | hh | 1.00 | 0.009 | 17.44 | 0.16 | |
| Peón | hh | 6.00 | 0.055 | 12.13 | 0.66 | |
| | | | | | 1.00 | |
| Materiales | | | | | | |
| Material granular | m3 | | - | 20.00 | - | |
| Cemento | kg | | 17.604 | 0.47 | 8.27 | |
| Zeolita | kg | | 0.176 | 84.26 | 14.83 | |
| | | | | | 23.11 | |
| Equipos | | | | | | |
| Motoniveladora 125 hp | hm | 0.60 | 0.007 | 133.85 | 0.91 | |
| Camión Cisterna 4x2 Agua 122 HP | hm | 1.00 | 0.011 | 125.29 | 1.42 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.60 | 0.007 | 136.92 | 0.93 | |
| Rodillo neumático | hm | 0.60 | 0.007 | 137.92 | 0.94 | |
| Herramientas manuales | MO% | | 3.000 | 0.997 | 0.030 | |
| | | | | | 4.24 | |
| Total | | | | | | 28.34 |

9.6 Presupuesto:

El presupuesto se realizó conforme a los precios unitarios descritos líneas arriba. El presupuesto se ha calculado para una vía de 4 metros de ancho y 1000 metros longitudinales. Se ha realizado un presupuesto para cada tipo de zona Huaycán, Carabayllo y Las Praderas de Lurín. El aditivo que no dio resultados favorables, no se le ha realizado análisis de presupuesto alguno.

a) Zona Norte: Carabayllo

a.1) Método AASTHO

Presupuesto Afirmado

e 0.43 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Extracción y apilamiento | m3 | 2,150.00 | 2.97 | 6,388.94 |
| 3.00 | Carguío | m | 1,500.00 | 2.03 | 3,050.94 |
| 4.00 | Transporte a Obra | m3 | 2,150.00 | 8.49 | 18,245.49 |
| 5.00 | Corte de material suelto | m3 | 2,150.00 | 7.13 | 15,323.50 |
| 6.00 | Afirmado | m2 | 4,000.00 | 38.19 | 152,773.26 |
| Total (Soles) | | | | | 228,166.57 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento

e 0.37 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,850.00 | 7.13 | 13,185.34 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento | m2 | 4,000.00 | 24.41 | 97,651.61 |
| Total (Soles) | | | | | 143,221.38 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento - zeolita

e 0.35 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,750.00 | 7.13 | 12,472.62 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento - zeolita | m2 | 4,000.00 | 42.66 | 170,642.71 |
| Total (Soles) | | | | | 215,499.76 |

a.2) Método NAASRA

Presupuesto Afirmado

| Item | Descripción | und | Metrado | e 0.35 m | |
|----------------------|---|-----|----------|----------|-------------------|
| | | | | P.U | Parcial |
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Extracción y apilamiento | m3 | 1,750.00 | 2.97 | 5,200.30 |
| 3.00 | Carguío | m | 1,500.00 | 2.03 | 3,050.94 |
| 4.00 | Transporte a Obra | m3 | 1,750.00 | 8.49 | 14,850.98 |
| 5.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,750.00 | 7.13 | 12,477.50 |
| 6.00 | Afirmado | m2 | 4,000.00 | 31.64 | 126,565.26 |
| Total (Soles) | | | | | 194,529.42 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento

| Item | Descripción | und | Metrado | e 0.35 m | |
|----------------------|---|-----|----------|----------|-------------------|
| | | | | P.U | Parcial |
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,750.00 | 7.13 | 12,477.50 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento | m2 | 4,000.00 | 23.30 | 93,203.53 |
| Total (Soles) | | | | | 138,065.47 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento - zeolita

| Item | Descripción | und | Metrado | e 0.35 m | |
|----------------------|---|-----|----------|----------|-------------------|
| | | | | P.U | Parcial |
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,750.00 | 7.13 | 12,477.50 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento - zeolita | m2 | 4,000.00 | 42.66 | 170,642.71 |
| Total (Soles) | | | | | 215,504.65 |

Gráfico 9- 1: Comparativo del presupuesto con el Método AASTHO y NAASRA - Norte



En el gráfico 9-1 se puede apreciar que el pavimento con menor costo es la estabilización con cemento con un espesor de 0.37 m por el método AASTHO y 0.35 m por el método NAASRA. También se puede apreciar la diferencia del costo entre el método AASTHO y NAASRA.

b) Zona Este: Huaycán

b.1) Método AASTHO

Presupuesto Afirmado

e = 0.25 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Extracción y apilamiento | m3 | 1,250.00 | 2.97 | 3,714.50 |
| 3.00 | Carguío | m | 1,500.00 | 2.03 | 3,050.94 |
| 4.00 | Transporte a Obra | m3 | 1,250.00 | 8.49 | 10,607.85 |
| 5.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,250.00 | 7.60 | 9,502.95 |
| 6.00 | Afirmado | m2 | 4,000.00 | 23.45 | 93,805.26 |
| Total (Soles) | | | | | 153,065.93 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento

e = 0.22 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,100.00 | 7.60 | 8,362.59 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento | m2 | 4,000.00 | 13.15 | 52,586.13 |
| Total (Soles) | | | | | 93,333.16 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento - zeolita

e = 0.18 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 900.00 | 7.60 | 6,842.12 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento - zeolita | m2 | 4,000.00 | 16.60 | 66,396.02 |
| Total (Soles) | | | | | 105,622.58 |

Presupuesto Capa estabilizada con biopolímero

e = 0.20 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,000.00 | 7.60 | 7,602.36 |
| 3.00 | Capa estabilizada con biopolímero | m2 | 4,000.00 | 13.46 | 53,857.28 |
| Total (Soles) | | | | | 93,844.07 |

b.2) Método NASSRA

Presupuesto Afirmado

e = 0.10 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Extracción y apilamiento | m3 | 500.00 | 2.97 | 1,485.80 |
| 3.00 | Carguío | m | 1,500.00 | 2.03 | 3,050.94 |
| 4.00 | Transporte a Obra | m3 | 500.00 | 8.49 | 4,243.14 |
| 5.00 | Corte de material suelto | m3 | 500.00 | 7.60 | 3,800.00 |
| 6.00 | Afirmado | m2 | 4,000.00 | 11.17 | 44,665.26 |
| Total (Soles) | | | | | 89,629.58 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento

e = 0.10 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|------|------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 500.00 | 7.60 | 3,800.00 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento | m2 | 4,000.00 | 8.07 | 32,282.13 |
| Total (Soles) | | | | | 68,466.57 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento - zeolita

e = 0.10 m

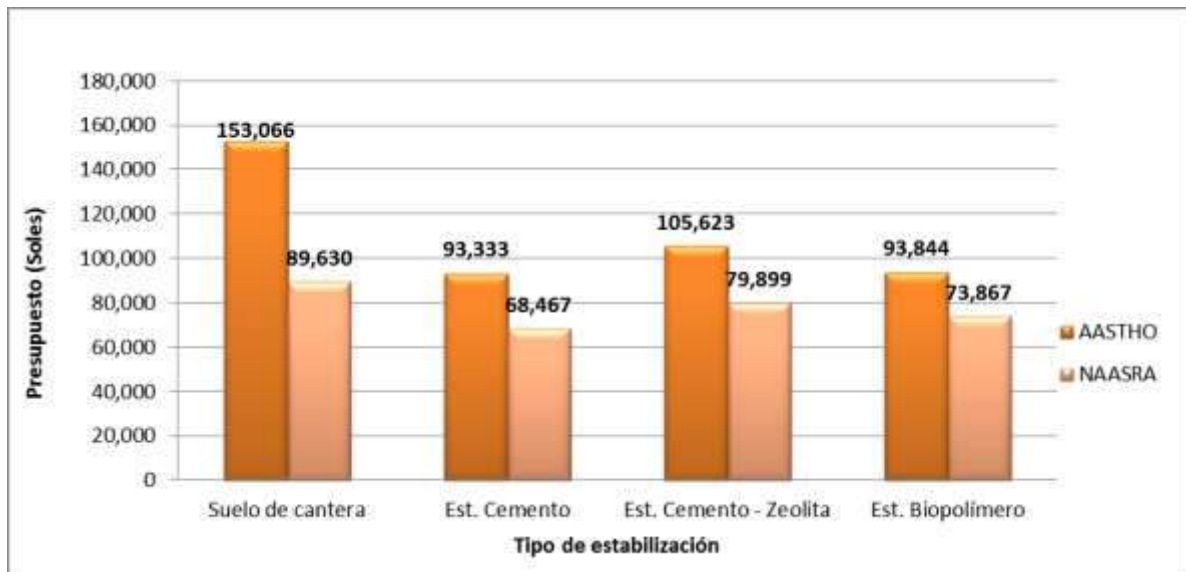
| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 500.00 | 7.60 | 3,800.00 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento - zeolita | m2 | 4,000.00 | 10.93 | 43,714.29 |
| Total (Soles) | | | | | 79,898.73 |

Presupuesto Capa estabilizada con biopolímero

e = 0.10 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|------|------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 500.00 | 7.60 | 3,800.00 |
| 3.00 | Capa estabilizada con biopolímero | m2 | 4,000.00 | 9.42 | 37,682.13 |
| Total (Soles) | | | | | 73,866.57 |

Gráfico 9- 2: Comparativo del presupuesto con el Método AASTHO y NAASRA – Este



En el gráfico 9-2 se puede apreciar que el pavimento con menor costo es la estabilización con biopolímero con un espesor de 0.20 m por el método AASTHO y 0.10 m por el método NAASRA. También se puede apreciar la diferencia del costo entre el método AASTHO y NAASRA.

c) Zona Sur: Lurín

c.1) Método AASTHO

Presupuesto Afirmado

e = 0.26 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Extracción y apilamiento | m3 | 1,300.00 | 2.97 | 3,863.08 |
| 3.00 | Carguío | m | 1,500.00 | 2.03 | 3,050.94 |
| 4.00 | Transporte a Obra | m3 | 1,300.00 | 8.49 | 11,032.16 |
| 5.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,300.00 | 6.52 | 8,471.20 |
| 6.00 | Afirmado | m2 | 4,000.00 | 24.85 | 99,391.23 |
| Total (Soles) | | | | | 158,193.05 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento

e = 0.25 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,250.00 | 6.52 | 8,145.38 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento | m2 | 4,000.00 | 24.39 | 97,558.36 |
| Total (Soles) | | | | | 138,088.18 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento - zeolita

e = 0.20 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 1,000.00 | 6.52 | 6,516.31 |
| 3.00 | Capa estabilizada con cemento - zeolita | m2 | 4,000.00 | 43.75 | 174,995.09 |
| Total (Soles) | | | | | 213,895.84 |

c.2) Método NASSRA

Presupuesto Afirmado

e = 0.12 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Extracción y apilamiento | m3 | 600.00 | 2.97 | 1,782.96 |
| 3.00 | Carguío | m | 1,500.00 | 2.03 | 3,050.94 |
| 4.00 | Transporte a Obra | m3 | 600.00 | 8.49 | 5,091.77 |
| 5.00 | Corte de material suelto | m3 | 600.00 | 6.52 | 3,912.00 |
| 6.00 | Afirmado | m2 | 4,000.00 | 10.75 | 42,995.63 |
| Total (Soles) | | | | | 89,217.74 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento

e = 0.12 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 600.00 | 6.52 | 3,912.00 |
| 5.00 | Capa estabilizada con cemento | m2 | 4,000.00 | 24.26 | 97,033.16 |
| Total (Soles) | | | | | 133,329.59 |

Presupuesto Capa estabilizada con cemento - zeolita

e = 0.12 m

| Item | Descripción | und | Metrado | P.U | Parcial |
|----------------------|---|-----|----------|-------|-------------------|
| 1.00 | Perfilado y compactación de la Subrasante | m2 | 4,000.00 | 8.10 | 32,384.44 |
| 2.00 | Corte de material suelto | m3 | 600.00 | 6.52 | 3,912.00 |
| 2.00 | Capa estabilizada con cemento - zeolita | m2 | 4,000.00 | 28.34 | 113,376.40 |
| Total (Soles) | | | | | 149,672.84 |

Gráfico 9- 3: Comparativo del presupuesto con el Método de diseño AASTHO y NAASRA – Sur



En el gráfico 9-3 se puede apreciar que el pavimento con menor costo es el afirmado con un espesor de 0.26 m por el método AASTHO y 0.12 m por el método NAASRA. También se puede apreciar la diferencia del costo entre el método AASTHO y NAASRA.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

1. Los distritos seleccionados por cada zona, presentaron diferentes granulometrías permitiendo un análisis comparativo entre las diferentes características físico-mecánicas de cada suelo. Los suelos encontrados se clasifican según AASHTO y SUCS de la siguiente forma:
 - Zona Norte: Carabaylo, AASHTO A-4₍₀₎ y según el sistema SUCS este tipo de suelo representa limos orgánicos de baja plasticidad (ML).
 - Zona Este: Huaycán, AASHTO A-1-b₍₀₎ y según el sistema SUCS este tipo de suelo representa a gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos (GP).
 - Zona Sur: Lurín, AASHTO A-3₍₀₎ y según el sistema SUCS este tipo de suelo representa una arena pobremente graduada con poco o nada de finos (SP).
2. La utilización de material de cantera para la estabilización de suelos o vías a nivel de afirmado hacen que el costo de la construcción de carreteras aumente, es por esto que la utilización de aditivos químicos hace posible la utilización de los suelos in-situ. Los aditivos químicos fortalecen propiedades que los suelos necesitan para que tengan una resistencia adecuada para que sean utilizados como materiales de construcción.
3. Según los ensayos de consistencia, el suelo de Carabaylo presentó un índice plástico de 6.46%, mientras que para los otros tipos de suelo, Huaycán y Lurín, no presentan límite líquido y límite plástico.
4. Las estabilizaciones de suelos propuestas se enfocan en zonas donde la presencia de lluvia es baja o nula. El ensayo CBR empleado para los suelos en estudio, exigió sumergir en agua los moldes con el suelo compactado, esta acción refleja el suelo en su peor condición; sin embargo, para las zonas evaluadas esta situación no se presentará, por lo que el desempeño de la capa estabilizada será superior a lo esperado según el ensayo.
5. El suelo de la zona Huaycán es un suelo que tiene una plasticidad nula, es por esto que el aditivo más adecuado para este tipo de suelo es el biopolímero ya que por sus características de aglomeración de partículas hace que el suelo de Huaycán mejore la adherencia y por ende mejorando su capacidad de soporte; en el ensayo de CBR de la mezcla suelo biopolímero con una dosificación 1:5 se obtuvo un CBR de 120% (0.2”), a diferencia del suelo natural con un CBR de 48%(0.2”).
6. Los resultados de los ensayos de CBR y compresión simple de la mezcla Arena Limosa – Biopolímero y la mezcla Limo de baja plasticidad – Biopolímero no

alcanzó los parámetros mínimos que indica la tabla 7-1 (Especificaciones técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros) para la aceptación del aditivo.

7. Los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple para las mezclas de suelo cemento y suelo cemento – zeolita de acuerdo al contenido óptimo de cada uno de ellos son los siguientes: 28 kg/cm² para el suelo cemento (7%) y 32 kg/cm² para suelo cemento (5%) – zeolita (1%), 4 kg/cm² para suelo natural correspondiente a la zona Norte (Carabayllo); 25 kg/cm² para el suelo cemento (5%) y 34 kg/cm² para suelo cemento (3%) – zeolita (1%), 2 kg/cm² para suelo natural correspondiente a la zona Este (Huaycán); 19 kg/cm² para suelo cemento (10%) y 21 kg/cm² para suelo cemento (9%) – zeolita (1%), 0.58 kg/cm² para suelo natural correspondiente a la zona Sur (Lurín).
8. Aplicando el método AASTHO para el diseño de pavimentos de bajo volumen de tránsito, se realizó el diseño con las diferentes mezclas de aditivos, destacando la mezcla suelo cemento zeolita que logró reducir el espesor de pavimento a: 35 cm para la Zona Norte (Carabayllo), 18 cm para la Zona Este (Huaycán) y 20 cm para la Zona Sur (Lurín).
9. Aplicando el método NAASRA se obtuvieron los siguientes espesores: 35 cm para la zona Norte, 10 cm para la zona Este, 12 cm para la zona Sur. Considerando que para este método solo se considera las características de la sub rasante.
10. Los presupuestos que se han presentado se elaboraron en función a los espesores obtenidos con el método AASTHO y NAASRA. La estabilización con suelo cemento presentó el presupuesto más económico para la zona Norte y Este, en la zona Norte fue S/.141,000 por 1 km de carretera diseñado con el método AASTHO, S/.136,000 por 1 km de carretera con el método NAASRA, para la zona Este fue S/.93,000 por 1 km de carretera con el método AASTHO, S/.68,000 por 1 km de carretera con el método NAASRA, para la zona Sur el presupuesto más económico lo presentó la estabilización con cemento, S/.138,000 por 1 km de carretera con el método AASTHO y S/. 89,000 con el método NAASRA, para todos los casos propuestos el método NAASRA ofrece un presupuesto más económico que el método de diseño AASTHO.
11. La zeolita es un aditivo químico que se utiliza en conjunto con el cemento, esta mezcla cemento – zeolita se comporta en sinergia, uno es el complemento del otro, las propiedades de la mezcla se suman y crean un producto con una mayor resistencia a todo tipo de ataques que dependen del agua.
12. El biopolímero es un aditivo químico que aglomera las partículas del suelo, una vez que el agua se ha disipado el suelo gana resistencia y es capaz de aumentar la capacidad de soporte. Este producto actualmente es usado en Perú como controlador de polvo, no es nocivo para la salud, es un producto biodegradable, es por estas características que se investigó como estabilizador de suelos, no se puede utilizar para todo tipo de suelo, para el suelo de la zona de Carabayllo (ML) los resultados de los ensayos no fueron favorables para una estabilización, en cambio para el suelo de Huaycán (GP) los resultados arrojaron valores favorables para una estabilización.
13. Para determinar el contenido óptimo de zeolita se involucraron dos factores: resistencia y costo. Al aumentar el contenido de zeolita aumentaba la resistencia a la compresión simple, mas el costo de obra se ve afectado. Debido a que el aditivo zeolítico hoy en día tiene un costo relativamente alto en comparación a otros aditivos en el mercado, hace que 1% más de aditivo incremente su costo con

respecto a otro tipo de estabilización, considerando que el suelo que se utiliza es el encontrado de manera in-situ. Teniendo en cuenta que el factor económico es importante, pero jamás determinante.

14. El costo del mantenimiento periódico en muchos casos no es el programado ya que la vía no pavimentada no cumple con el tiempo de servicio en buen estado. La práctica tradicional de trabajo es actuar para reparar lo dañado, el cambio sería evitar que se dañe. La estabilización cemento – zeolita dio buenos resultados en el incremento de la resistencia a la compresión, esto evitará daños en la vía a corto y mediano plazo, como la abrasión de las partículas, irregularidades de la superficie y permeabilidad de la capa estabilizada. Considerando que el suelo utilizado para la estabilización cemento-zeolita es in-situ.
15. La presente investigación tiene como fin el análisis de diversos productos con diferentes tipos de suelos, la mezcla suelo cemento – zeolita nos dio buenos resultados con los tres tipos de suelos, sin embargo el biopolímero nos dio buenos resultados solo con el suelo de Huaycán (GP). Este análisis nos abre muchos más el campo de visión de los aditivos químicos para la utilización de la construcción de vías con una carpeta resistente, con bajo costo y con una vida útil mucho más larga que una vía de afirmado convencional.

10.2 Recomendaciones:

1. El éxito de una estabilización con cemento Portland depende de tres factores: a) Contenido apropiado de cemento, b) Contenido óptimo de humedad, y c) Compactación adecuada. Para determinar el valor de estos factores, deben efectuarse pruebas de laboratorio siguiendo las recomendaciones pertinentes:
 - Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1 y A-2, 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.
2. Para los ensayos de CBR con la mezcla suelo-biopolímero, se recomienda realizar un curado mayor a 7 días en exposición directa a la luz diurna, antes de ser sumergidos, para que el agua se evapore y el biopolímero cumpla su función de aglomeración de partículas.
3. Cuando se hace el mezclado de agua – suelo para el suelo de Carabayllo, los ensayos ya sea proctor, compresión simple o CBR, se recomienda utilizar 1 a 2% más de agua porque al hacer el mezclado el agua se evapora y los resultados no serán verídicos.

4. Se recomienda al momento de realizar los ensayos ya sea proctor, CBR o compresión simple, tener el cuidado de cómo se realiza el acomodo de las partículas gruesas antes de empezar con la aplicación de los golpes respectivos usando el martillo en cada ensayo. Si no está bien distribuido puede alterar considerablemente los resultados al momento de someterlos a equipos de carga.
5. Al utilizar distintos tipos de suelo y ensayarlos con tres tipos de aditivos estabilizadores ha generado que se establezca visión una más compleja de lo que puede aportar el utilizar el suelo in-situ para la construcción de un camino no pavimentado con la adición de productos químicos cuidando siempre que no dañen el medio ambiente, así como la calidad de vida de los pobladores no se vea perjudicado sino mejore al tener una vía con mayor vida útil.
6. Se recomienda realizar un curado hermético a los ensayos de la estabilización con cemento y estabilización cemento – zeolita para obtener una mayor resistencia a la compresión.
7. Se recomienda mantener al producto zeolita en un lugar seco y bien cerrado donde la humedad del ambiente no llegue, ya que la zeolita al estar al aire libre, absorbe humedad en muy pocos segundos, menciona este hecho ya que se ha observado y verificado durante las pruebas de laboratorio.
8. Se recomienda que al realizar la mezcla suelo – agua – biopolímero, se mezcle primero el agua y biopolímero para luego ser mezclado con el suelo, esto para obtener una mezcla homogénea y tener resultados que no sean representativos de un mala práctica de mezclado uniforme.
9. Se recomienda realizar un estudio de tráfico, basado un conteo real de los vehículos que comúnmente transitará por vía en proyecto, a fin de tener un diseño de pavimento que represente el volumen de tráfico de cada localidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Braja M. Das. Libro: Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición. 2000.
2. Camineros Vialidad Transporte y desarrollo. “Informe Técnico Final, “Alternativa Para La Construcción del Pavimento considerando una Base Tratada con Cemento y Zeolitas Sintéticas”. Lima. 2012.
3. Choque Santos, Héctor M., “Evaluación de Aditivos Químicos en la eficiencia de la Conservación de Superficies de Rodadura en Carreteras No Pavimentadas”, Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 2012.
4. Crespo Villalaz, Carlos., Libro: Vías de comunicación, Caminos, Ferrocarriles, aeropuertos, Puentes y Puertos, Tercera Edición. Pag. 325 – 346, Mexico, Limusa, 2000.
5. Zavala Ascaño, Gerber J., Diseño de Pavimentos, Programa de Capacitación Profesional. 2014
6. Documento Técnico N° -2014-MTC/14. Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas. Lima. 2014.
7. Gutierrez Montes, Carlos A., “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (BISCHOFITA) frente al cloruro de calcio”. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Ricardo Palma. Lima-Perú. 2010.
8. RNE. CE.010, Norma de Pavimentos Urbanos. Aprobado en el 2010.
9. Hinrichsen Triviños, Nicoles N., “Estudio del Comportamiento de Suelo Estabilizado con Sal: Frente a la acción del agua, para distintas mezclas”, Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Austral de Chile. Chile. 2005.
10. PowerCem Technologies. Informe: “Portafolios internacionales”, Obras diversas a nivel internacional en las que ha participado. 2012.
11. SIKA. Revista Construcción Sika Dust PE, Estabilizador de Suelos - Supresor de polvo. 2010.

12. Juárez Badillo, E. Libro: Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Tomo 1. Mexico; Limusa, 2005.
13. MTC. Manual de ensayo de materiales - EM 2000.
14. MTC. Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Caminos de bajo volumen de tránsito. 2000.
15. MTC. Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. 2000
16. Manual Técnico de Mantenimiento Periódico para la Red Vial Departamental No Pavimentada. DGCF, Provías Departamental. 2006.
17. Bowles, Joseph E., Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. 1era Edición. McGRAW-HILL. 1981
18. Montenegro S., Humberto, Ccora M., Jubertt. “Estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicando estabilizadores: Emulsión asfáltica, cal y cemento – carretera Cañete – Chupaca Tramo: Km 152+000 – Km 158+000”. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 2011.
19. Norma Técnica de Estabilizadores Químicos, MTC E 1109. 2004.
20. Normas ASTM D – 421, ASTM D – 423 , ASTM D – 424 , ASTM D – 558, ASTM D – 698, ASTM D – 854, ASTM D – 1557, ASTM D – 1632, ASTM D – 1633, ASTM D – 1883, ASTM D – 2216.
21. Oliva Díaz, Caridad, “Estabilización de un suelo de la Formación Toledo con Cemento Portland y Sistema ROCAMIX Líquido”. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil. Instituto Superior Politécnico Jose Antonio Echevarría. La Habana. 2010.
22. P.Marjanovic, C.E.G. Egyed, P. de La Roij, R. de La Roij. Roadcem: La carretera del Futuro, Manual Trabajando con Roadcem. Holanda. 2008.
23. Ricaldoni, Julio. “Tablas y Ábacos” – 2008
24. Ugaz Palomino, Roxana M., “Estabilización de suelos y su aplicación en el Mejoramiento de la Subrasante”. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. 2005.
25. Valle Gomez, Juan P., “Diseño de la Dosificación para Hormigón Compactado con Rodillo y Base Estabilizada con Cemento para su uso en las Vías de Manabí” Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil. Escuela Superior Técnica del Litoral. Ecuador. 2009.

ANEXOS

- Formatos de ensayos de laboratorio



ENSAYO DE COMPACTACION

PROCTOR ESTANDAR
 PROCTOR MODIFICADO

ASTM D698 - 91
 ASTM D1557 - 91

| TIPO DE ENSAYO METODO | PROCTOR ESTANDAR | | | PROCTOR MODIFICADO | | |
|---|---------------------------|---|---|---------------------------|---|---|
| | A | B | C | A | B | C |
| Condiciones para la elección del método | % Ret. Acum. N° 04 <= 20% | % Ret. Acum. N° 3/8 <= 20% y % Ret. Acum. N° 4 > 20% | % Ret. Acum. N° 3/4 <= 30% y % Ret. Acum. N° 3/8 > 20% | % Ret. Acum. N° 04 <= 20% | % Ret. Acum. N° 3/8 <= 20% y % Ret. Acum. N° 4 > 20% | % Ret. Acum. N° 3/4 <= 30% y % Ret. Acum. N° 3/8 > 20% |
| Cantidad de suelo (Kg) | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 |
| Tiempo de Duración (Dias) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N° de Capas (n) | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| N° de Golpes (N) | 25 | 25 | 56 | 25 | 25 | 56 |
| Diámetro del Molde (cm) | 10.16 ± 0.04 | 10.16 ± 0.04 | 15.24 ± 0.07 | 10.16 ± 0.04 | 10.16 ± 0.04 | 15.24 ± 0.07 |
| Altura del Molde (cm) | 11.64 ± 0.05 | 11.64 ± 0.05 | 11.64 ± 0.05 | 11.64 ± 0.05 | 11.64 ± 0.05 | 11.64 ± 0.05 |
| Volumen del Molde (V) (cc) | 944 ± 14 | 944 ± 14 | 2124 ± 25 | 944 ± 14 | 944 ± 14 | 2124 ± 25 |
| Peso del Martillo (W) (Kg) | 2.5 ± 0.01 | 2.5 ± 0.01 | 2.5 ± 0.01 | 4.54 ± 0.01 | 4.54 ± 0.01 | 4.54 ± 0.01 |
| Altura de Caída del Martillo (h) (cm) | 30.48 ± 0.13 | 30.48 ± 0.13 | 30.48 ± 0.13 | 45.72 ± 0.16 | 45.72 ± 0.16 | 45.72 ± 0.16 |
| Diámetro del Martillo (cm) | 5.080 ± 0.025 | 5.080 ± 0.025 | 5.080 ± 0.025 | 5.080 ± 0.025 | 5.080 ± 0.025 | 5.080 ± 0.025 |
| Energía Específica de Compactación (Kg.cm/cc) | 6.054 | 6.054 | 6.027 | 27.485 | 27.485 | 27.363 |

| | | |
|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Energía Específica de Compactación | = | $\frac{N \cdot n \cdot W \cdot h}{V}$ |
|------------------------------------|---|---------------------------------------|

GUIA DE REEMPLAZO DE MATERIAL PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTANDAR O MODIFICADO

MÉTODO " A " (% Ret. Acum. N° 04 <= 20% .)
 Descartar el material retenido en el tamiz N° 04.

MÉTODO " B " (% Ret. Acum. N° 3/8 <= 20% y % Ret. Acum. N°4 > 20% .)

Passar el material a través del tamiz 3". Descartar el material que sea retenido en el tamiz 3". El material que pasa el tamiz 3" y es retenido en el tamiz 3/8" debe ser reemplazado por una cantidad igual en peso de material que pase por el tamiz 3/8" y sea retenido por el tamiz N° 04. El material para reemplazo debe tomarse de una porción no usada de la muestra.



ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo
 FECHA : 09/08/2014

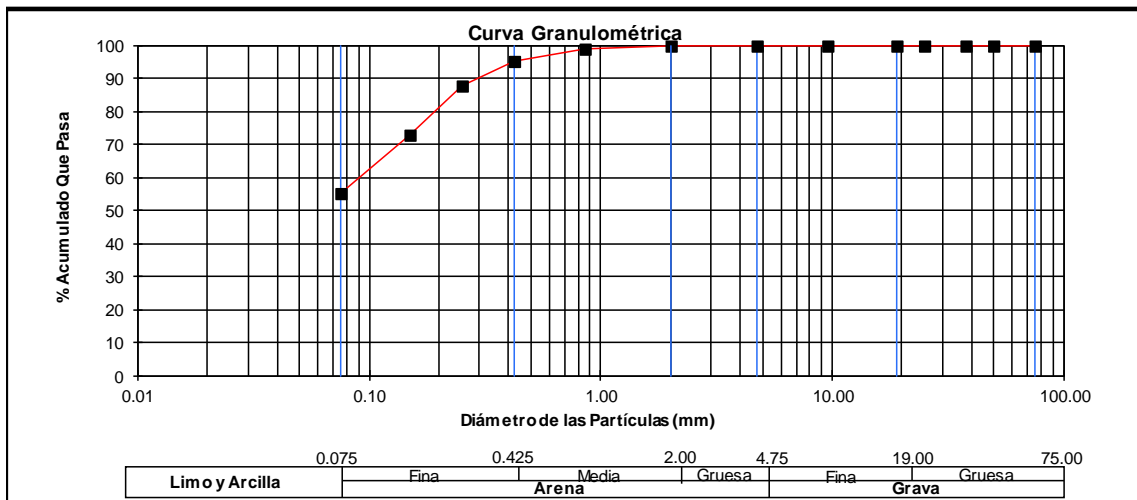
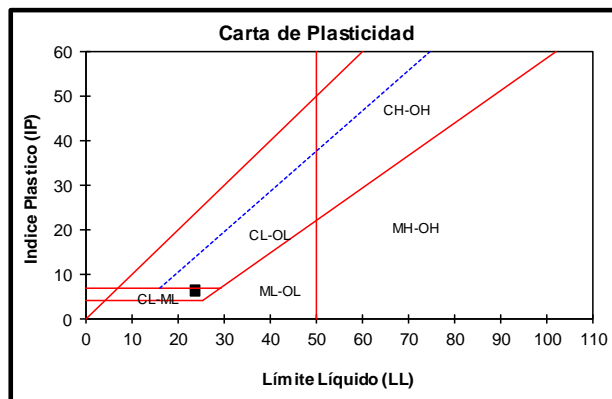
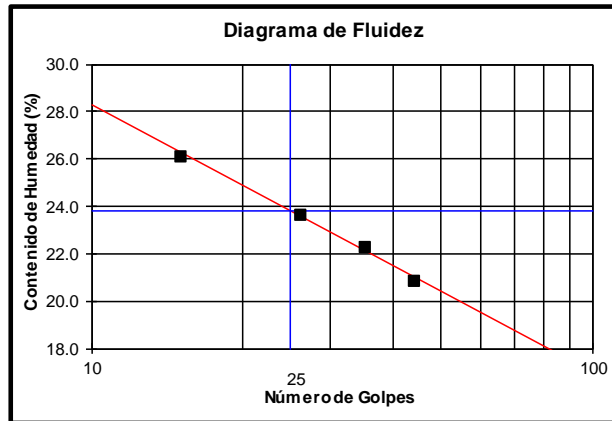
TIPO DE EXPLORACION : 0.00
 No DE EXPLORACION : 0.00
 No DE MUESTRA : A

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : 0.00
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO | % ACUMULADO QUE PASA | 75.000 | 3" | 100.00 |
|--------------------------------------|----------------------|----------|--------|--------|
| | | 50.000 | 2" | 100.00 |
| | | 37.500 | 1 1/2" | 100.00 |
| | | 25.000 | 1" | 100.00 |
| | | 19.000 | 3/4" | 100.00 |
| | | 9.500 | 3/8" | 100.00 |
| | | 4.750 | No 004 | 99.95 |
| | | 2.000 | No 010 | 99.67 |
| | | 0.850 | No 020 | 98.84 |
| | | 0.425 | No 040 | 95.34 |
| | | 0.250 | No 060 | 87.62 |
| | | 0.150 | No 100 | 72.98 |
| | | 0.075 | No 200 | 55.33 |
| | | D10 (mm) | 0.01 | Cu |
| D30 (mm) | 0.03 | Cc | 0.68 | |
| D60 (mm) | 0.09 | | | |

| | | |
|--------------------------------------|---------|-------|
| PESO ESP. RELATIVO DE SÓLIDOS (Ss) | | 2.75 |
| PESO ESPECÍFICO NATURAL (γ) | (gr/cc) | 2.17 |
| HUMEDAD NATURAL (ω) | (%) | 6.00 |
| LÍMITE LÍQUIDO (LL) | (%) | 23.80 |
| LÍMITE PLÁSTICO (LP) | (%) | 17.34 |
| ÍNDICE PLÁSTICO (IP) | (%) | 6.46 |

CLASIFICACION S.U.C.S. : **ML**





ENSAYO : PROCTOR ESTÁNDAR
 METODO : Estandar-A
 NORMA : ASTM D1557-91

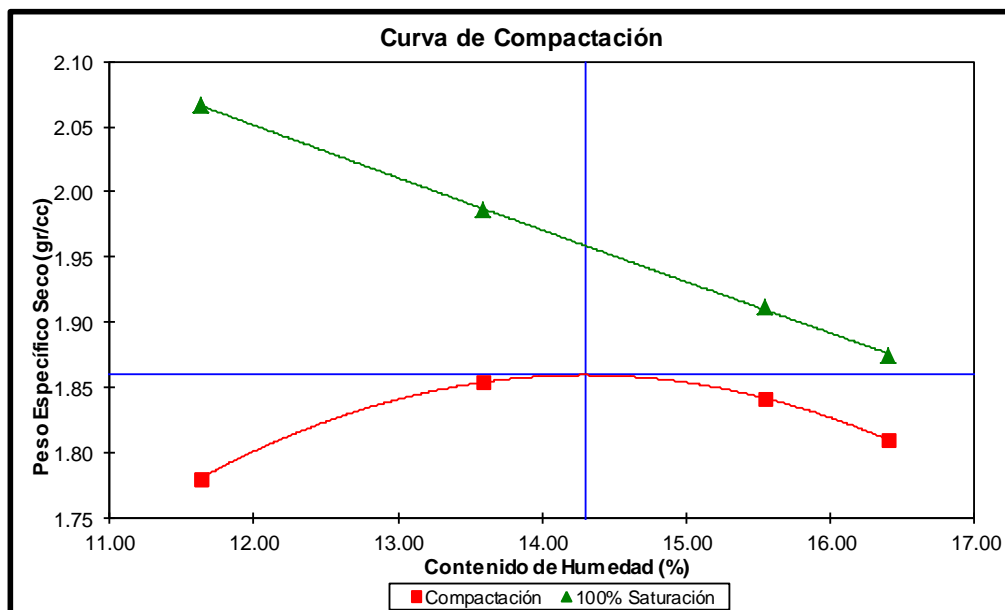
 INFORME : Suelo Natural
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Urb. San Pedro - Carabaylo
 FECHA : 09/08/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.99 | 2.11 | 2.13 | 2.11 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 11.63 | 13.58 | 15.55 | 16.40 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.78 | 1.85 | 1.84 | 1.81 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.07 | 1.99 | 1.91 | 1.88 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|-------|
| OCH | (%) | 14.30 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.86 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.82 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.77 |





ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO
 METODO : Modificado-A
 NORMA : ASTM D1557-91

INFORME : Suelo Natural

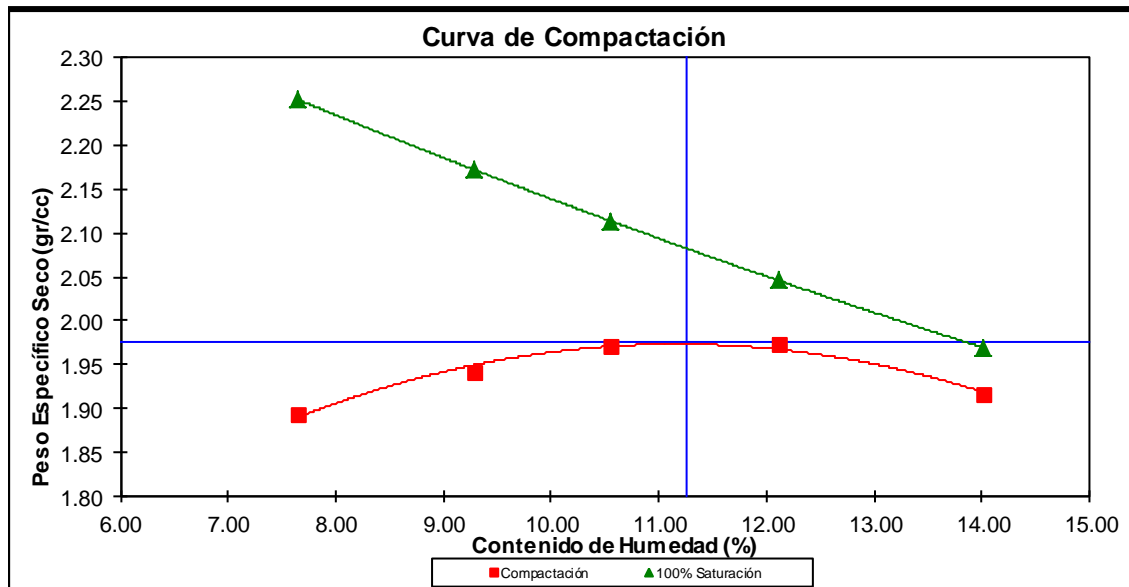
PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez
 UBICACION : Urb. San Pedro - Carabaylo
 FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1
 No DE MUESTRA : 1
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0

| | | | | | | |
|-------------------------------------|---------|------|------|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 2.04 | 2.12 | 2.18 | 2.21 | 2.19 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 7.64 | 9.28 | 10.55 | 12.12 | 14.01 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.89 | 1.94 | 1.97 | 1.97 | 1.92 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.25 | 2.17 | 2.11 | 2.05 | 1.97 |
| (100 % de saturación) | | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|-------|
| OCH | (%) | 11.25 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.98 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.94 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.88 |





ENSAYO : PROCTOR ESTANDAR
 METODO : Estandar-A
 NORMA : ASTM D698-07

INFORME : Estabilización Suelo - Cemento

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.

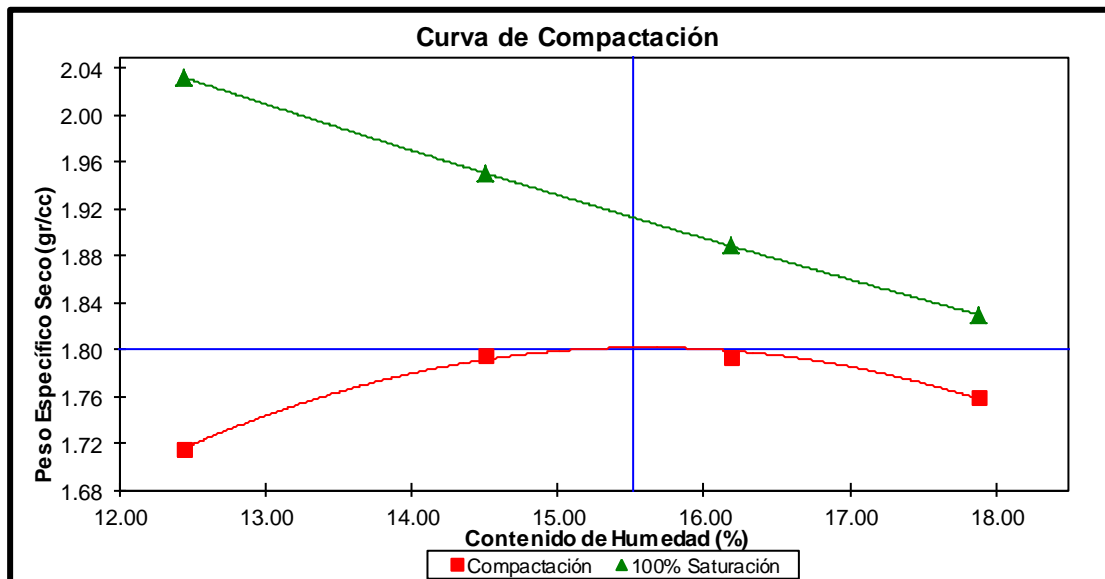
SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez
 UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo
 FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1
 No DE MUESTRA : 1

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|--|---------|-------|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.93 | 2.06 | 2.08 | 2.07 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 12.43 | 14.50 | 16.18 | 17.88 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.71 | 1.80 | 1.79 | 1.76 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (100 % de saturación) | (gr/cc) | 2.03 | 1.95 | 1.89 | 1.83 |

| | | |
|----------------------|---------|-------|
| OCH | (%) | 15.51 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.80 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.76 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.71 |





ENSAYO : PROCTOR ESTANDAR
 METODO : Estandar-A
 NORMA : ASTM D698-07

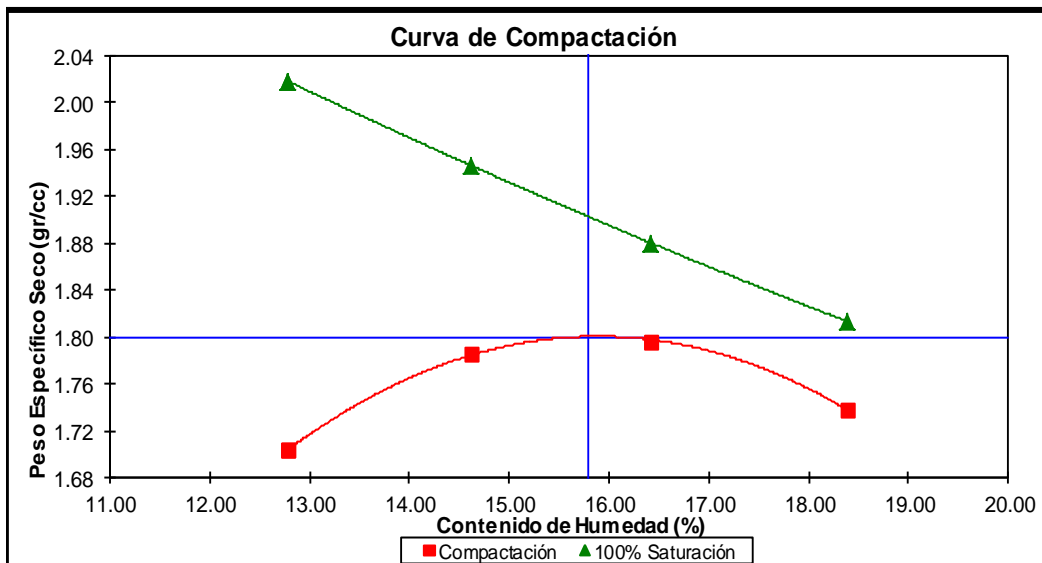
INFORME : Estabilización Suelo - Cemento - Zeolita
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez
 UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo
 FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1
 No DE MUESTRA : 1

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NP
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.92 | 2.05 | 2.09 | 2.06 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 12.79 | 14.61 | 16.42 | 18.38 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.70 | 1.79 | 1.80 | 1.74 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.02 | 1.95 | 1.88 | 1.81 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|-------|
| OCH | (%) | 15.80 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.80 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.76 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.71 |





ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO
 METODO : Modificado-A
 NORMA : ASTM D1557-91

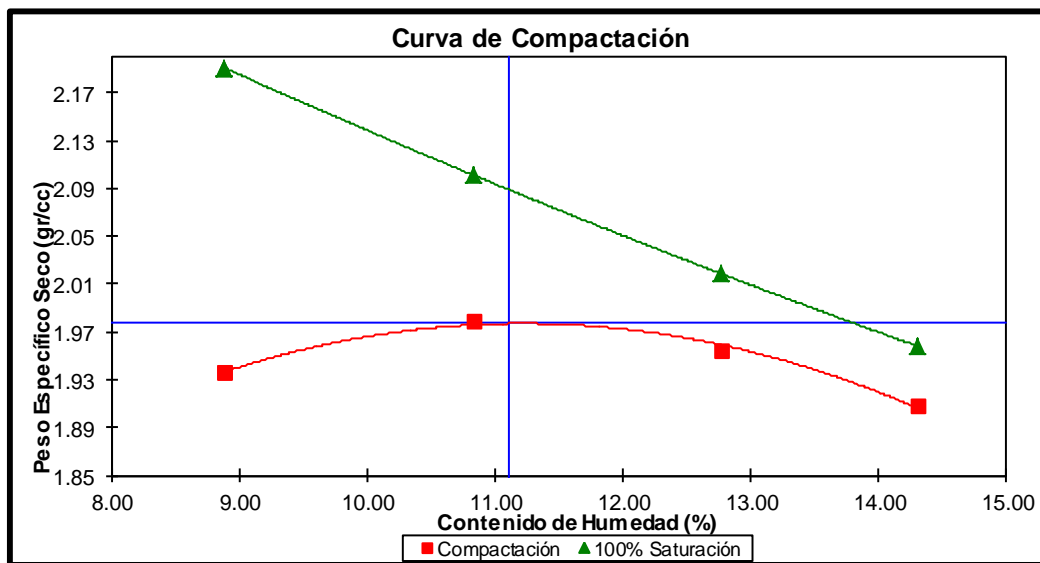
 INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez
 UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo
 FECHA : 09/08/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------|------|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 2.11 | 2.19 | 2.20 | 2.18 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 8.88 | 10.84 | 12.76 | 14.30 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.94 | 1.98 | 1.96 | 1.91 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.19 | 2.10 | 2.02 | 1.96 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|-------|
| OCH | (%) | 11.10 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.98 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.94 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.88 |





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Suelo Natural
 SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del
 : Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo
 FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1
 No DE MUESTRA : 1
 NIVEL TERRENO NATURAL (m) : 0.00
 PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.20 | 2.07 | 1.92 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) ANTES DE SATURAR (ω) | 9.91 | 10.01 | 9.76 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 2.00 | 1.88 | 1.75 |
| GRADO DE SATURACION (%) ANTES DE SATURAR (G_w) | 74.67 | 61.13 | 47.78 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5482.00 | 5290.00 | 5341.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 72 | 1.930 | 1.904 | 1.707 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 72.26 | 7.23 | 39.32 | 3.93 | 15.70 | 1.57 |
| 0.200 | 1500 | 114.62 | 7.64 | 63.02 | 4.20 | 26.19 | 1.75 |

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) DESPUES DE SATURAR (ω) | 16.75 | 17.46 | 18.87 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) ABSORBIDO (ω) | 6.84 | 7.44 | 9.11 |
| GRADO DE SATURACION (%) DESPUES DE SATURAR (G_w) | 11.22 | 11.03 | 11.97 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 6.48 | 5.30 | 3.90 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 6.85 | 5.65 | 4.15 |



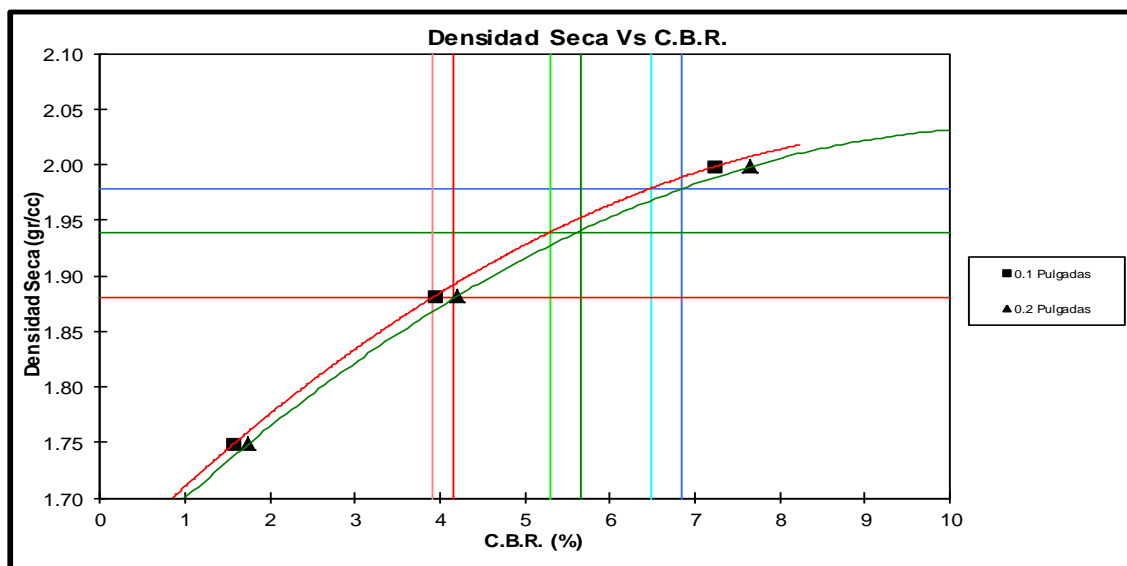
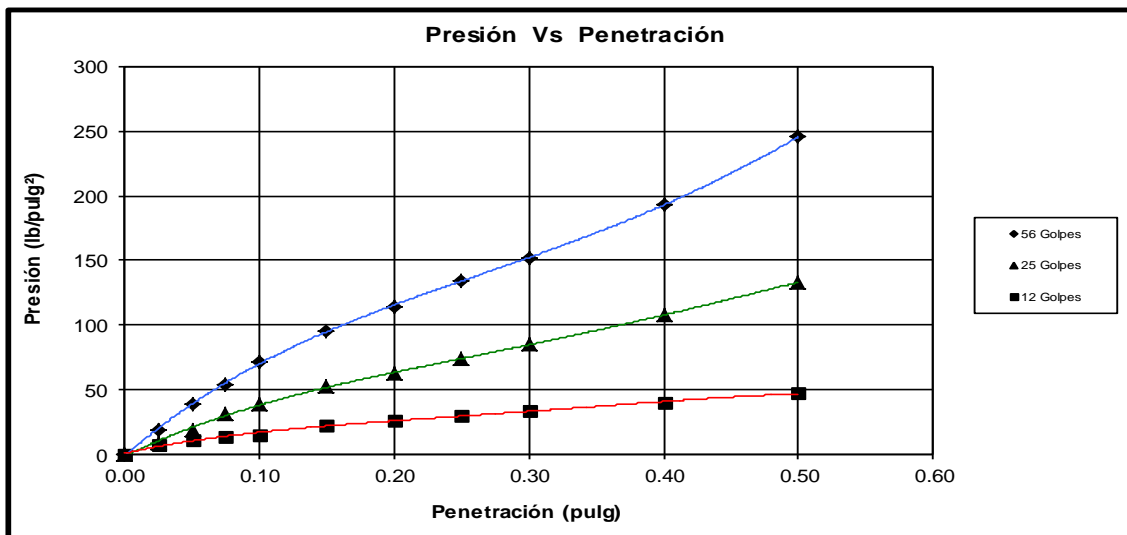
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Suelo Natural
SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

UBICACION : Urb. San Pedro - Carabaylo
FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1
No DE MUESTRA : 1
NIVEL TERRENO NATURAL (m) : 0.00
PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización con Biopolímero 1en1

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.

SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez

UBICACION : Urb. San Pedro - Carabaylo

FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata

No DE EXPLORACION : 1.00

No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREAT (m) : NR

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.20 | 2.10 | 2.04 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 11.09 | 11.04 | 11.37 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.98 | 1.89 | 1.83 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (G_w) (%) | 81.05 | 68.22 | 63.71 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5482.00 | 5290.00 | 5341.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 72 | 1.187 | 1.259 | 1.621 |

| PENETRACION | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 504.53 | 50.45 | 380.10 | 38.01 | 211.94 | 21.19 |
| 0.200 | 1500 | 719.88 | 47.99 | 491.00 | 32.73 | 273.65 | 18.24 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 14.77 | 15.81 | 17.20 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 3.68 | 4.77 | 5.83 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 15.09 | 14.40 | 12.10 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 50.40 | 45.70 | 36.90 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 47.90 | 42.10 | 31.15 |

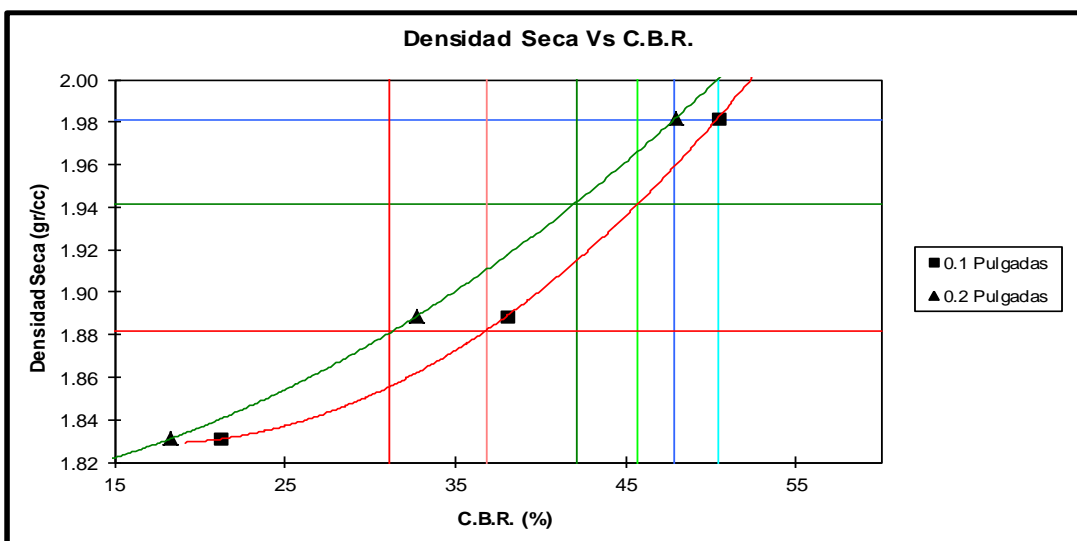
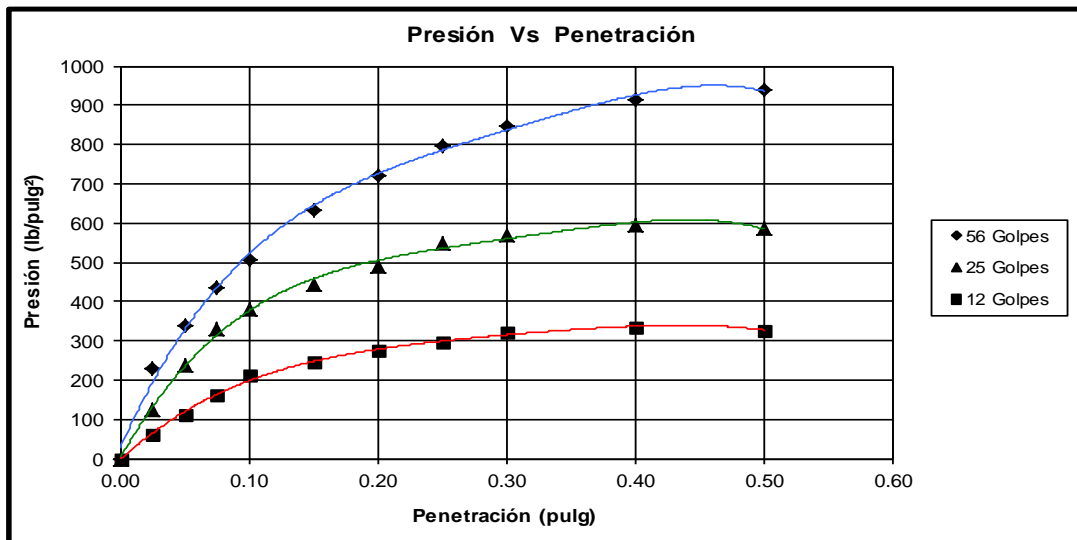


ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización con Biopolímero 1en1
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de
 suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez
 UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo
 FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FRE (m) : NP
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero 1en2

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez

UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo

FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata

No DE EXPLORACION : 1.00

No DE MUESTRA : 1.00

NIVEL TERRENO NATURAL (m) : 0.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.20 | 2.12 | 2.05 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 11.16 | 11.17 | 11.05 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.98 | 1.91 | 1.84 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (Gw) (%) | 81.36 | 71.76 | 63.33 |

| | | | |
|------------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5762.00 | 5635.00 | 5635.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 72 | 2.033 | 2.016 | 1.808 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 692.80 | 69.28 | 461.22 | 46.12 | 264.24 | 26.42 |
| 0.200 | 1500 | 990.05 | 66.00 | 615.60 | 41.04 | 347.71 | 23.18 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 15.47 | 17.08 | 19.10 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 4.31 | 5.91 | 8.05 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (Gw) (%) | 9.59 | 10.22 | 12.04 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 69.00 | 55.50 | 37.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 65.70 | 50.00 | 32.50 |

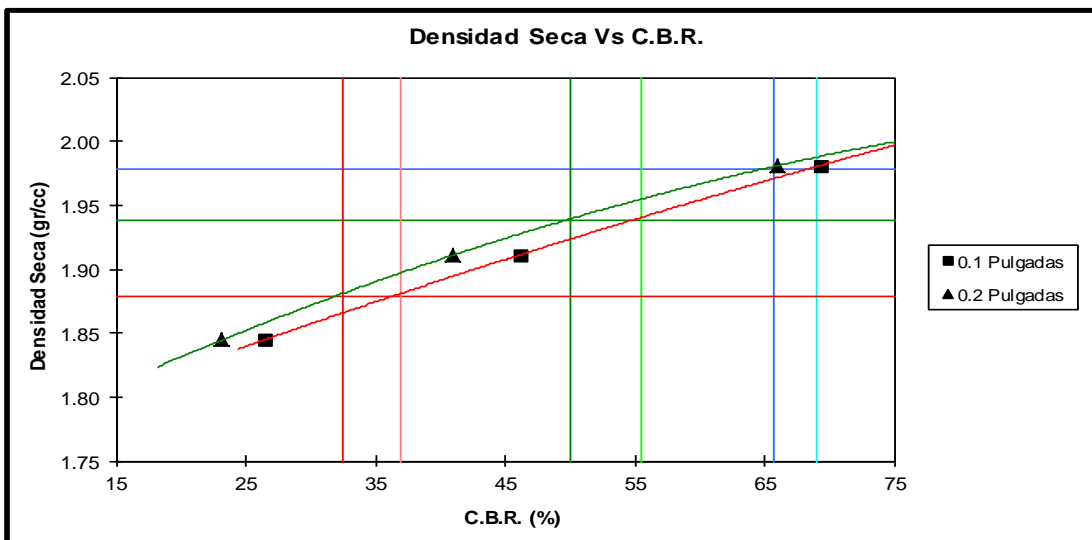
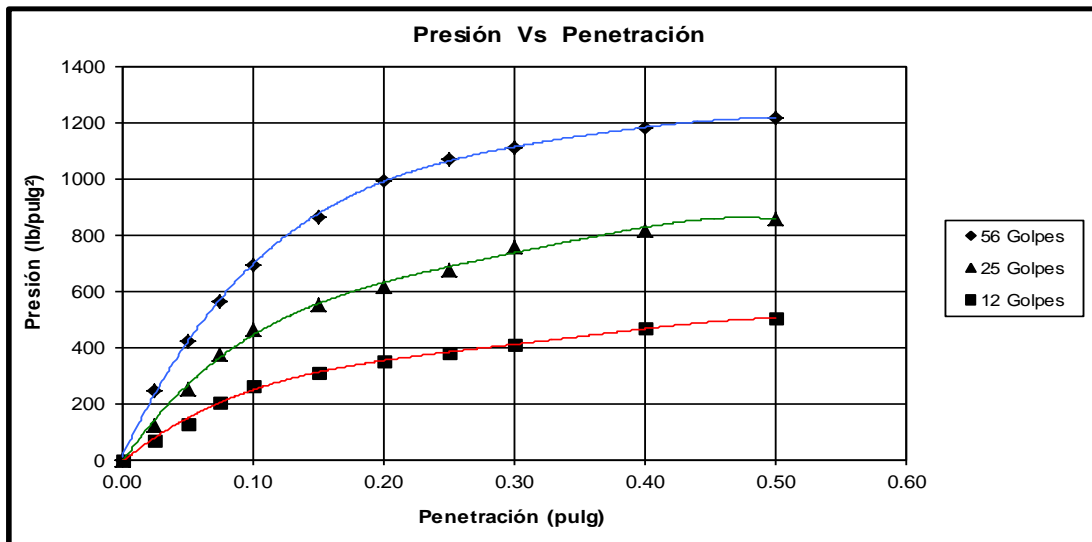


ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero 1 en 2

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de
SUELOS del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
SOLICITANTE : Marisol Cortes - Miguel Fernandez
UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo
FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00
NIVEL TERRENO NATURAL (m) : 0.00
PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NP
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización con biopolímero 1en3
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del
 : Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo

FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata

No DE EXPLORACION : 1.00

No DE MUESTRA : 1.00

NIVEL TERRENO NATURAL (m) : 0.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.23 | 2.11 | 2.01 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 12.72 | 12.40 | 12.41 |
| ANTES DE SATURAR (ω) | | | |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.98 | 1.88 | 1.78 |
| GRADO DE SATURACION (%) | 91.87 | 75.38 | 64.34 |
| ANTES DE SATURAR (G_w) | | | |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5679.00 | 5717.00 | 5400.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 72 | 1.083 | 1.700 | 1.916 |

| PENETRACION | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 370.65 | 37.07 | 214.61 | 21.46 | 126.57 | 12.66 |
| 0.200 | 1500 | 530.26 | 35.35 | 300.55 | 20.04 | 169.17 | 11.28 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 15.20 | 16.50 | 18.20 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 2.48 | 4.10 | 5.79 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 16.39 | 11.27 | 10.46 |

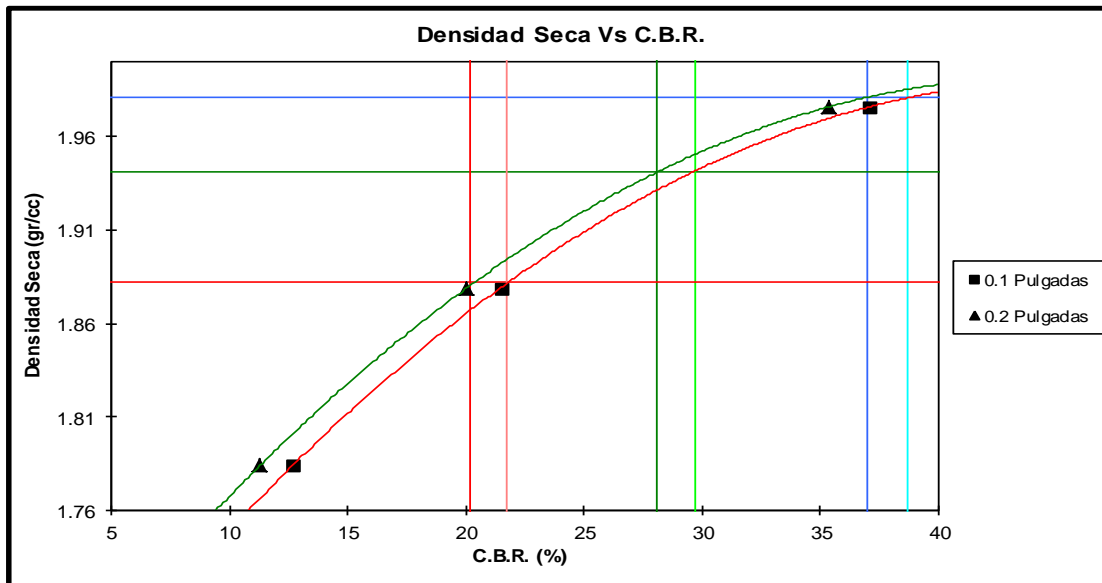
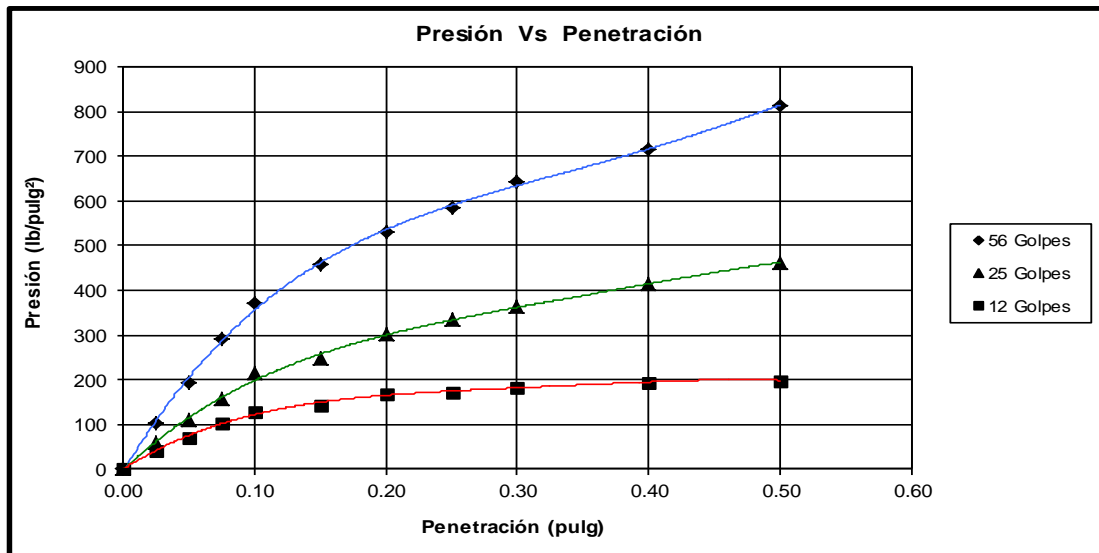
| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 38.70 | 29.70 | 21.70 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 37.00 | 28.10 | 20.20 |



ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización con biopolímero 1 en 3
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
UBICACION : Urb. San Pedro - Carabaylo
FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00
NIVEL TERRENO NATURAL (m) : 0.00
PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NP
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero 1 en 4

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

UBICACION : Urb. San Pedro - Carabayllo

FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00
 NIVEL TERRENO NATURAL (m) :
 PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.22 | 2.07 | 1.94 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 11.34 | 10.96 | 11.17 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.99 | 1.86 | 1.74 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (G_w) (%) | 84.80 | 64.75 | 54.39 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5762.00 | 5635.00 | 5635.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 72 | 1.200 | 1.716 | 2.016 |

| PENETRACION | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 215.00 | 21.50 | 102.00 | 10.20 | 32.00 | 3.20 |
| 0.200 | 1500 | 345.00 | 23.00 | 161.00 | 10.73 | 58.00 | 3.87 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 15.71 | 16.03 | 18.80 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 4.37 | 5.07 | 7.63 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 15.66 | 10.69 | 10.03 |

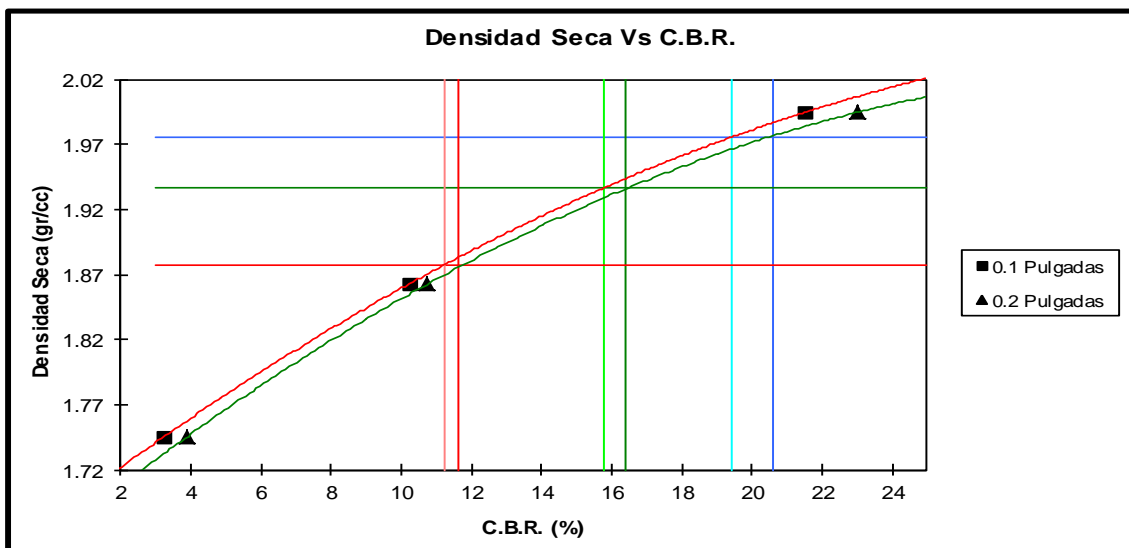
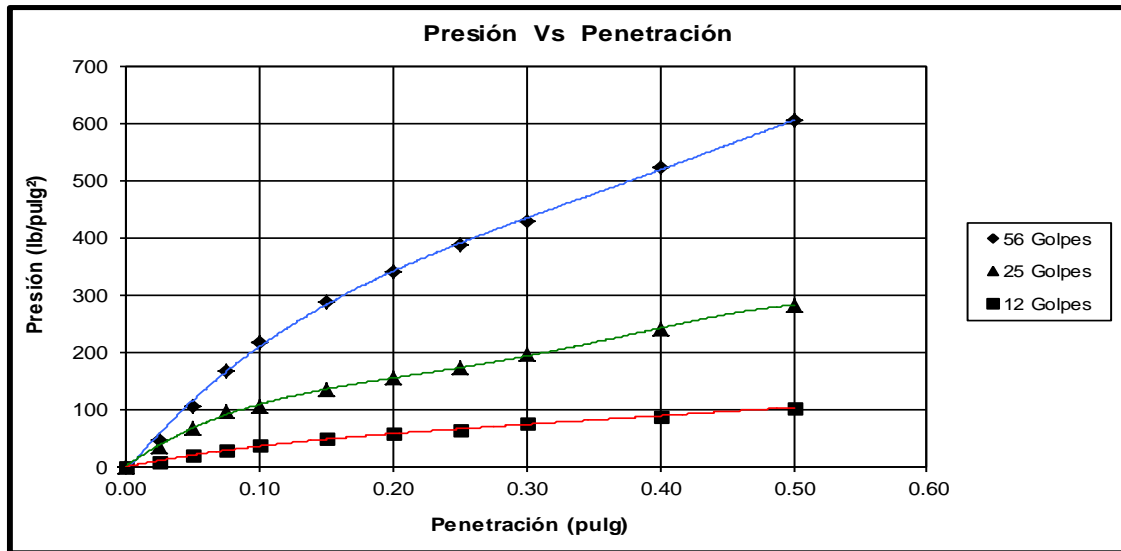
| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 19.40 | 15.75 | 11.25 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 20.60 | 16.40 | 11.65 |



ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero 1 en 4
SOLICITANTE : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de
suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
PROYECTO : Marisol Cortés - Miguel Fernández
UBICACION : Urb. San Pedro - Carabaylo
FECHA : 09/08/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00
NIVEL TERRENO NATURAL (m) :
PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Muestra: Suelo Natural

Ubicación : Urb. San Pedro - Carabayllo

Ensayo : Compresión Simple

Clasificación SUCS: ML

Fecha: 01/11/2014

Método: A

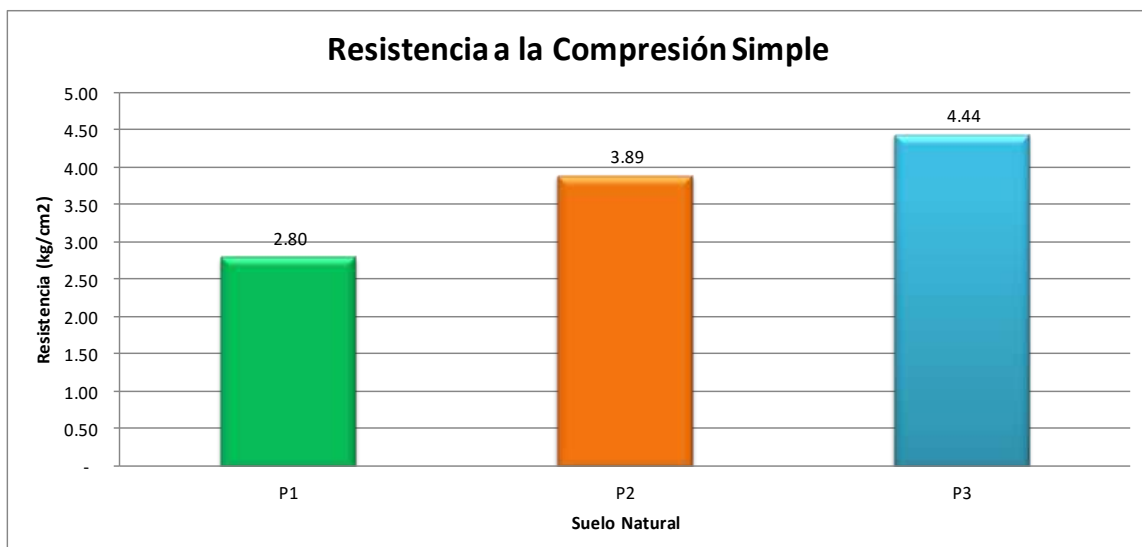
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.64 | 101.60 | 101.42 |
| Altura : | mm | 114.20 | 114.50 | 114.62 |
| Area : | mm ² | 8,113.70 | 8,107.32 | 8,078.62 |
| Volumen : | mm ³ | 926,585.07 | 928,288.10 | 925,971.24 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|-------------|--------|--------|
| Carga (kg) | 226.80 | 315.30 | 358.80 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 2.80 | 3.89 | 4.44 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 3.71 | | |





Resistencia a la Compresión Simple MTC E 1108 - 2000

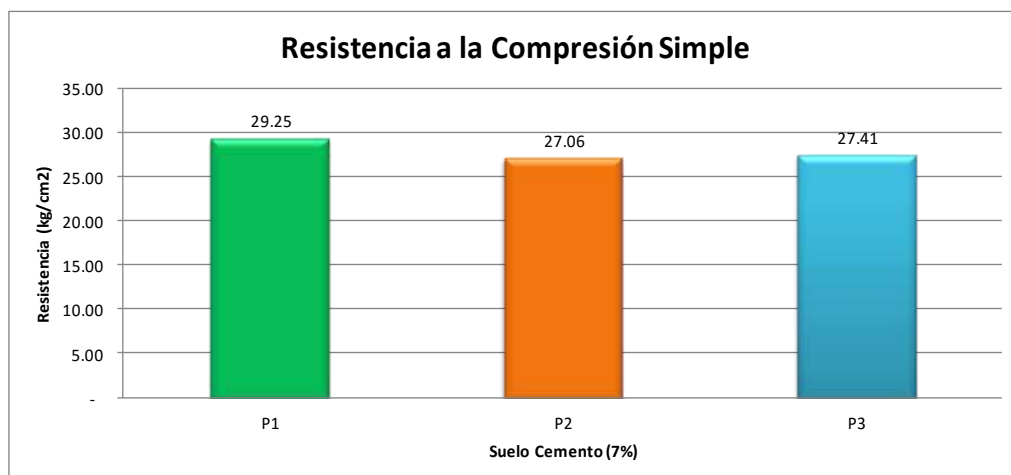
Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento (7%)
Ubicación : Urb. San Pedro - Carabayllo
Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** ML
Fecha: 01/11/2014 **Método:** A
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Díámetro : | mm | 101.44 | 101.46 | 101.34 |
| Altura : | mm | 114.08 | 114.30 | 114.26 |
| Area : | mm ² | 8,081.80 | 8,084.99 | 8,065.88 |
| Volumen : | mm ³ | 921,972.30 | 924,114.59 | 921,607.29 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,364.30 | 2,188.00 | 2,210.50 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 29.25 | 27.06 | 27.41 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 27.91 | | |





**Resistencia a la Compresión Simple
 MTC E 1108 - 2000**

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento (5%)
 Zeolita (1%)

Ubicación : Urb. San Pedro - Carabaylo

Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** ML

Fecha: 08/11/2014 **Método:** A

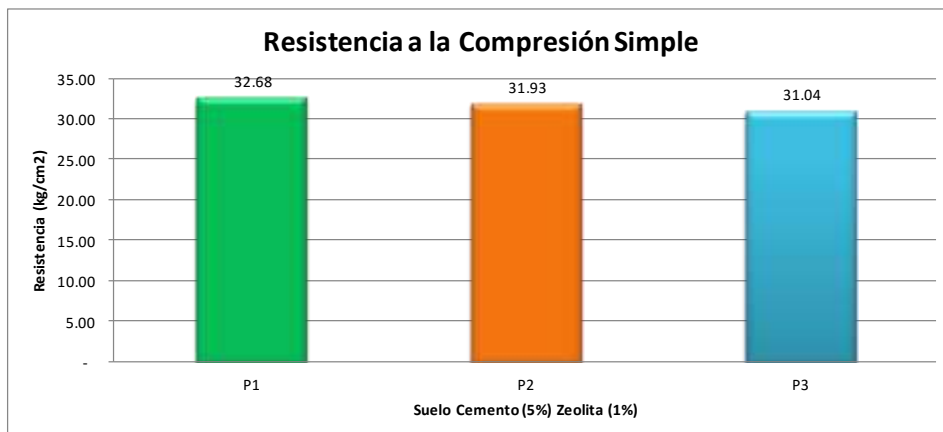
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.44 | 101.30 | 101.34 |
| Altura : | mm | 114.08 | 114.50 | 114.26 |
| Area : | mm ² | 8,081.80 | 8,059.51 | 8,065.88 |
| Volumen : | mm ³ | 921,972.30 | 922,814.18 | 921,607.29 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|--|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,640.80 | 2,573.40 | 2,504.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm2) | 32.68 | 31.93 | 31.04 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2) | 31.88 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Ubicación : Urb. San Pedro - Carabayllo

Ensayo : Compresión simple

Fecha: 08/11/2014

Muestra: Suelo Cemento (4%)
Zeolita (1%)

Clasificación SUCS: ML

Método: A

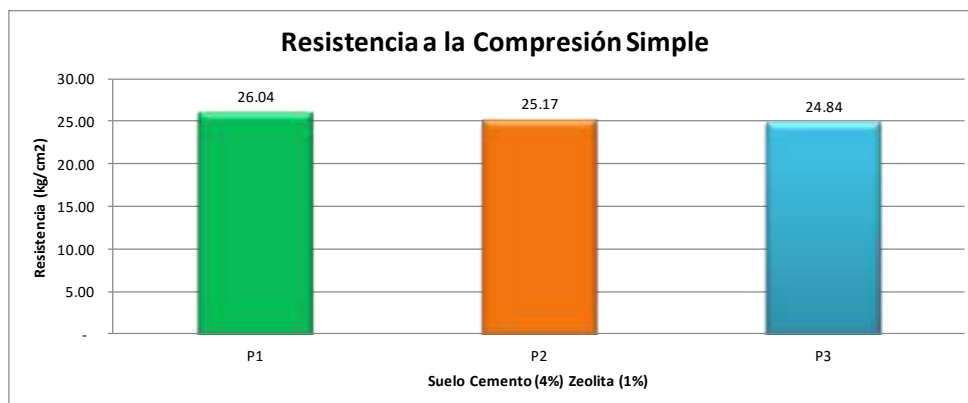
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.48 | 101.40 | 101.40 |
| Altura : | mm | 114.12 | 114.40 | 114.20 |
| Area : | mm ² | 8,088.18 | 8,075.43 | 8,075.43 |
| Volumen : | mm ³ | 923,023.08 | 923,829.48 | 922,214.39 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,106.20 | 2,032.60 | 2,005.60 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 26.04 | 25.17 | 24.84 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 25.35 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Muestra: Suelo Cemento (5%)
 Zeolita (2%)

Ubicación : Urb. San Pedro - Carabaylo

Ensayo : Compresión simple

Clasificación SUCS: ML

Fecha: 15/11/2014

Método: A

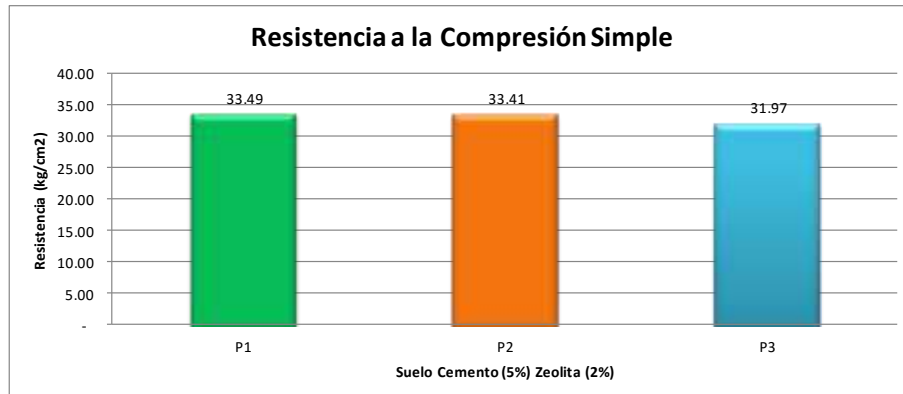
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.50 | 101.20 | 101.30 |
| Altura : | mm | 113.80 | 113.98 | 114.40 |
| Área : | mm ² | 8,091.37 | 8,043.61 | 8,059.51 |
| Volumen : | mm ³ | 920,797.70 | 916,810.46 | 922,008.23 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,710.00 | 2,687.50 | 2,577.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 33.49 | 33.41 | 31.97 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 32.96 | | |





**Resistencia a la Compresión Simple
 MTC E 1108 - 2000**

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
Ubicación : Urb. San Pedro - Carabaylo

Muestra: Suelo Cemento (4%)
 Zeolita (2%)

Ensayo : Compresión simple
Fecha: 15/11/2014

Clasificación SUCS: ML
Método: A

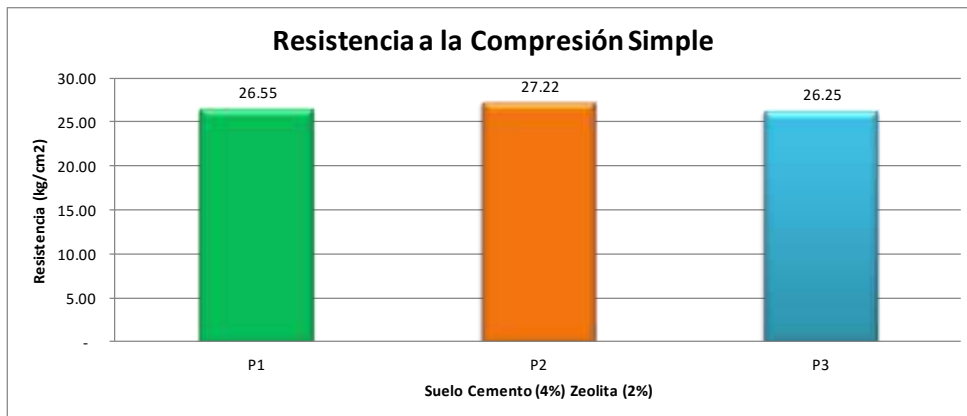
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.20 | 101.10 | 101.40 |
| Altura : | mm | 114.40 | 114.00 | 114.20 |
| Area : | mm ² | 8,043.61 | 8,027.72 | 8,075.43 |
| Volumen : | mm ³ | 920,188.77 | 915,160.03 | 922,214.39 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,135.25 | 2,185.00 | 2,120.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 26.55 | 27.22 | 26.25 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 26.67 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento (6%)
 Zeolita (1%)

Ubicación : Urb. San Pedro - Carabayllo

Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** ML

Fecha: 24/11/2014 **Método:** A

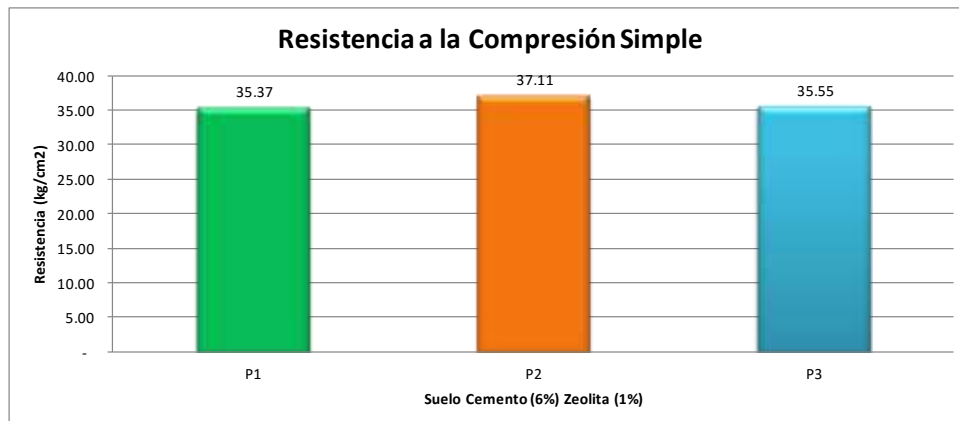
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.20 | 101.10 | 101.40 |
| Altura : | mm | 114.00 | 114.20 | 114.08 |
| Area : | mm ² | 8,043.61 | 8,027.72 | 8,075.43 |
| Volumen : | mm ³ | 916,971.33 | 916,765.57 | 921,245.34 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,845.10 | 2,979.30 | 2,870.74 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 35.37 | 37.11 | 35.55 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 36.01 | | |





ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Zona R - Huaycán
 FECHA : 31/05/2014

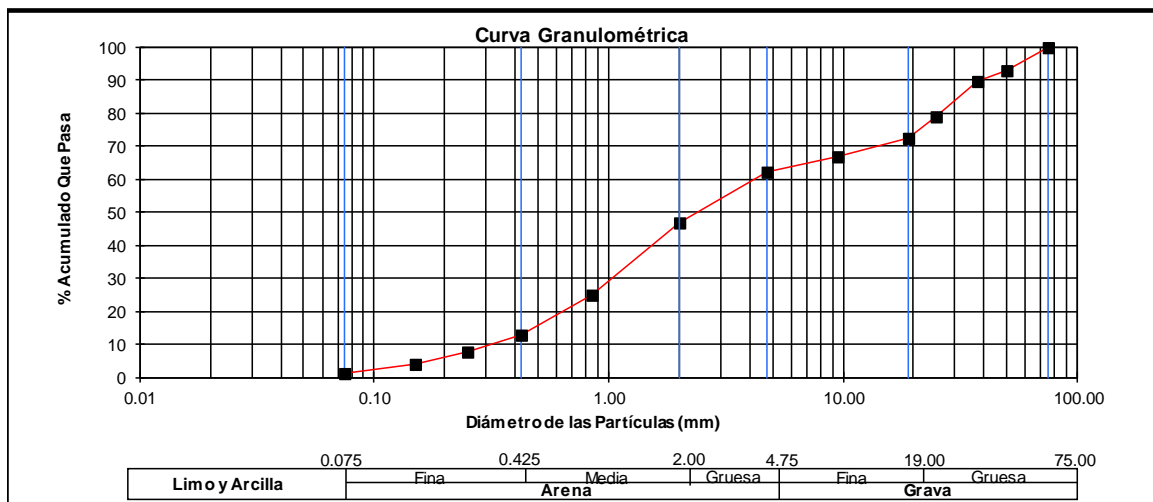
TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 0.00
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : 0.00
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO | % ACUMULADO QUE PASA | 75.000 | 3" | 100.00 |
|--------------------------------------|----------------------|----------|--------|--------|
| | | 50.000 | 2" | 92.74 |
| | | 37.500 | 1 1/2" | 89.63 |
| | | 25.000 | 1" | 78.95 |
| | | 19.000 | 3/4" | 72.50 |
| | | 9.500 | 3/8" | 66.59 |
| | | 4.750 | No 004 | 61.89 |
| | | 2.000 | No 010 | 46.55 |
| | | 0.850 | No 020 | 24.78 |
| | | 0.425 | No 040 | 12.97 |
| | | 0.250 | No 060 | 7.47 |
| | | 0.150 | No 100 | 4.06 |
| | | 0.075 | No 200 | 1.02 |
| | | D10 (mm) | 0.32 | Cu |
| D30 (mm) | 1.04 | Cc | 0.80 | |
| D60 (mm) | 4.27 | | | |

| | |
|---|------|
| PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S _s) | 2.74 |
| PESO ESPECIFICO NATURAL (γ) (gr/cc) | 2.26 |
| HUMEDAD NATURAL (ω) (%) | 0.78 |
| LIMITE LIQUIDO (LL) (%) | NP |
| LIMITE PLASTICO (LP) (%) | NP |

| | |
|------------------------|----|
| CLASIFICACION S.U.C.S. | GP |
|------------------------|----|





ENSAYO : PROCTOR ESTANDAR
 METODO : Estandar-C
 NORMA : ASTM D1557-91

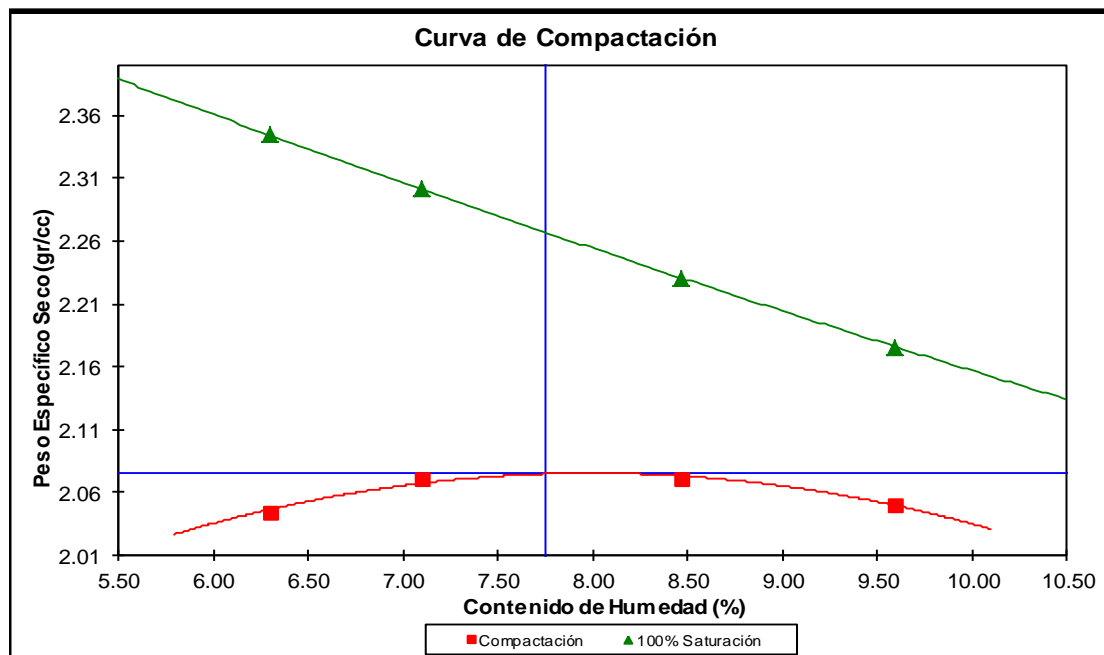
 INFORME : Suelo Natural
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para Vías a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Zona R - Huaycan ATE
 FECHA : 31/05/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|--|---------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 2.17 | 2.22 | 2.25 | 2.25 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 6.30 | 7.10 | 8.46 | 9.60 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.04 | 2.07 | 2.07 | 2.05 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (100 % de saturación) | (gr/cc) | 2.34 | 2.30 | 2.23 | 2.18 |

| | | |
|----------------------|---------|------|
| OCH | (%) | 7.75 |
| γ_d max | (gr/cc) | 2.08 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 2.03 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.97 |





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO
METODO : Estandar-C
NORMA : ASTM D1557-91

INFORME : Suelo Natural

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para Vías a nivel de afirmado.

SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

UBICACION : Zona R - Huaycan ATE

FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata

No DE EXPLORACION : 1.00

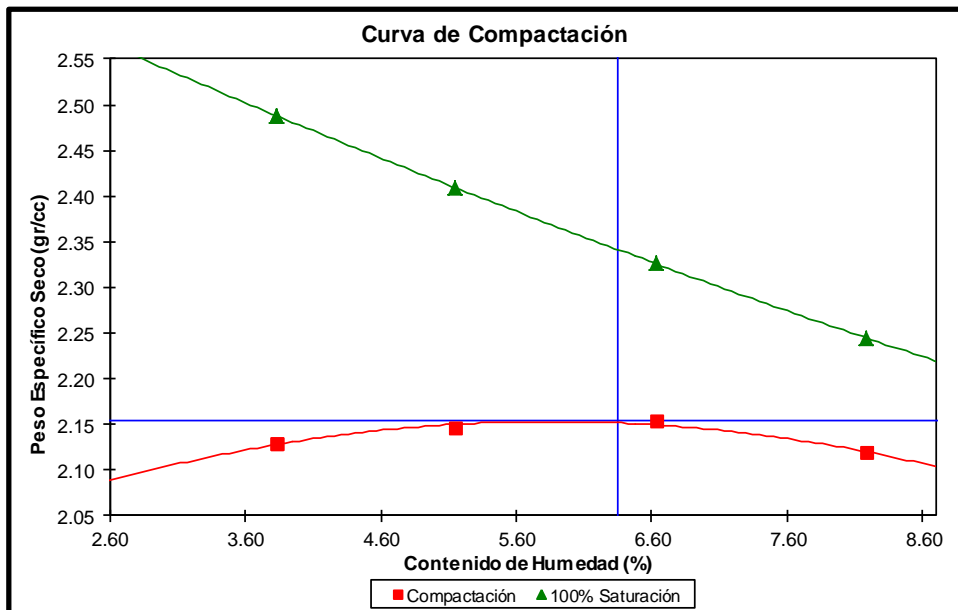
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|--|---------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 2.21 | 2.26 | 2.30 | 2.29 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 3.84 | 5.15 | 6.63 | 8.18 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.13 | 2.15 | 2.15 | 2.12 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (100 % de saturación) | (gr/cc) | 2.49 | 2.41 | 2.33 | 2.25 |

| | | |
|--|---------|------|
| OCH | (%) | 6.35 |
| γ_d max | (gr/cc) | 2.15 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 2.11 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 2.05 |





ENSAYO : PROCTOR ESTÁNDAR
METODO : Estandar-C
NORMA : ASTM D-698

INFORME : Estabilización Suelo - Cemento
PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para Vías a nivel de afirmado.

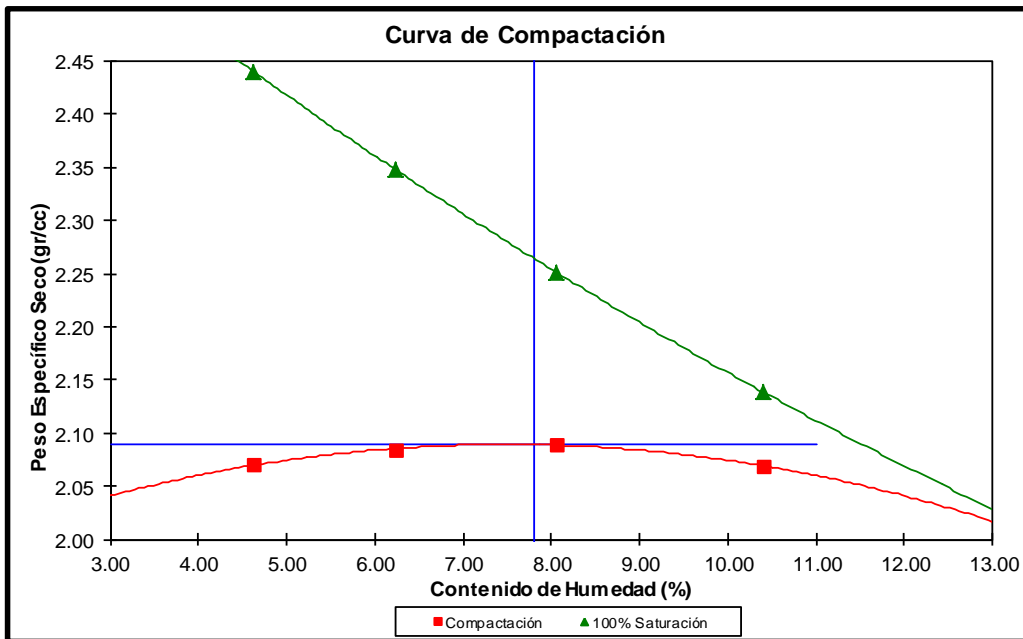
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
UBICACION : Zona R - Huaycan ATE
FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|---|--|------|------|------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | | 2.17 | 2.21 | 2.26 | 2.28 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) (%) | | 4.63 | 6.24 | 8.05 | 10.40 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | | 2.07 | 2.08 | 2.09 | 2.07 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | | 2.44 | 2.35 | 2.25 | 2.14 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | |
|--|------|
| OCH (%) | 7.81 |
| γ_d max (gr/cc) | 2.09 |
| γ_d max (98%) (gr/cc) | 2.05 |
| γ_d max (95%) (gr/cc) | 1.99 |





ENSAYO : PROCTOR ESTÁNDAR
METODO : Estandar-C
NORMA : ASTM D 698

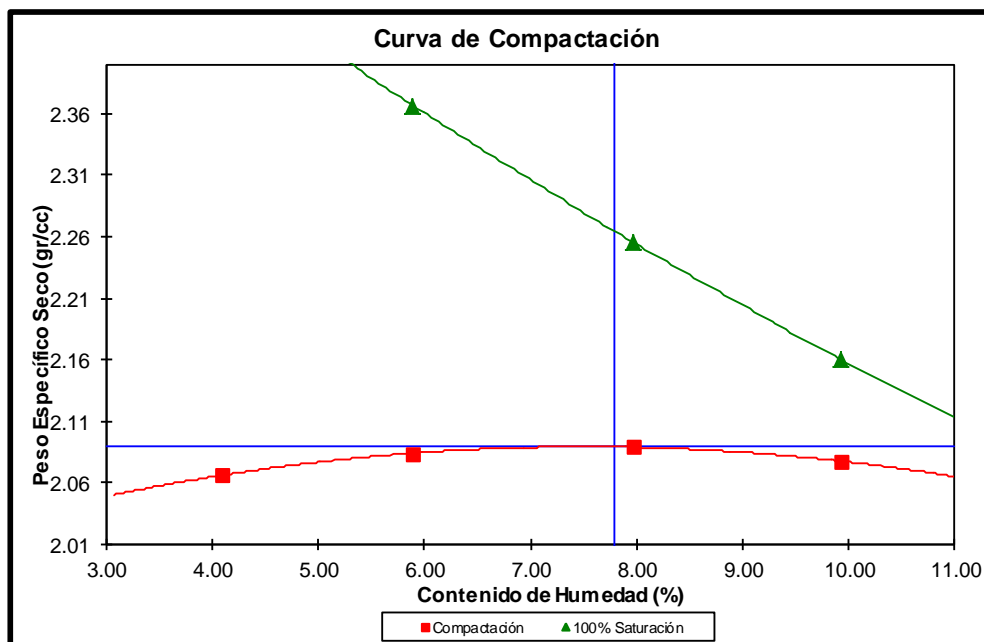
INFORME : Estabilización Suelo - Cemento - Zeolita
PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para Vías a nivel de afirmado.
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
UBICACION : Zona R - Huaycan ATE
FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|---|---------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 2.15 | 2.21 | 2.26 | 2.28 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 4.08 | 5.89 | 7.97 | 9.93 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.07 | 2.08 | 2.09 | 2.08 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.47 | 2.37 | 2.26 | 2.16 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|--|---------|------|
| OCH | (%) | 7.80 |
| γ_d max | (gr/cc) | 2.09 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 2.05 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.99 |





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO
 METODO : Estandar-C
 NORMA : ASTM D1557-91

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Zona R - Huaycán
 FECHA : 31/05/2014

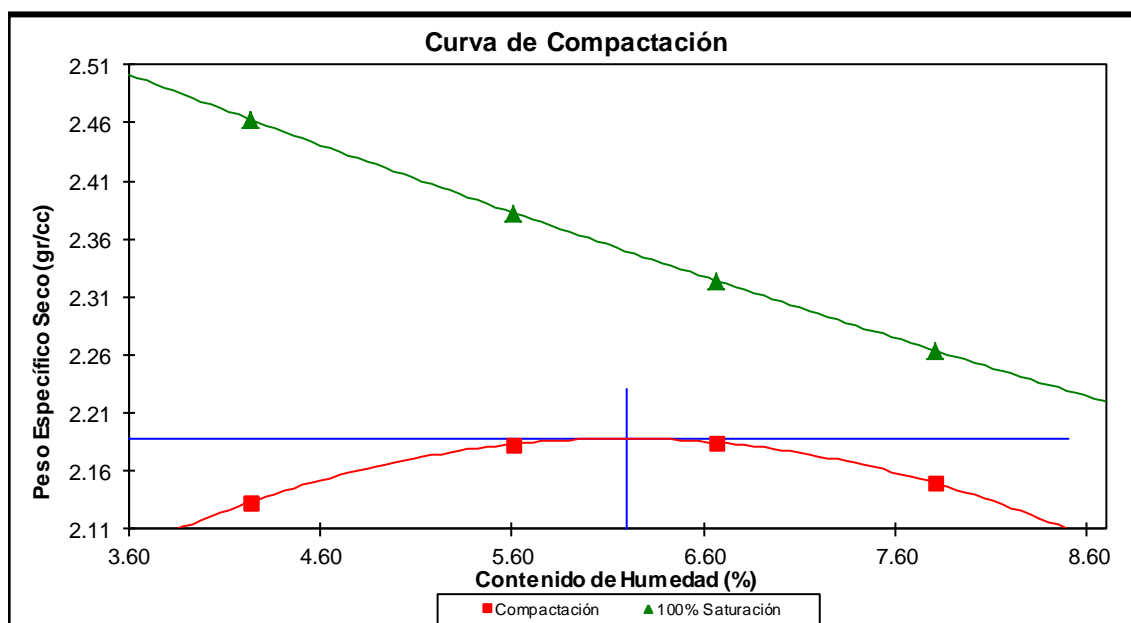
TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : N.R.

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | | |
|-------------------------------------|---------|---|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | - | 2.22 | 2.31 | 2.32 | 2.33 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | - | 4.23 | 5.61 | 7.81 | 6.67 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | - | 2.13 | 2.18 | 2.15 | 2.18 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | - | 2.46 | 2.38 | 2.26 | 2.32 |
| (100 % de saturación) | | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|------|
| OCH | (%) | 6.20 |
| γ_d max | (gr/cc) | 2.19 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 2.14 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 2.08 |





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Suelo Natural

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para Vías a nivel de afirmado.

SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

UBICACION : Zona R - Huaycan ATE

FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata

No DE EXPLORACION : 1.00

No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREA' (m) : NR

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.25 | 2.16 | 2.08 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 4.26 | 6.39 | 6.29 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 2.16 | 2.03 | 1.96 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (G_w) (%) | 42.68 | 49.16 | 42.61 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5570.00 | 5290.00 | 5341.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 31.641 | 47.199 | 55.371 |

| PENETRACION | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 794.29 | 79.43 | 366.60 | 36.66 | 225.33 | 22.53 |
| 0.200 | 1500 | 1679.58 | 111.97 | 650.82 | 43.39 | 404.42 | 26.96 |

| | | | |
|--|------|------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 8.31 | 9.29 | 10.31 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 4.05 | 2.90 | 4.02 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 0.40 | 0.28 | 0.26 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 75.00 | 58.00 | 40.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 96.00 | 70.00 | 48.00 |

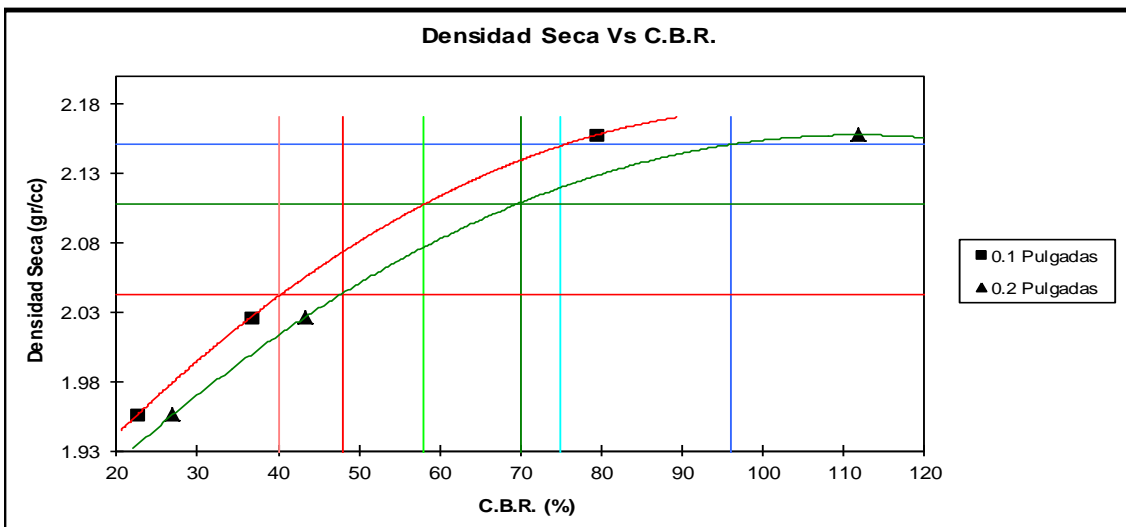
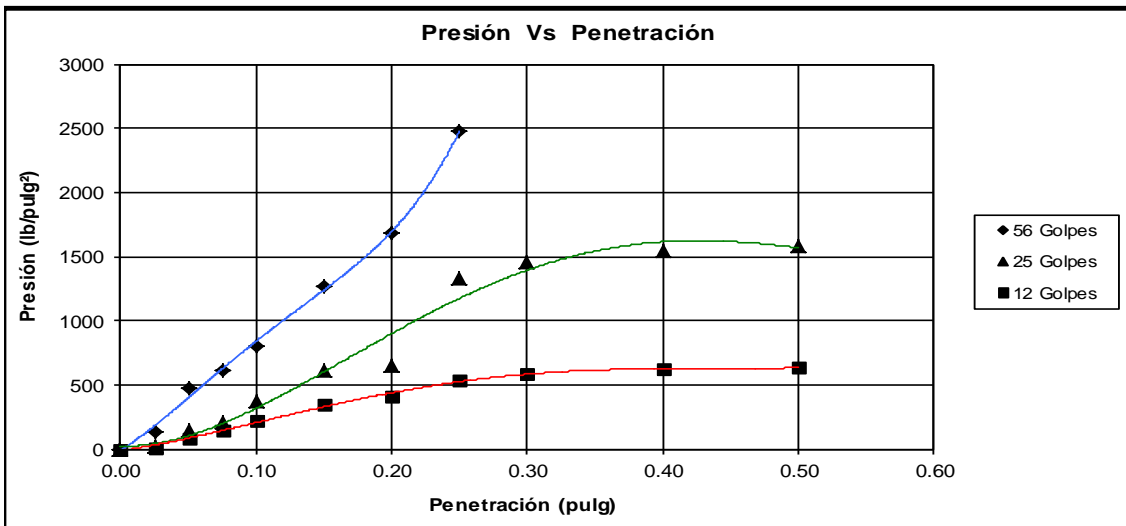


ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Suelo Natural
PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para Vías a nivel de afirmado.
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
UBICACION : Zona R - Huaycan ATE
FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREAT (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

 INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero 1:3
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 UBICACION : Zona R - Huaycán
 FECHA : 31/05/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.36 | 2.20 | 2.08 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 7.14 | 6.01 | 5.95 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 2.20 | 2.08 | 1.96 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (G_w) (%) | 80.30 | 51.58 | 41.13 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5570.00 | 5290.00 | 5341.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 7.910 | 23.600 | 47.461 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 2540.82 | 254.08 | 1371.28 | 137.13 | 787.53 | 78.75 |
| 0.200 | 1500 | 3980.17 | 265.34 | 2261.87 | 150.79 | 1277.57 | 85.17 |

| | | | |
|--|------|------|------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 7.17 | 8.54 | 9.78 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 0.03 | 2.53 | 3.83 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 1.40 | 0.53 | 0.29 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 227.00 | 184.00 | 138.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 241.00 | 197.00 | 151.00 |

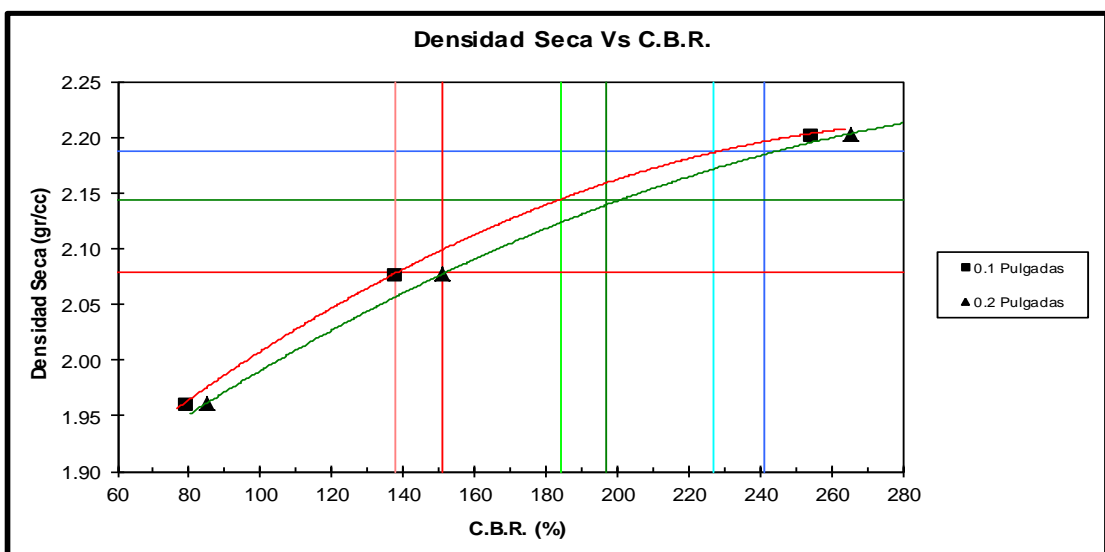
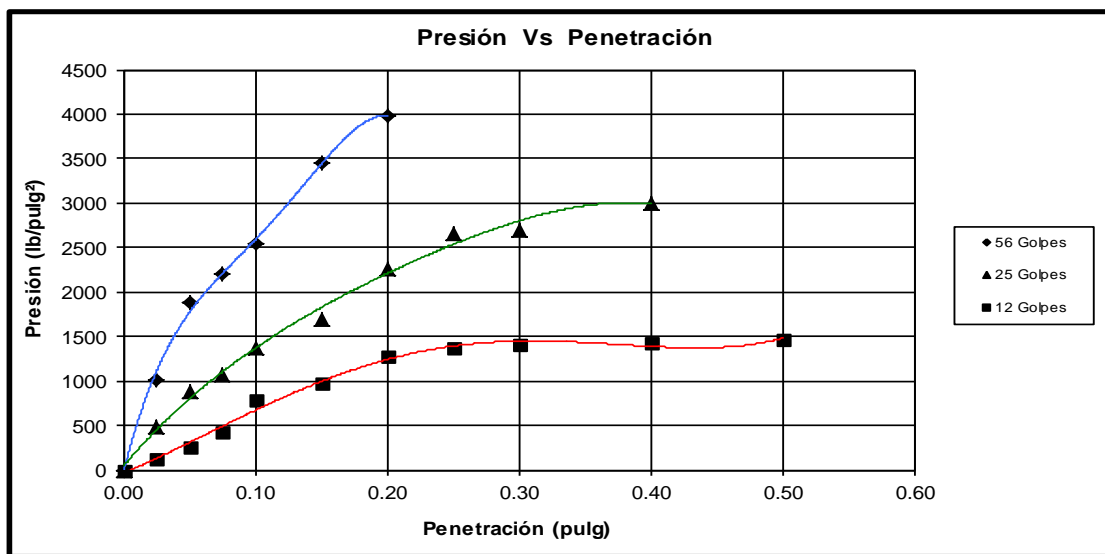


ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización con Biopolímero 1:3
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de
PROYECTO : suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
UBICACION : Zona R - Huaycán
FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización con Biopolímero 1:5
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

UBICACION : Zona R - Huaycán
 FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.35 | 2.19 | 2.07 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 7.14 | 6.01 | 5.95 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 2.19 | 2.07 | 1.96 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (G_w) (%) | 78.12 | 50.76 | 40.83 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5570.00 | 5290.00 | 5341.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 15.820 | 39.333 | 32.515 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 1663.59 | 166.36 | 940.00 | 94.00 | 520.00 | 52.00 |
| 0.200 | 1500 | 3003.14 | 200.21 | 1720.00 | 114.67 | 900.00 | 60.00 |

| | | | |
|--|------|------|------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 7.42 | 8.50 | 9.60 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 0.28 | 2.49 | 3.65 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 0.72 | 0.32 | 0.40 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 164.00 | 132.00 | 98.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 197.00 | 162.00 | 120.00 |

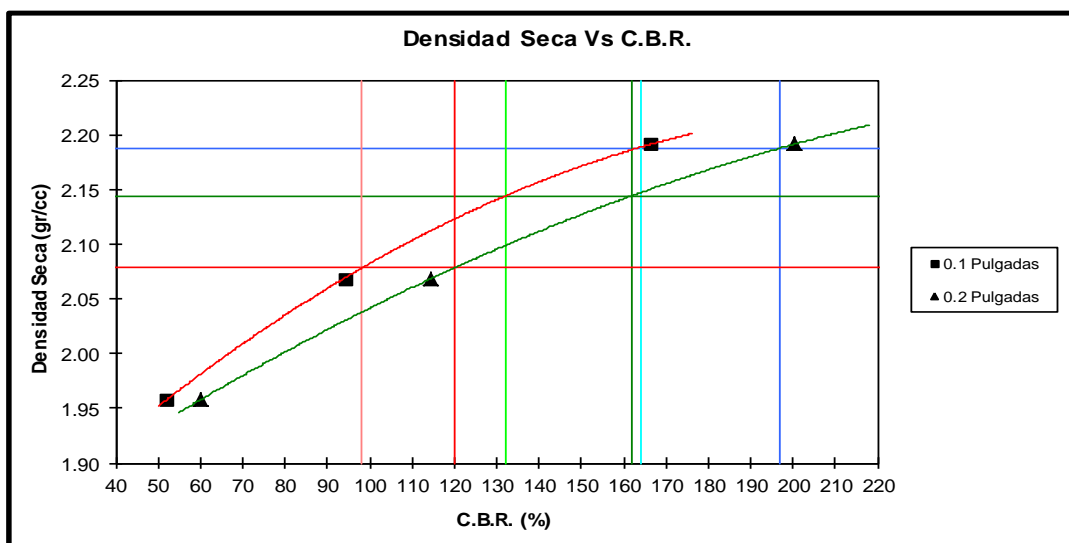
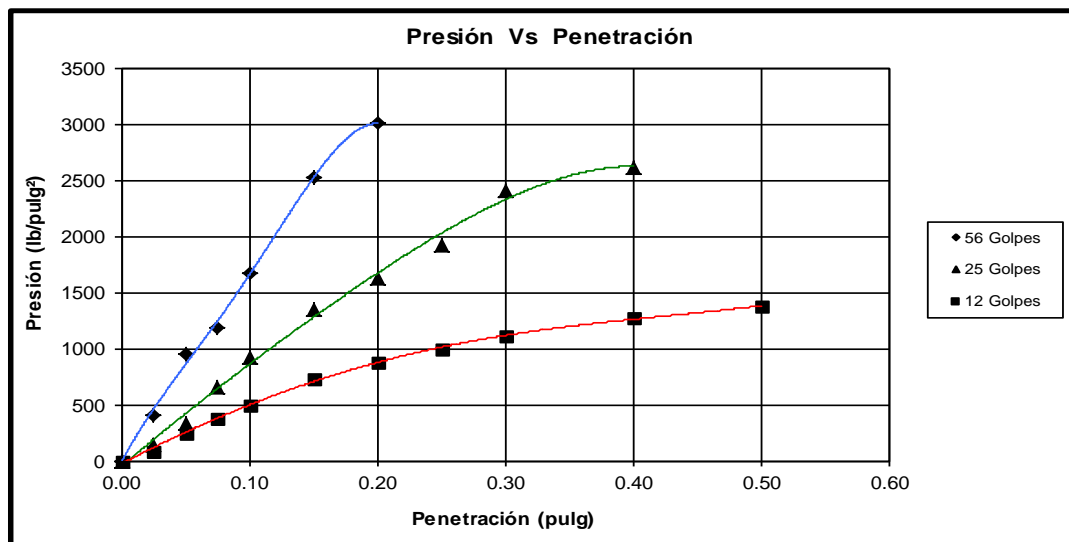


ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización con Biopolímero 1:5
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de
UBICACION : suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
FECHA : Zona R - Huaycán
: 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

 INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero 1:7
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 UBICACION : Zona R - Huaycán
 FECHA : 31/05/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 1.00
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 2.36 | 2.28 | 2.19 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 6.80 | 6.59 | 6.56 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 2.21 | 2.14 | 2.06 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (Gw) (%) | 77.18 | 64.70 | 54.32 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|----------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5290.00 | 54852.00 | 5635.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 15.820 | 7.867 | 7.860 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 1320.43 | 132.04 | 942.86 | 94.29 | 765.89 | 76.59 |
| 0.200 | 1500 | 2349.41 | 156.63 | 1603.62 | 106.91 | 1280.25 | 85.35 |

| | | | |
|--|------|------|------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 7.54 | 8.72 | 9.88 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 0.74 | 2.13 | 3.32 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (Gw) (%) | 0.74 | 1.66 | 1.80 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 110.00 | 95.00 | 80.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 126.00 | 107.50 | 90.00 |



ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

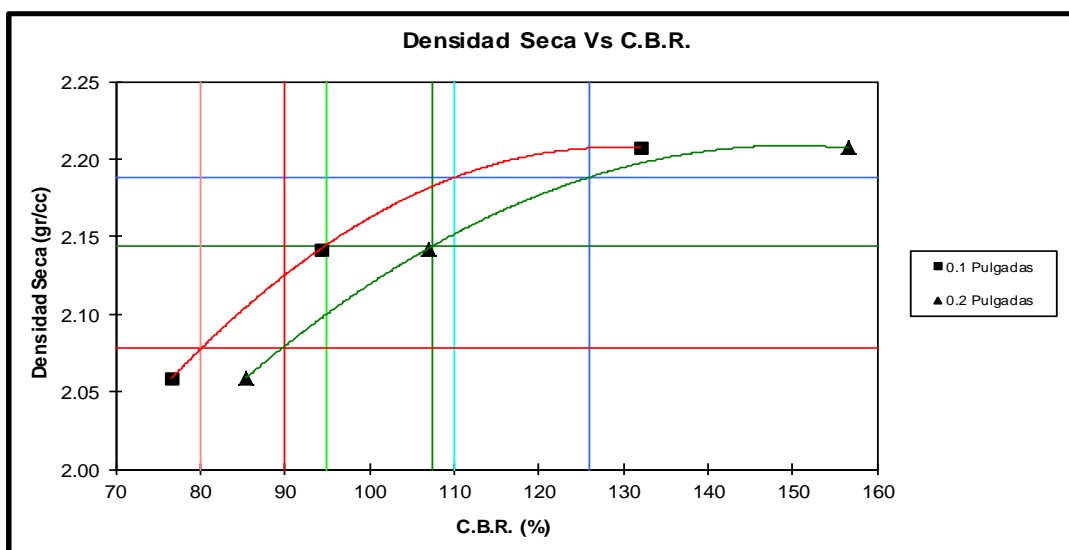
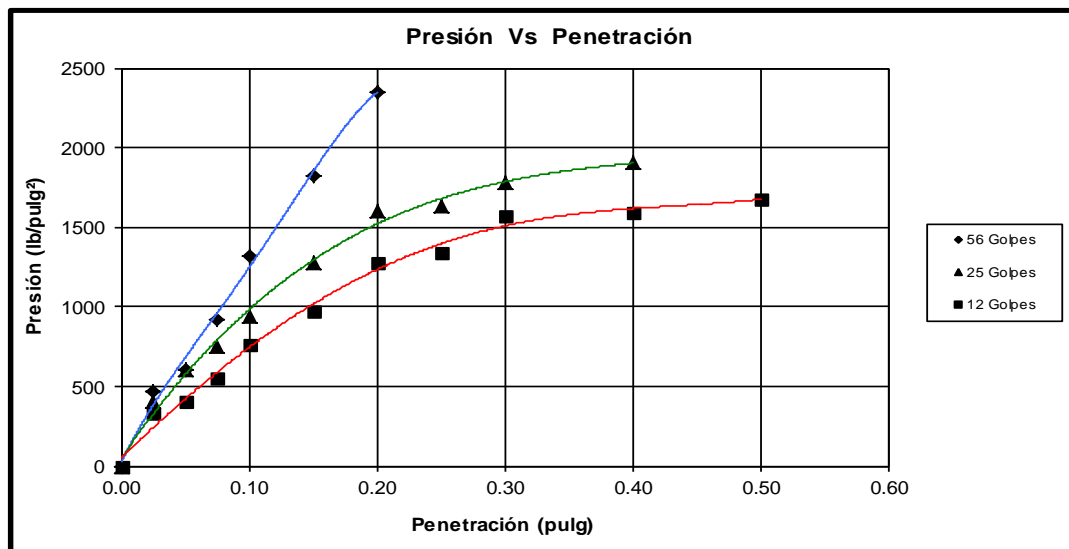
INFORME : Estabilización Suelo - Biopolímero 1:7
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de
suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

UBICACION : Zona R - Huaycán
FECHA : 31/05/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : NR
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





**Resistencia a la Compresión Simple
 MTC E 1108 - 2000**

Proyecto: Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante: Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Muestra: Suelo Natural

Ubicación: Zona R - Huaycán

Ensayo : Compresión Simple
Fecha: 11/10/2014

Clasificación SUCS: GP
Método: C

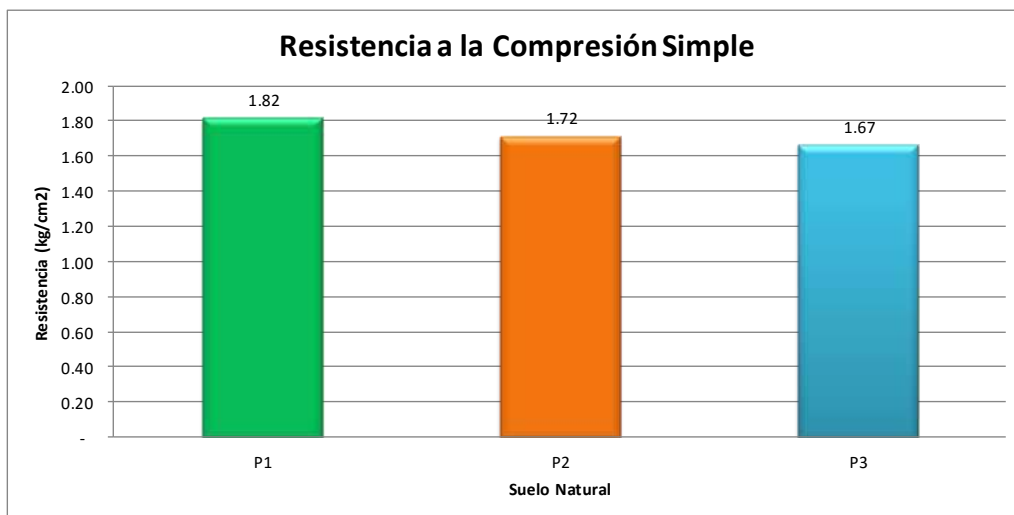
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.40 | 101.20 | 101.50 |
| Altura : | mm | 114.40 | 114.50 | 114.20 |
| Área : | mm ² | 8,075.43 | 8,043.61 | 8,091.37 |
| Volumen : | mm ³ | 923,829.48 | 920,993.14 | 924,034.25 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|-------------|--------|--------|
| Carga (kg) | 147.00 | 138.00 | 135.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 1.82 | 1.72 | 1.67 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 1.73 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento (5%)

Ubicación : Zona R - Huaycán

Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** GP

Fecha: 11/10/2014 **Método:** C

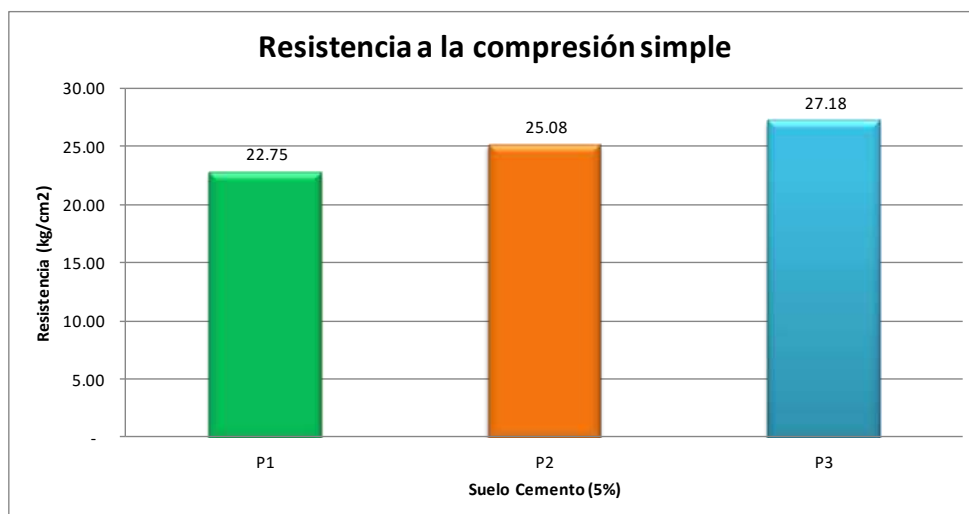
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.50 | 101.40 | 101.40 |
| Altura : | mm | 114.30 | 114.20 | 114.30 |
| Area : | mm ² | 8,091.37 | 8,075.43 | 8,075.43 |
| Volumen : | mm ³ | 924,843.39 | 922,214.39 | 923,021.93 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 1,841.00 | 2,025.00 | 2,195.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 22.75 | 25.08 | 27.18 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 25.00 | | |





**Resistencia a la Compresión Simple
 MTC E 1108 - 2000**

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento - Zeolita (C2% - Z1%)

Ubicación : Zona R - Huaycán

Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** GP

Fecha: 24/10/2014 **Método:** C

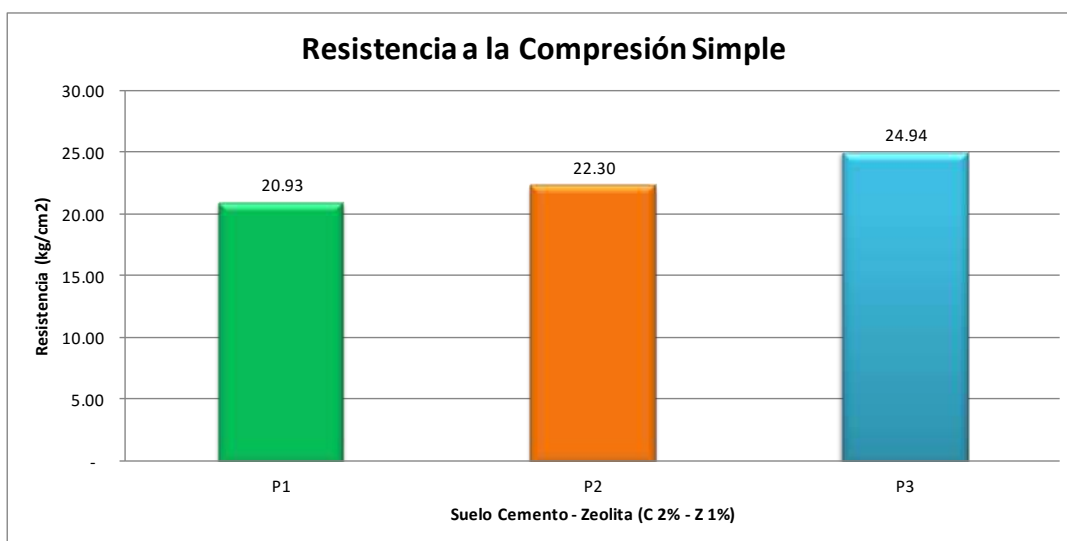
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.40 | 101.10 | 101.30 |
| Altura : | mm | 114.30 | 114.30 | 114.50 |
| Area : | mm ² | 8,075.43 | 8,027.72 | 8,059.51 |
| Volumen : | mm ³ | 923,021.93 | 917,568.35 | 922,814.18 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 1,690.00 | 1,790.00 | 2,010.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 20.93 | 22.30 | 24.94 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 22.72 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento - Zeolita (C3% - Z1%)

Ubicación : Zona R - Huaycán

Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** GP

Fecha: 24/10/2014 **Método:** C

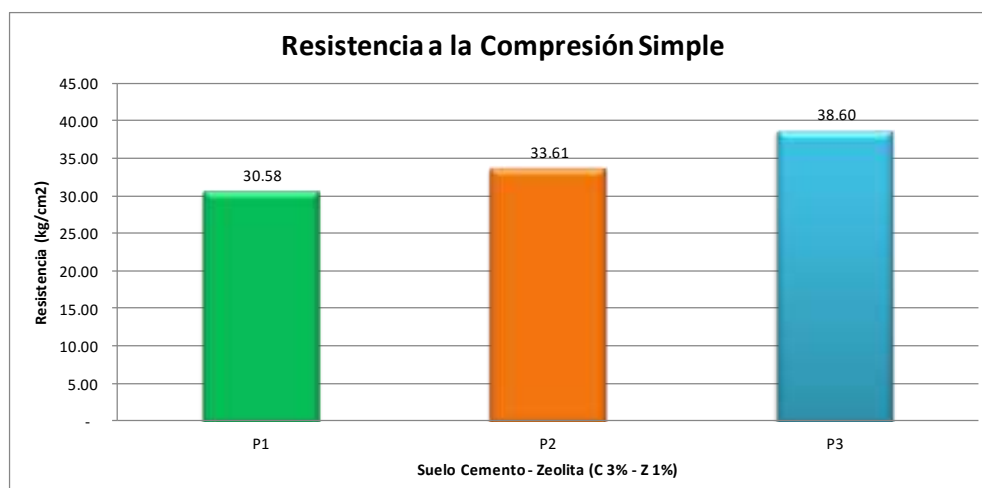
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.50 | 101.70 | 101.20 |
| Altura : | mm | 114.00 | 114.10 | 114.40 |
| Area : | mm ² | 8,091.37 | 8,123.29 | 8,043.61 |
| Volumen : | mm ³ | 922,415.98 | 926,867.03 | 920,188.77 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,474.00 | 2,730.00 | 3,105.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 30.58 | 33.61 | 38.60 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 34.26 | | |





**Resistencia a la Compresión Simple
 MTC E 1108 - 2000**

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento - Zeolita (C4% - Z1%)

Ubicación : Zona R - Huaycán

Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** GP

Fecha: 16/10/2014 **Método:** C

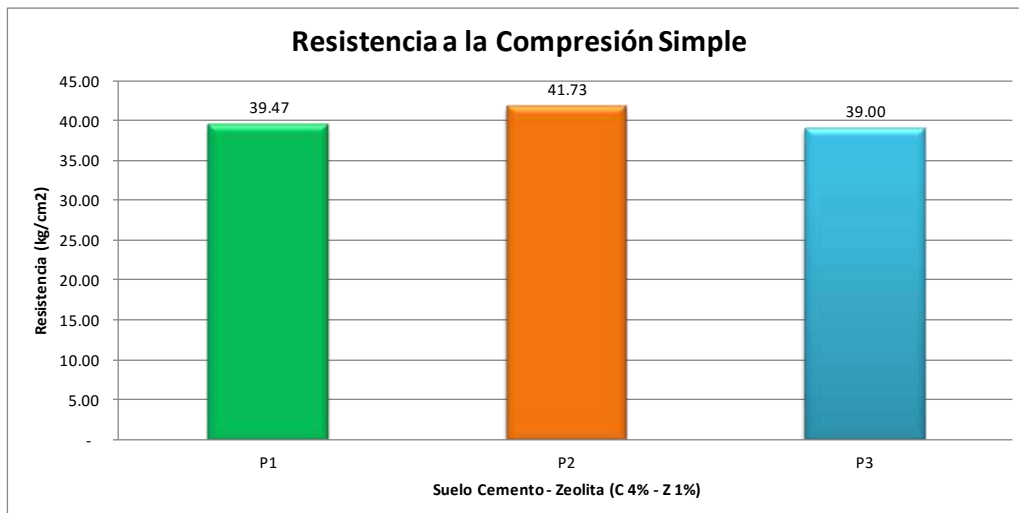
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.20 | 101.10 | 101.00 |
| Altura : | mm | 114.10 | 114.00 | 114.50 |
| Area : | mm ² | 8,043.61 | 8,027.72 | 8,011.85 |
| Volumen : | mm ³ | 917,775.69 | 915,160.03 | 917,356.44 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 3,175.00 | 3,350.00 | 3,125.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 39.47 | 41.73 | 39.00 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 40.07 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento - Zeolita (C3% - Z2%)

Ubicación : Zona R - Huaycán

Ensayo : Compresión Simple **Clasificación SUCS:** GP

Fecha: 16/10/2014 **Método:** C

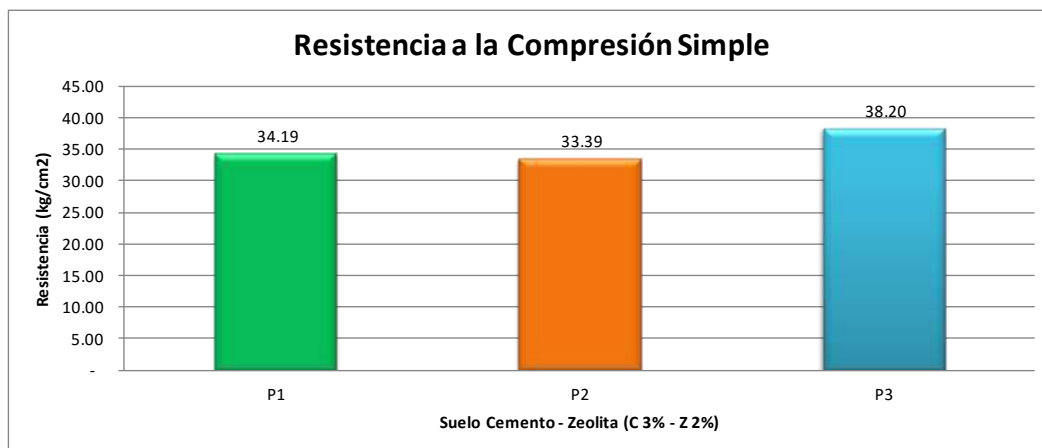
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | unidad | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro | mm | 101.20 | 101.20 | 101.40 |
| Altura | mm | 114.00 | 114.00 | 114.10 |
| Area | mm ² | 8,043.61 | 8,043.61 | 8,075.43 |
| Volumen | mm ³ | 916,971.33 | 916,971.33 | 921,406.85 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 2,750.00 | 2,686.00 | 3,085.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 34.19 | 33.39 | 38.20 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 35.26 | | |





ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
 FECHA : 29/11/2014

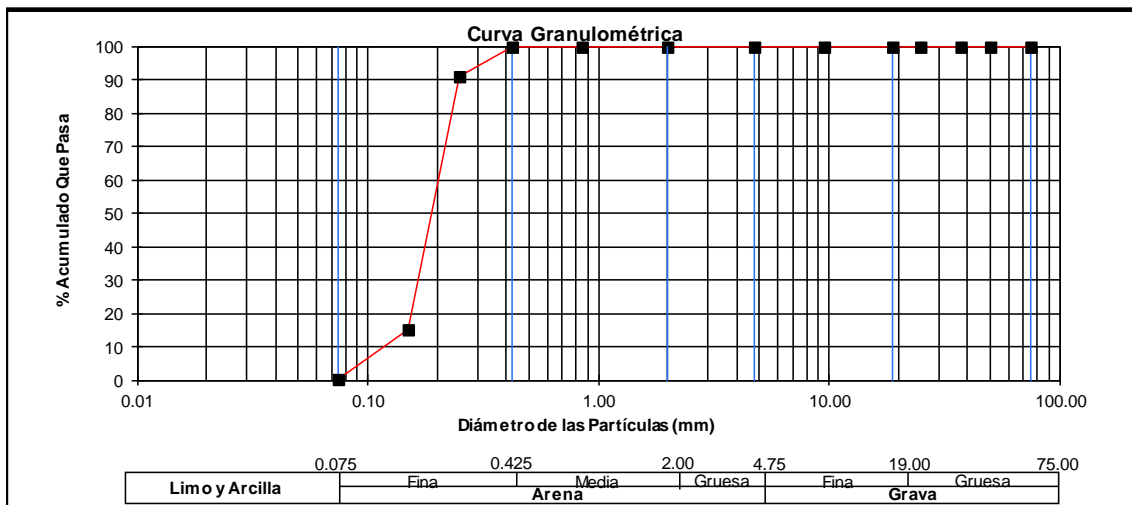
TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE EXPLORACION : 0.00
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : 0.00
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO | % A CUMULADO QUE PASA | 75.000 | 3" | 100.00 |
|--------------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | | 50.000 | 2" | 100.00 |
| | | 37.500 | 1 1/2" | 100.00 |
| | | 25.000 | 1" | 100.00 |
| | | 19.000 | 3/4" | 100.00 |
| | | 9.500 | 3/8" | 100.00 |
| | | 4.750 | No 004 | 100.00 |
| | | 2.000 | No 010 | 100.00 |
| | | 0.850 | No 020 | 100.00 |
| | | 0.425 | No 040 | 99.93 |
| | | 0.250 | No 060 | 91.01 |
| | | 0.150 | No 100 | 15.28 |
| | | 0.075 | No 200 | 0.06 |
| D10 (mm) | 0.12 | Cu | 1.72 | |
| D30 (mm) | 0.17 | Cc | 1.15 | |
| D60 (mm) | 0.20 | | | |

| | | |
|--------------------------------------|---------|------|
| PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) | | 2.70 |
| PESO ESPECIFICO NATURAL (γ) | (gr/cc) | 1.63 |
| HUMEDAD NATURAL (ω) | (%) | 0.27 |
| LIMITE LIQUIDO (LL) | (%) | NP |
| LIMITE PLASTICO (LP) | (%) | NP |

| | |
|------------------------|----|
| CLASIFICACION S.U.C.S. | SP |
|------------------------|----|





ENSAYO : PROCTOR ESTANDAR
 METODO : Estándar - A
 NORMA : ASTM D1557-91

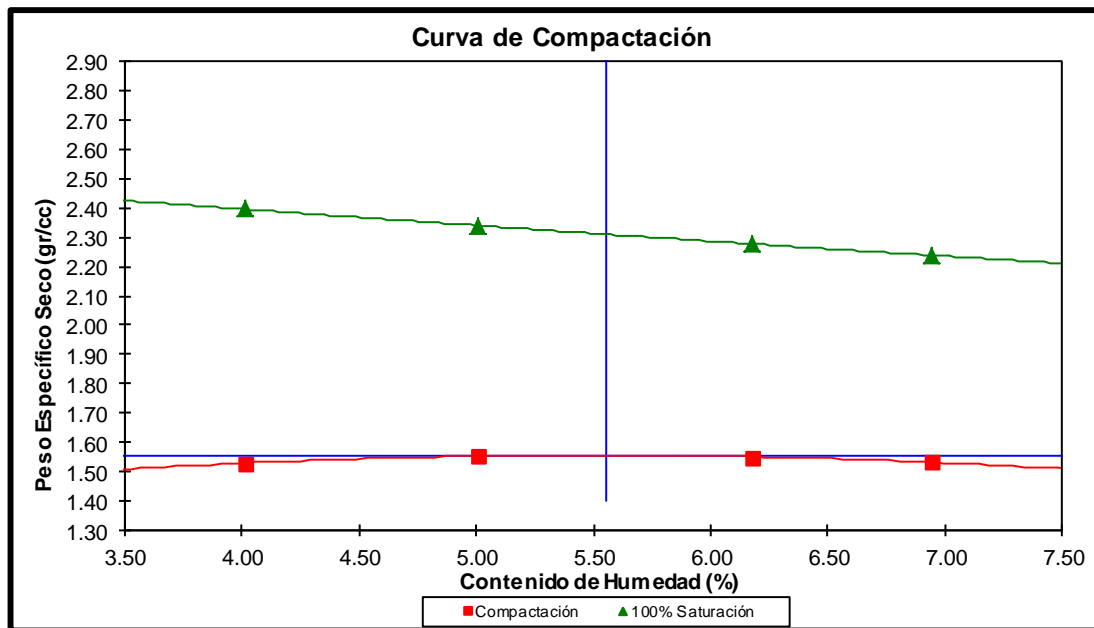
 INFORME : Suelo Natural
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
 FECHA : 29/11/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calitcata
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : N.P.
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.59 | 1.65 | 1.64 | 1.63 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 4.01 | 6.17 | 6.94 | 5.00 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.53 | 1.55 | 1.53 | 1.55 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.40 | 2.28 | 2.24 | 2.34 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|------|
| OCH | (%) | 5.55 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.56 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.53 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.48 |





ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO
METODO : Modificado A
NORMA : ASTM D1557-91

INFORME : Suelo Natural
PROYECTO : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

SOLICITANTE : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de : afirmado.

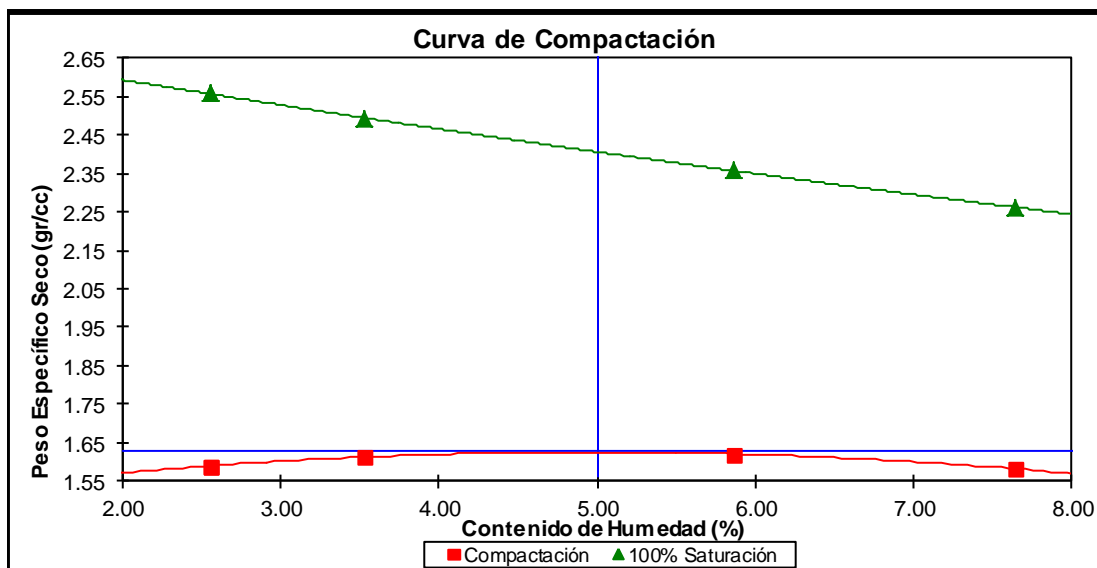
UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE EXPLORACION : 1.00
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NP
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.63 | 1.67 | 1.71 | 1.70 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 2.55 | 3.52 | 5.86 | 7.64 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.59 | 1.62 | 1.62 | 1.58 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.56 | 2.49 | 2.36 | 2.26 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|------|
| OCH | (%) | 5.00 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.63 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.59 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.55 |





ENSAYO : PROCTOR ESTANDAR
 METODO : Estandar-C
 NORMA : ASTM D1557-91

 INFORME : Estabilización Suelo Cemento
 :
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.

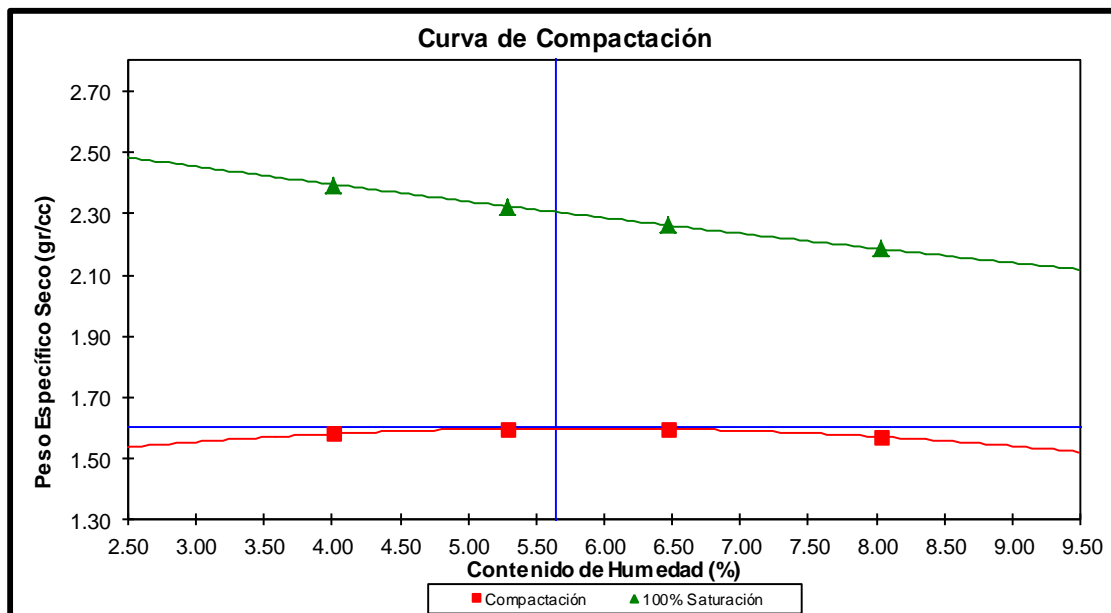
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Las Praderas de Lurín
 FECHA : 29/11/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NP
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.64 | 1.68 | 1.70 | 1.70 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 4.02 | 5.28 | 6.47 | 8.03 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.58 | 1.60 | 1.60 | 1.57 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.40 | 2.32 | 2.26 | 2.18 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|------|
| OCH | (%) | 5.65 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.60 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.57 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.52 |





ENSAYO : PROCTOR ESTANDAR
 METODO : Estandar-C
 NORMA : ASTM D1557-91

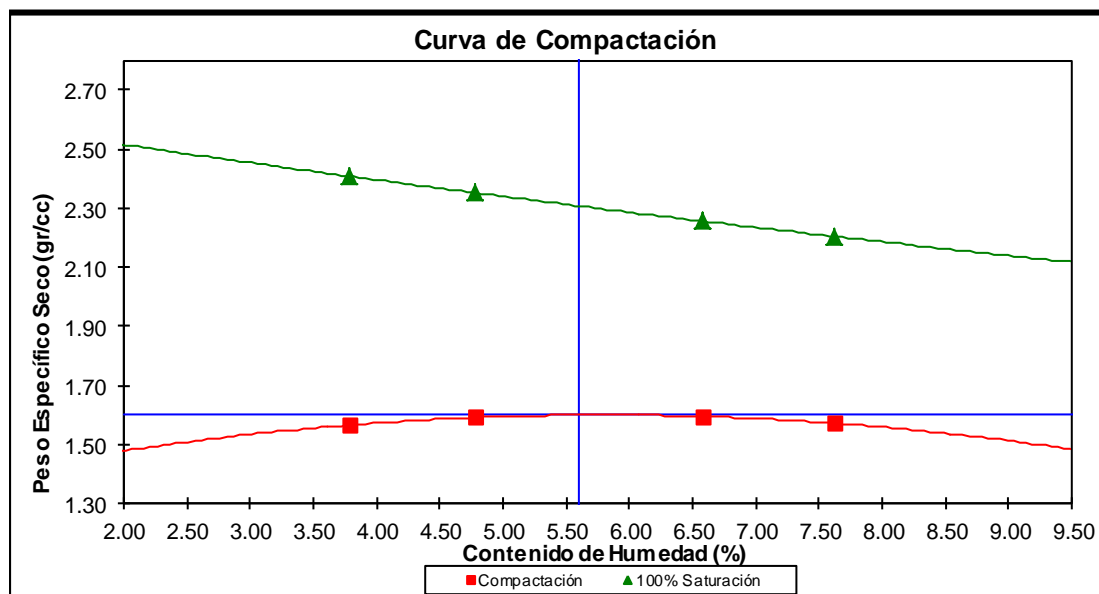
INFORME : Estabilización Suelo Cemento - Zeolita
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
 FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : NP
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.62 | 1.67 | 1.70 | 1.69 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 3.78 | 4.77 | 6.57 | 7.62 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.57 | 1.59 | 1.59 | 1.57 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 2.41 | 2.35 | 2.26 | 2.20 |
| (100 % de saturación) | | | | | |

| | | |
|----------------------|---------|------|
| OCH | (%) | 5.60 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.60 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.57 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.52 |





ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO
 METODO : Modificado A
 NORMA : ASTM D1557-91

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero
 PROYECTO : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 SOLICITANTE : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de : afirmado.

UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
 FECHA : 29/11/2014

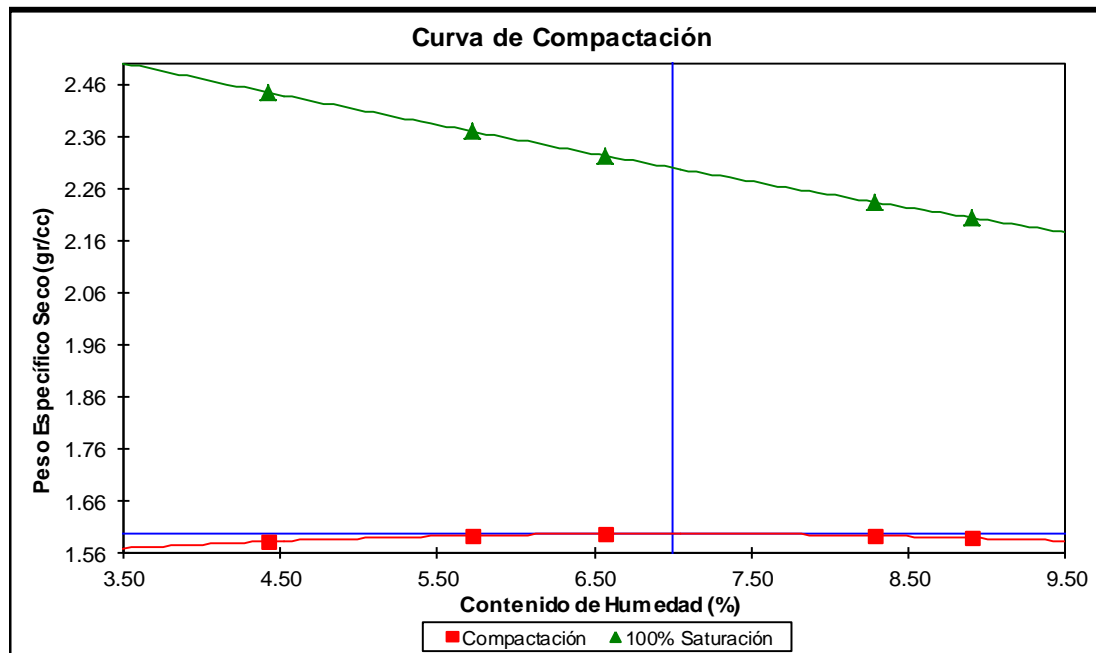
TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m) : N.P.

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | | | | |
|--|---------|------|------|------|------|------|
| PESO ESPECIFICO (γ) | (gr/cc) | 1.65 | 1.68 | 1.70 | 1.72 | 1.73 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (ω) | (%) | 4.42 | 5.72 | 6.57 | 8.28 | 8.91 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) | (gr/cc) | 1.58 | 1.59 | 1.60 | 1.59 | 1.59 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (100 % de saturación) | (gr/cc) | 2.44 | 2.37 | 2.32 | 2.23 | 2.20 |

| | | |
|----------------------|---------|------|
| OCH | (%) | 7.00 |
| γ_d max | (gr/cc) | 1.60 |
| γ_d max (98%) | (gr/cc) | 1.56 |
| γ_d max (95%) | (gr/cc) | 1.52 |





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Suelo Natural
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
 FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREAT (m) : N.P.
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 1.78 | 1.70 | 1.63 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 7.37 | 6.89 | 7.03 |
| ANTES DE SATURAR (ω) | | | |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.66 | 1.59 | 1.52 |
| GRADO DE SATURACION (%) | 31.75 | 26.54 | 24.43 |
| ANTES DE SATURAR (G_w) | | | |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5648.00 | 5645.00 | 5644.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 0.661 | 1.070 | 1.874 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 374.70 | 37.47 | 265.58 | 26.56 | 203.91 | 20.39 |
| 0.200 | 1500 | 621.02 | 41.40 | 481.52 | 32.10 | 373.35 | 24.89 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 23.38 | 21.94 | 21.52 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 16.01 | 15.05 | 14.49 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 99.04 | 82.49 | 71.72 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 31.40 | 27.30 | 22.50 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 36.90 | 32.90 | 27.50 |



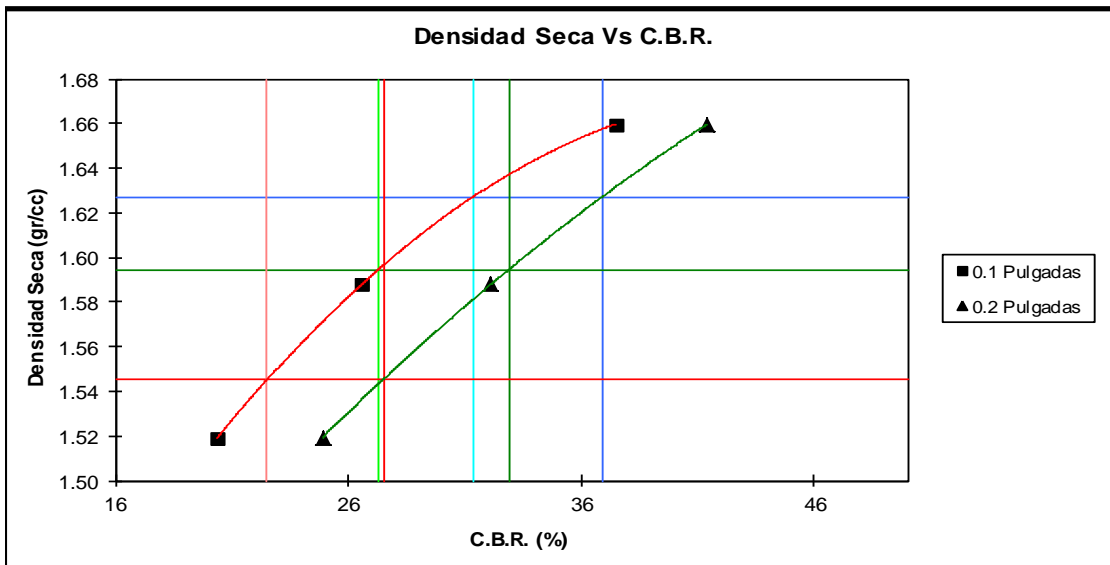
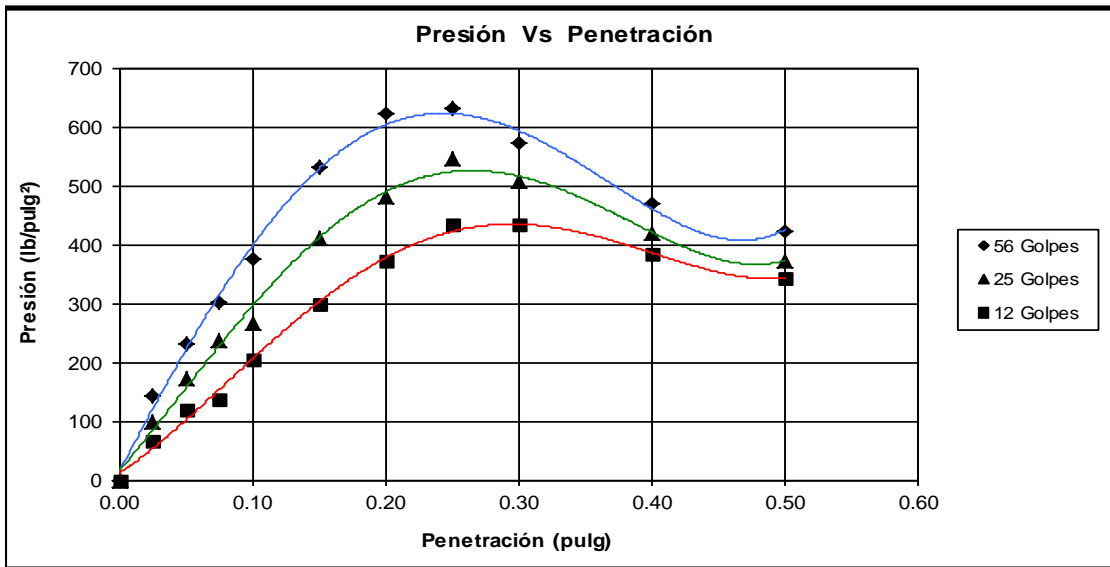
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Suelo Natural
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de
suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : N.P.
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 1:1
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia
 de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
 UBICACION : Las Praderas de Lurín
 FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREAT (m) : N.P.
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 1.73 | 1.67 | 1.56 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 7.19 | 7.06 | 7.27 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.61 | 1.56 | 1.45 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (Gw) (%) | 29.53 | 26.71 | 23.29 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5725.00 | 5522.00 | 5637.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 0.370 | 0.575 | 0.803 |

| PENETRACION | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 580.38 | 58.04 | 461.22 | 46.12 | 222.65 | 22.27 |
| 0.200 | 1500 | 998.13 | 66.54 | 728.00 | 48.53 | 361.21 | 24.08 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 18.26 | 20.20 | 21.70 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 11.07 | 13.14 | 14.43 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (Gw) (%) | 75.99 | 77.94 | 71.22 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 54.80 | 47.50 | 37.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 60.60 | 50.00 | 38.00 |

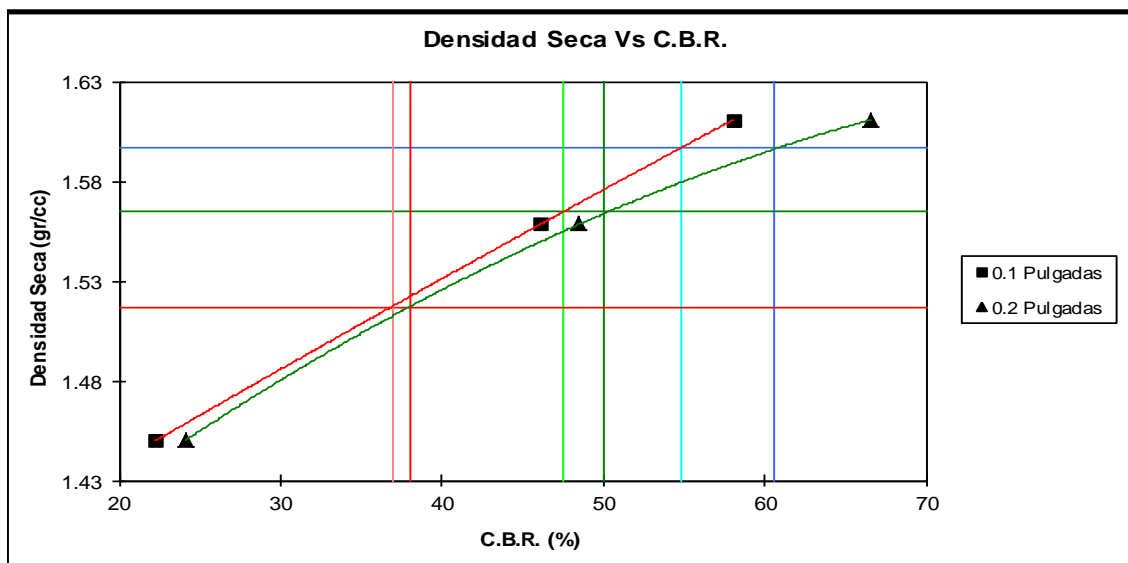
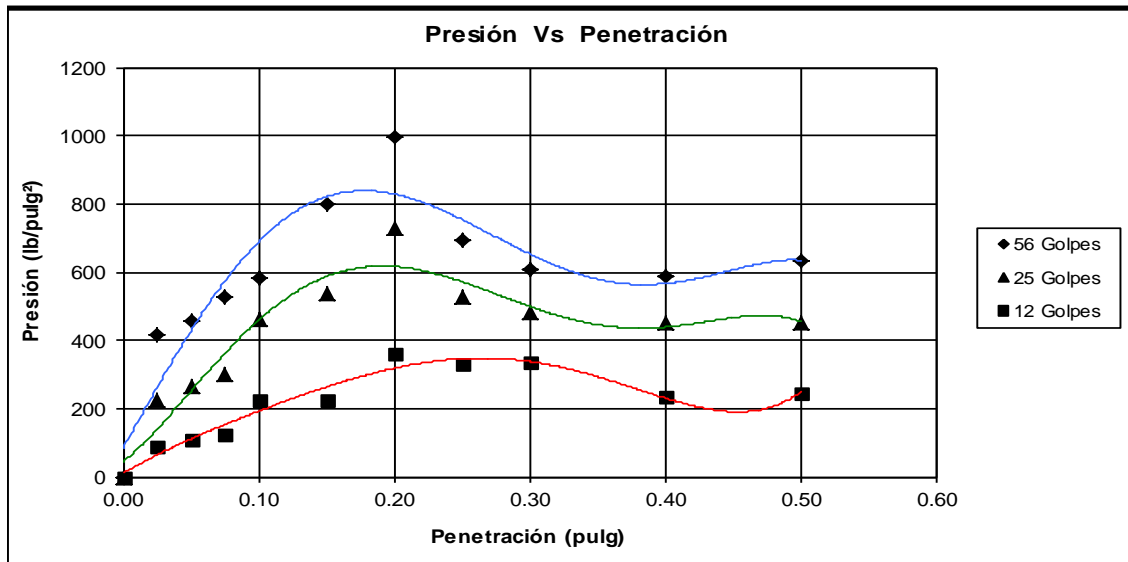


ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 1:1
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de
 UBICACION : suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
 FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FRE (m) : N.P.
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 1:2
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín

FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata

No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREAT (m) : N.P.

PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 1.74 | 1.65 | 1.62 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 7.37 | 6.89 | 7.03 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.62 | 1.55 | 1.51 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (Gw) (%) | 29.83 | 24.97 | 24.21 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5671.00 | 5586.00 | 5617.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 0.236 | -1.047 | 0.740 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 550.58 | 55.06 | 320.75 | 32.08 | 230.69 | 23.07 |
| 0.200 | 1500 | 878.08 | 58.54 | 589.86 | 39.32 | 481.52 | 32.10 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 23.38 | 21.94 | 21.52 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 16.01 | 15.05 | 14.49 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (Gw) (%) | 94.07 | 81.52 | 72.87 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 47.00 | 37.00 | 24.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 51.50 | 43.00 | 33.00 |



ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

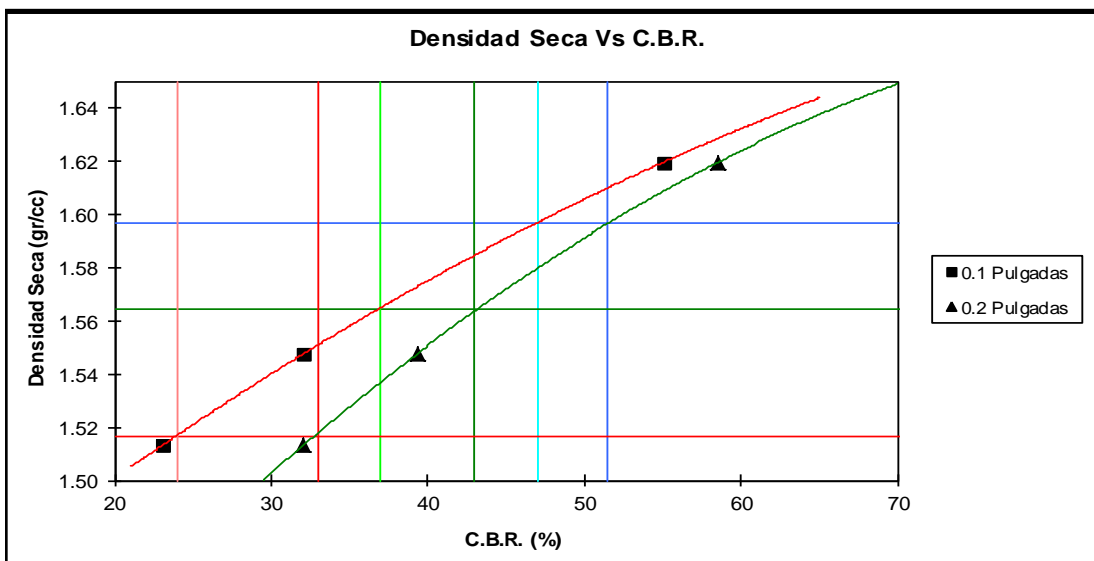
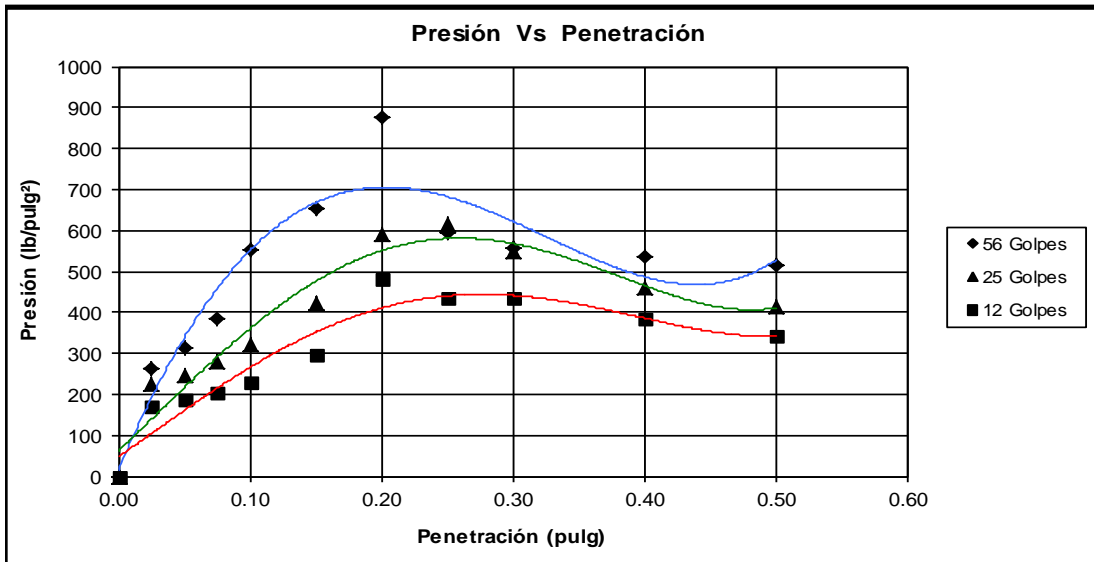
INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 1:2
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de
suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL N.F. (m) : N.P.
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 2:1
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia
 UBICACION : de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vias a nivel de afirmado.
 FECHA : Las Praderas de Lurín - Lurín
 : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREAT (m) : N.P.
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLFES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 1.72 | 1.65 | 1.61 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 6.57 | 6.70 | 6.64 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.61 | 1.55 | 1.51 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (Gw) (%) | 26.97 | 24.92 | 23.22 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| EXPANSION | | | |
| Sobrecarga (gr) | 5494.00 | 5537.00 | 5522.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 0.016 | 0.094 | 0.189 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| PENETRACION | | | | | | | |
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 810.52 | 81.05 | 501.83 | 50.18 | 384.16 | 38.42 |
| 0.200 | 1500 | 1320.43 | 88.03 | 876.73 | 58.45 | 645.40 | 43.03 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 24.15 | 26.53 | 28.03 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 17.58 | 19.83 | 21.39 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (Gw) (%) | 99.13 | 98.59 | 97.78 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 70.60 | 55.90 | 41.00 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 80.50 | 65.50 | 46.50 |

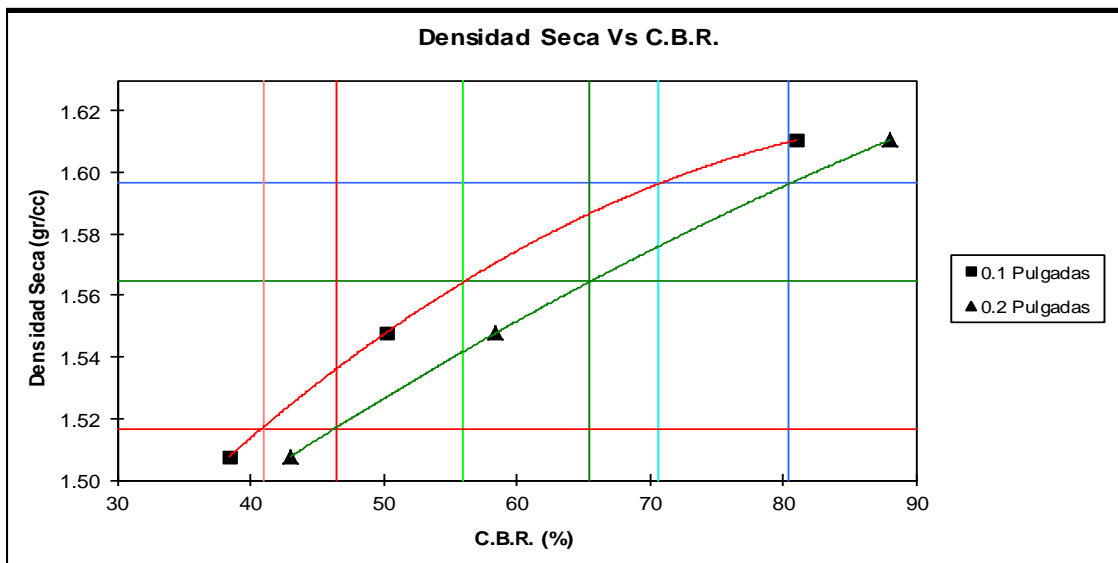
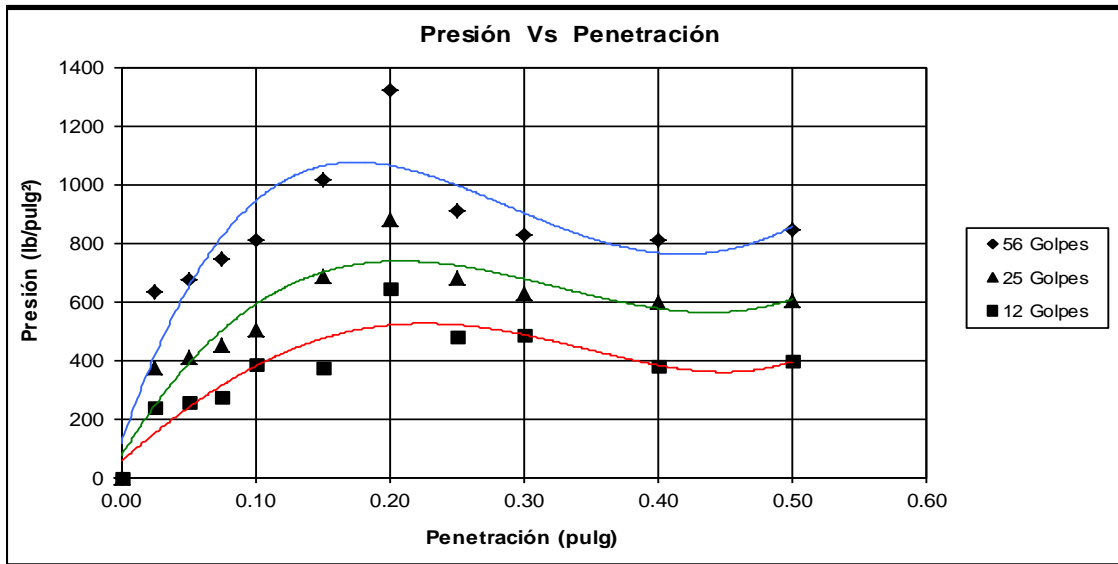


ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 2:1
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
UBICACION : Las Praderas de Lurín
FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FRE (m) : N.P.
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

 INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 3:1
 SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez
 PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.
 UBICACION : Las Praderas de Lurín - Lurín
 FECHA : 29/11/2014

 TIPO DE EXPLORACION : Calicata
 No DE MUESTRA : 1.00

 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREAT (m) : N.P.
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30

| | | | |
|--------------------|----|----|----|
| No GOLPES POR CAPA | 56 | 25 | 12 |
|--------------------|----|----|----|

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| PESO ESPECIFICO (γ) (gr/cc) | 1.73 | 1.63 | 1.58 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (ω) (%) | 7.32 | 6.96 | 6.92 |
| PESO ESPECIFICO SECO (γ_d) (gr/cc) | 1.62 | 1.53 | 1.48 |
| GRADO DE SATURACION ANTES DE SATURAR (G_w) (%) | 30.30 | 25.05 | 23.17 |

| EXPANSION | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|
| Sobrecarga (gr) | 5621.00 | 5674.00 | 5703.00 |
| Tiempo (Hora) | Deformación Acumulada (%) | | |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 0.031 | 0.063 | 0.102 |

| PENETRACION | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---------|---|---------|---|---------|
| Penetración (pulg) | Presión Patrón (lb/pulg ²) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) | Presión Corregida (lb/pulg ²) | CBR (%) |
| 0.100 | 1000 | 878.08 | 87.81 | 524.85 | 52.48 | 424.70 | 42.47 |
| 0.200 | 1500 | 1400.00 | 93.33 | 868.63 | 57.91 | 699.57 | 46.64 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE SATURAR (ω) (%) | 18.26 | 20.20 | 21.70 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ABSORBIDO (ω) (%) | 10.94 | 13.24 | 14.78 |
| GRADO DE SATURACION DESPUES DE SATURAR (G_w) (%) | 75.54 | 72.63 | 72.52 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| C.B.R. | γ_d max (100%) | γ_d max (98%) | γ_d max (95%) |
| C.B.R. (0.1 " de Penetración) (%) | 75.00 | 62.50 | 50.10 |
| C.B.R. (0.2 " de Penetración) (%) | 82.00 | 69.00 | 55.50 |



ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

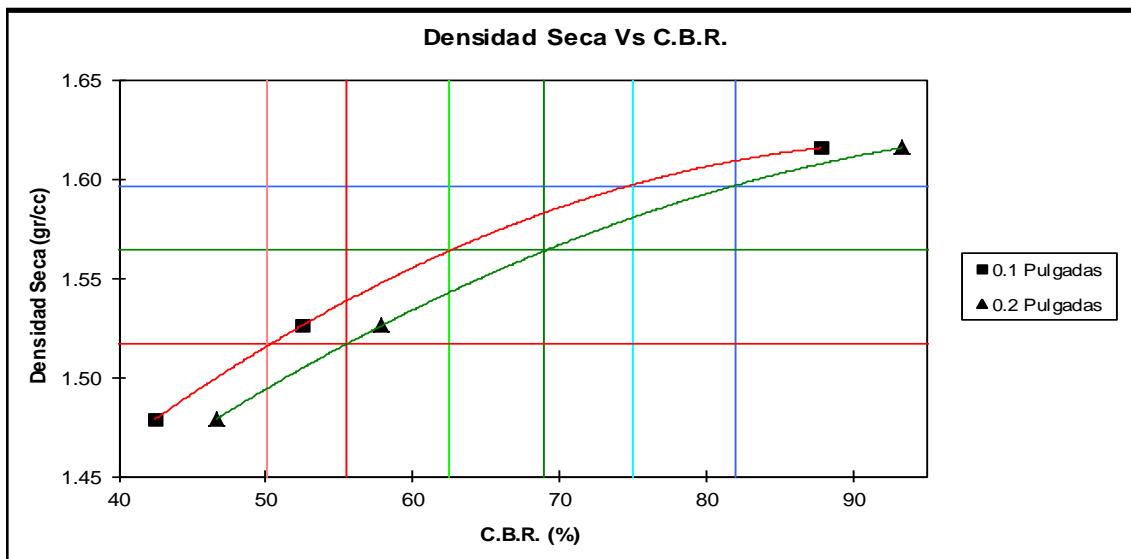
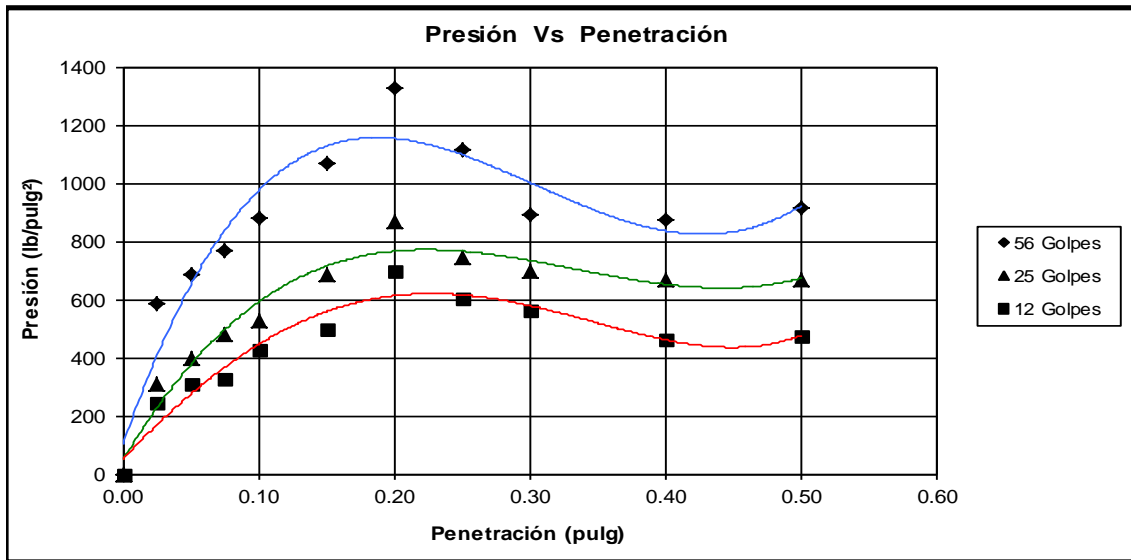
INFORME : Estabilización Suelo - Biopolimero 3:1
SOLICITANTE : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

PROYECTO : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el mejoramiento de la resistencia de
UBICACION : suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

FECHA : 29/11/2014

TIPO DE EXPLORACION : Calicata
No DE MUESTRA : 1.00

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FRE (m) : N.P.
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 0.30





**Resistencia a la Compresión Simple
 MTC E 1108 - 2000**

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Muestra: Suelo Natural

Ubicación : Las Praderas de Lurín - Lurín

Ensayo : Compresión simple

Clasificación SUCS: SM

Fecha: 29/11/2014

Método: A

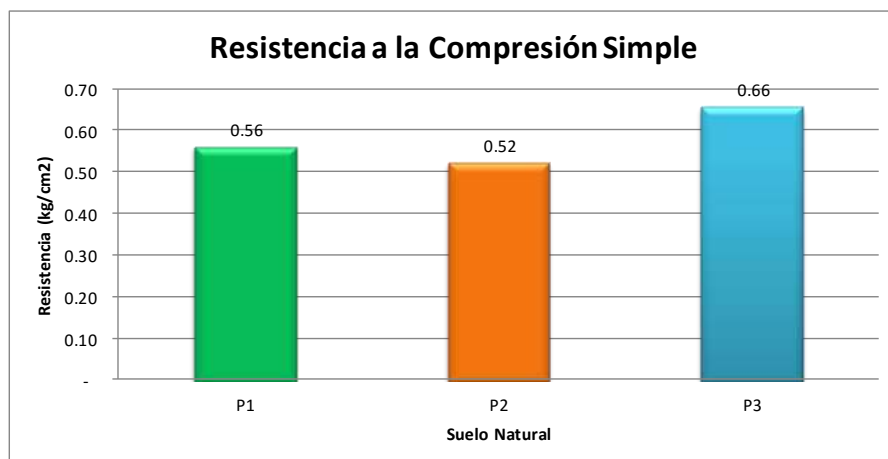
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.20 | 101.30 | 101.50 |
| Altura : | mm | 114.50 | 114.60 | 114.15 |
| Area : | mm ² | 8,043.61 | 8,059.51 | 8,091.37 |
| Volumen : | mm ³ | 920,993.14 | 923,620.13 | 923,629.68 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|-------------|-------|-------|
| Carga (kg) | 45.00 | 42.00 | 53.00 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 0.56 | 0.52 | 0.66 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 0.58 | | |





Resistencia a la Compresión Simple MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolímeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Muestra: Suelo Cemento (8%)

Ubicación : Las Praderas de Lurín - Lurín

Ensayo : Compresión simple

Clasificación SUCS: SM

Fecha: 29/11/2014

Método: A

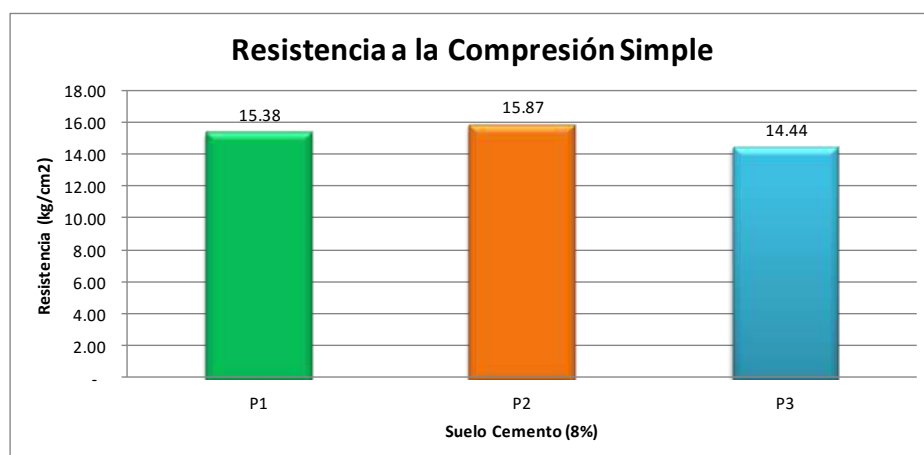
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.50 | 101.50 | 101.60 |
| Altura : | mm | 114.30 | 114.20 | 114.20 |
| Area : | mm ² | 8,091.37 | 8,091.37 | 8,107.32 |
| Volumen : | mm ³ | 924,843.39 | 924,034.25 | 925,855.91 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 1,244.60 | 1,284.00 | 1,170.50 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 15.38 | 15.87 | 14.44 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 15.23 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Muestra: Suelo Cemento (10%)

Ubicación : Las Praderas de Lurín - Lurín

Ensayo : Compresión simple

Clasificación SUCS: SM

Fecha: 06/12/2014

Método: A

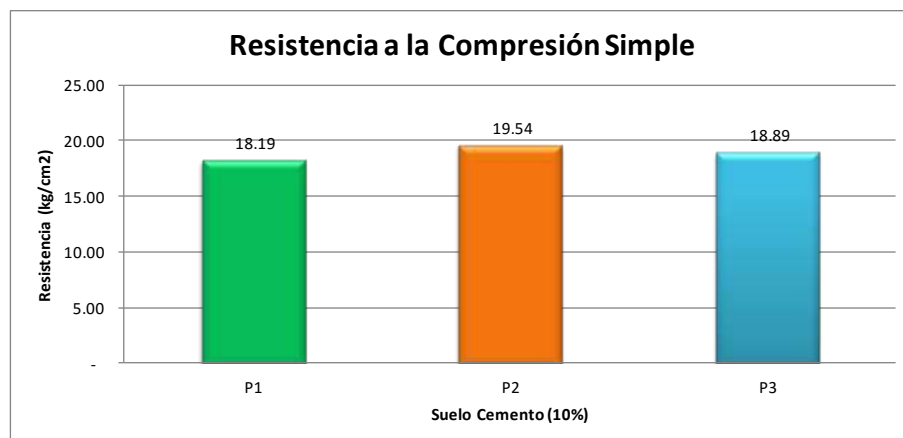
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.10 | 101.30 | 101.30 |
| Altura : | mm | 114.30 | 114.10 | 114.00 |
| Area : | mm ² | 8,027.72 | 8,059.51 | 8,059.51 |
| Volumen : | mm ³ | 917,568.35 | 919,590.37 | 918,784.42 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 1,460.40 | 1,575.00 | 1,522.20 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 18.19 | 19.54 | 18.89 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 18.87 | | |





**Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000**

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez

Muestra: Suelo Cemento (9%)
Zeolita (1%)

Ubicación : Las Praderas de Lurín - Lurín

Ensayo : Compresión simple

Clasificación SUCS: SM

Fecha: 06/12/2014

Método: A

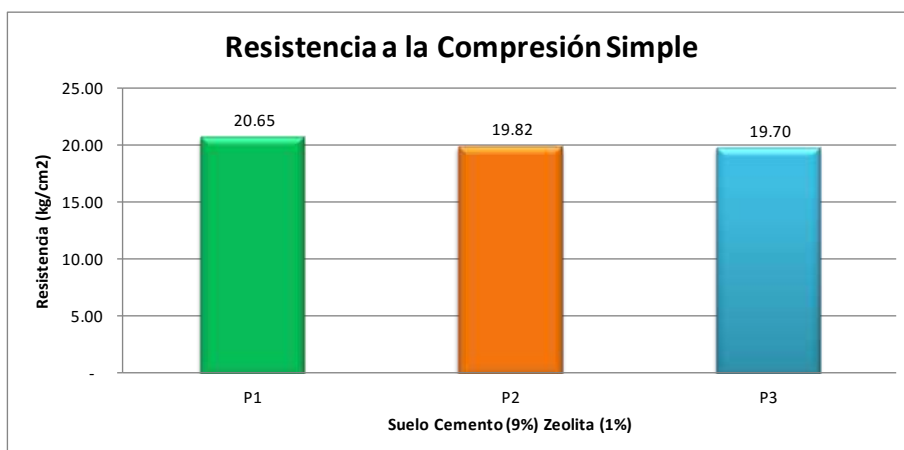
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.60 | 101.60 | 101.50 |
| Altura : | mm | 114.10 | 114.10 | 114.20 |
| Area : | mm ² | 8,107.32 | 8,107.32 | 8,091.37 |
| Volumen : | mm ³ | 925,045.17 | 925,045.17 | 924,034.25 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 1,674.00 | 1,607.00 | 1,593.80 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 20.65 | 19.82 | 19.70 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 20.06 | | |





Resistencia a la Compresión Simple
MTC E 1108 - 2000

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento (8%)
 Zeolita (1%)

Ubicación : Las Praderas de Lurín - Lurín

Ensayo : Compresión simple

Clasificación SUCS: SM

Fecha: 13/12/2014

Metodo: A

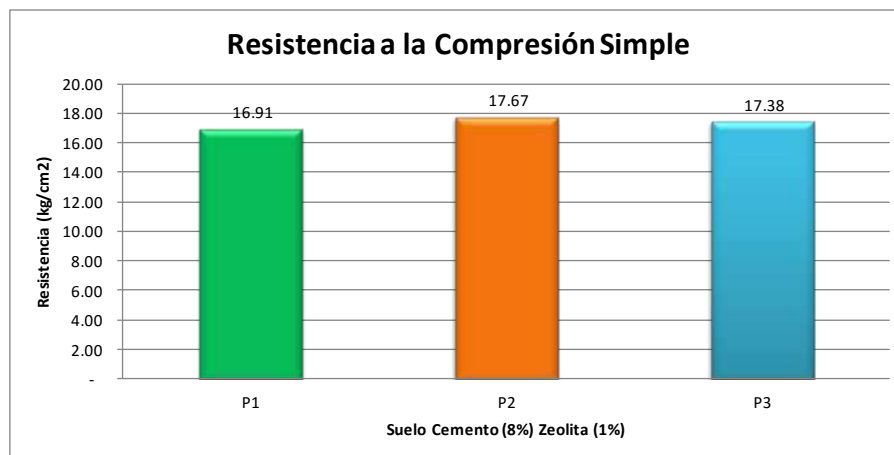
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro : | mm | 101.40 | 101.30 | 101.20 |
| Altura : | mm | 114.30 | 114.40 | 114.40 |
| Area : | mm ² | 8,075.43 | 8,059.51 | 8,043.61 |
| Volumen : | mm ³ | 923,021.93 | 922,008.23 | 920,188.77 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|--|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 1,365.80 | 1,424.30 | 1,397.70 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm2) | 16.91 | 17.67 | 17.38 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2) | 17.32 | | |





**Resistencia a la Compresión Simple
 MTC E 1108 - 2000**

Proyecto : Influencia de las Zeolitas y Biopolimeros en el Mejoramiento de la Resistencia de suelos del Sur, Este y Norte de Lima para vías a nivel de afirmado.

Solicitante : Marisol Cortés - Miguel Fernandez **Muestra:** Suelo Cemento (8%)
 Zeolita (2%)

Ubicación : Las Praderas de Lurín - Lurín

Ensayo : Compresión simple **Clasificación SUCS:** SM

Fecha: 13/12/2014 **Método:** A

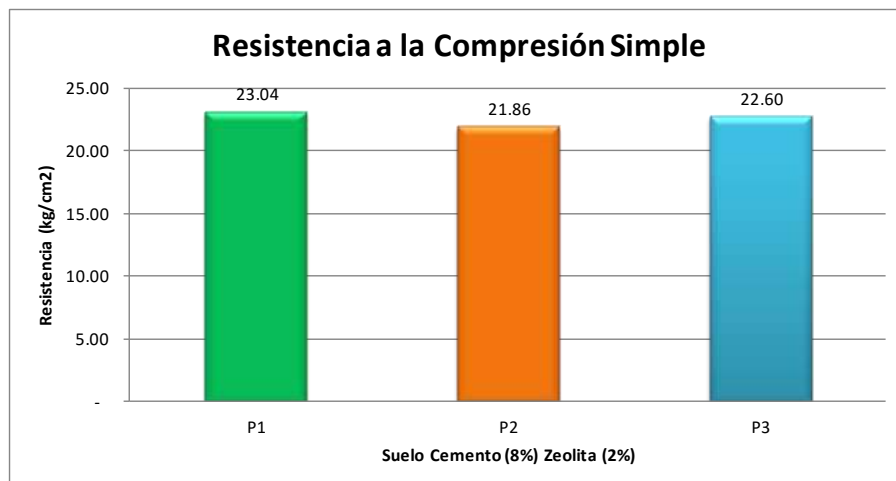
Basado en normas: MTC E 1108

| Condiciones iniciales | und | P1 | P2 | P3 |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Diámetro | mm | 101.50 | 101.50 | 101.60 |
| Altura | mm | 114.10 | 114.20 | 114.10 |
| Area | mm ² | 8,091.37 | 8,091.37 | 8,107.32 |
| Volumen | mm ³ | 923,225.11 | 924,034.25 | 925,045.17 |

Periodo de curado : 7 días

Parametros de resistencia:

| | | | |
|---|--------------|----------|----------|
| Carga (kg) | 1,864.40 | 1,769.10 | 1,832.50 |
| Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | 23.04 | 21.86 | 22.60 |
| Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) | 22.50 | | |





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA NORTE - CARABAYLLO - ESTABILIZACIÓN SUELO NATURAL

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 6352 |
| SN = | 2.25 |

n = 0.512

| | |
|------|--------|
| SN = | 2.2521 |
|------|--------|

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

y =

| | |
|-------|--------|
| SN1 = | 2.2521 |
|-------|--------|

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Número Estructural | SN = | 2.25 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.134 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 17.20 " | 43.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$\begin{aligned} SN &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 2.25 &= 2.30 \end{aligned}$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA NORTE - CARABAYLLO - ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------------|--------|
| Z _R = | -0.385 |
| S _o = | 0.45 |
| P _i = | 3.80 |
| P _f = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| M _R = | 6352 |
| SN = | 2.25 |

n = 0.512

| | |
|------|--------|
| SN = | 2.2521 |
|------|--------|

| SN1 - SN | = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

y =

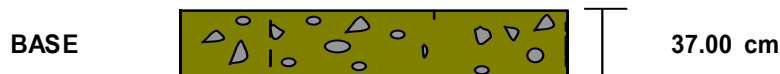
| | |
|-------|--------|
| SN1 = | 2.2521 |
|-------|--------|

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Número Estructural | Sn = | 2.25 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.153 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 14.80 " | 37.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$\begin{aligned} \text{SN} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 2.25 &= 2.26 \end{aligned}$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA NORTE - CARABAYLLO - ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO ZEOLITA

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 6352 |
| SN = | 2.25 |

n = 0.512

| | |
|------|--------|
| SN = | 2.2521 |
|------|--------|

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

y =

| | |
|-------|--------|
| SN1 = | 2.2521 |
|-------|--------|

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|---------|----------|
| Número Estructural | SN = | 2.25 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | | /pulg |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.161 | /pulg |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | | /pulg |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 14.00 " | 35.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$\begin{aligned} \text{SN} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 2.25 &= 2.25 \end{aligned}$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA ESTE - HUAYCAN - ESTABILIZACIÓN SUELO NATURAL

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log} (SN + 1) - 0.20 + \text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07$$

$$0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------------|--------|
| Z _R = | -0.385 |
| S _o = | 0.45 |
| P _i = | 3.80 |
| P _f = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| M _R = | 29618 |
| SN = | 1.19 |

n = 0.341

SN = 1.1914

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

y = SN1 = 1.1914

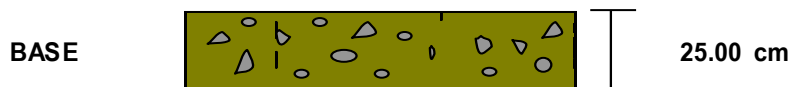
DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|------------------------|------------|----------|
| Número Estructural | SN = | 1.19 | |
| Coef. Estruct. C.A | a₁ = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a₂ = | 0.13 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a₃ = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m₂ = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m₃ = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D₁ = | 0.00 | |
| Base Granular | D₂ = | 10.00 " | 25.00 cm |
| Sub Base Granular | D₃ = | 0.00 | |

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3$$

$$1.19 = 1.30$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA ESTE - HUAYCAN - ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 29618 |
| SN = | 1.19 |

n = 0.341

SN = 1.1914

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

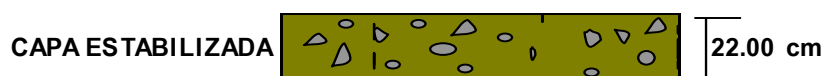
y = SN1 = 1.1913

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Número Estructural | SN = | 1.19 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.145 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 8.80 " | 22.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$\begin{aligned} \text{SN} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 1.19 &= 1.28 \end{aligned}$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA ESTE - HUAYCAN - ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO ZEOLITA

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 29618 |
| SN = | 1.19 |

n = 0.341

SN = 1.1914

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

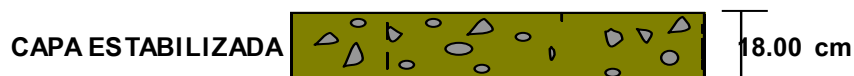
y = SN1 = 1.1914

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Número Estructural | Sn = | 1.19 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.166 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 7.20 " | 18.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$\begin{aligned} \text{Sn} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 1.19 &= 1.20 \end{aligned}$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





**DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
 ZONA ESTE - HUAYCAN - ESTABILIZACIÓN SUELO BIOPOLIMERO**

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07$$

$$0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 29618 |
| SN = | 1.19 |

n = 0.341

SN = 1.1914

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

y = SN1 = 1.1914

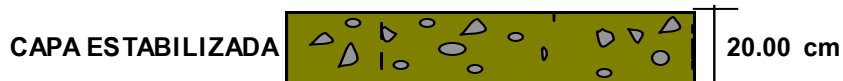
DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|------------|----------|
| Número Estructural | Sn = | 1.19 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.15 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 8.00 " | 20.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3$$

$$1.19 = 1.20$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA SUR - LURÍN - ESTABILIZACIÓN SUELO NATURAL

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 21309 |
| SN = | 1.38 |

n = 0.377

| | |
|------|--------|
| SN = | 1.3805 |
|------|--------|

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

y =

| | |
|-------|--------|
| SN1 = | 1.3805 |
|-------|--------|

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Número Estructural | SN = | 1.38 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.134 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | 0.00 |
| Base Granular | D2 = | 10.40 " | 26.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | 0.00 |

$$\begin{aligned} \text{SN} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 1.38 &= 1.39 \end{aligned}$$

Es espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA SUR - LURÍN - ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log } M_R - 8.07$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 21309 |
| SN = | 1.38 |

n = 0.377

| | |
|------|--------|
| SN = | 1.3805 |
|------|--------|

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

y =

| | |
|-------|--------|
| SN1 = | 1.3803 |
|-------|--------|

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|------------|----------|
| Número Estructural | SN = | 1.38 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.14 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 10.00 " | 25.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$\begin{aligned} \text{SN} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 1.38 &= 1.40 \end{aligned}$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:





DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA METODOLOGIA AASHTO 93
ZONA SUR - LURÍN - ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO ZEOLITA

Ecuación Básica

$$\text{Log } W_{8,2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] + 2.30 * \text{Log} M_R - 8.07}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Diseño

| PARÁMETROS | |
|------------|--------|
| ZR = | -0.385 |
| So = | 0.45 |
| Pi = | 3.80 |
| Pf = | 2.00 |
| EAL = | 129000 |
| MR = | 21309 |
| SN = | 1.38 |

n = 0.377

SN = 1.3805

|SN1 - SN| = 0.000 < 0.01

VALOR ITERATIVO :

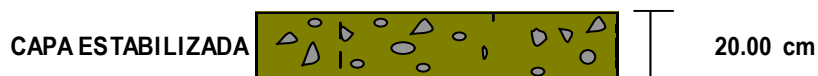
y = SN1 = 1.3805

DISEÑO DE PAVIMENTO :

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Número Estructural | SN = | 1.38 | |
| Coef. Estruct. C.A | a1 = | 0 /pulg | |
| Coef. Estruct. B.G | a2 = | 0.172 /pulg | |
| Coef. Estruct. S.B.G | a3 = | 0 /pulg | |
| Coef. Dren. S.B.G | m2 = | 1.00 | |
| Coef. Dren. B.G | m3 = | 1.00 | |
| Carpeta Asfáltica | D1 = | 0.00 | |
| Base Granular | D2 = | 8.00 " | 20.00 cm |
| Sub Base Granular | D3 = | 0.00 | |

$$\begin{aligned} SN &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \\ 1.38 &= 1.38 \end{aligned}$$

Espesores mínimos de base estabilizada requerida:



- Certificados y Fichas Técnicas



ECOE
ESPECIALISTAS EN CRECIMIENTO PROFESIONAL

CERTIFICADO

OTORGADO A: CORTÉS OLANO, CINDY MARISOL

**POR HABER CULMINADO SATISFACTORIAMENTE EL
PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL**

"DISEÑO DE PAVIMENTOS"

PROGRAMA DESARROLLADO CON UN TOTAL DE 15 HORAS
LOS DÍAS 29 Y 30 DE NOVIEMBRE DEL 2014

EL MATERIAL DE ESTUDIO FUE DESARROLLADO POR EL EXPOSITOR, ESPECIALISTA
EN SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.

Lima , 30 de Noviembre 2014


Ing. Cesar Fuentes Ortiz
CEFOISA


Ing. John Alarcón Quintana
COORDINADOR ACADEMICO





CESAR
FUENTES
ORTIZ
INGENIEROS S.A.

Ingeniería y Construcción

ECOE
ESPECIALISTAS EN CRECIMIENTO PROFESIONAL

CERTIFICADO

OTORGADO A: FERNÁNDEZ CARVALLO, MIGUEL ALONSO

**POR HABER CULMINADO SATISFACTORIAMENTE EL
PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL**

"DISEÑO DE PAVIMENTOS"

PROGRAMA DESARROLLADO CON UN TOTAL DE 15 HORAS
LOS DÍAS 29 Y 30 DE NOVIEMBRE DEL 2014

EL MATERIAL DE ESTUDIO FUE DESARROLLADO POR EL EXPOSITOR, ESPECIALISTA
EN SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.

Ing. Cesar Fuentes Ortiz
CEFOISA

Lima , 30 de Noviembre 2014



Ing. John Alarcón Quintana
COORDINADOR ACADEMICO

PANEL FOTOGRÁFICO

Foto 01: Realizando el ensayo de límite líquido.



Foto 02: Uso de mascarillas para ensayos con cemento.



Foto 03: Puntos para ensayo de CBR.



Foto 04: Uso de papel filtro.



Foto 05: Alistando los moldes para ser sumergidos.



Foto 06: Técnico de prensa



Fotos 07 y 08: Evidencia de la capacidad de absorción de humedad.



Foto 09: Curado adiabático de las probetas suelo cemento – zeolita.

