

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**PAVIMENTOS NO TRADICIONALES PARA CARRETERAS DE SELVA
BAJA CON BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, APLICACIÓN:
CARRETERA CONTAMANA – AGUAS CALIENTES, LORETO**

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL**

MELVIN DARÍO VÁSQUEZ CONCHA.

LIMA – PERÚ.

2010.

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

A mis padres: Wilson Vásquez Estela y Elva Concha Vivas, por enseñarme a luchar hacia delante, por su gran corazón y capacidad de entrega, pero sobre todo por enseñarme a ser responsable, gracias a ustedes he llegado a esta meta.

ÍNDICE.

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN. | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 6 |
| LISTA DE TABLAS. | 7 |
| LISTA DE FOTOS. | 10 |
| INTRODUCCIÓN. | 11 |
| CAPITULO 1.0 ESTADO DEL ARTE. | 13 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN. | 13 |
| 1.2. TIPOS DE ESTABILIDAD DE SUELOS. | 16 |
| 1.3. ESTABILIZACIONES FÍSICAS - MECÁNICAS. | 16 |
| 1.4. ESTABILIZACIONES QUÍMICAS. | 19 |
| 1.5. ESTABILIZACIONES ELÉCTRICAS. | 23 |
| 1.6. ESTABILIZACIONES TÉRMICAS. | 24 |
| 1.7. OTROS TIPOS. | 25 |
| CAPITULO 2.0 MARCO TEÓRICO. | 26 |
| 2.1. GEOMALLAS. | 27 |
| 2.2. ESTABILIZACIÓN CON CAL. | 28 |
| 2.2.1. PROCESOS DE LA CAL EN EL SUELO. | 29 |
| 2.2.2. CUANDO ESTABILIZAR CON CAL. | 36 |
| 2.2.3. DISEÑO DE MEZCLA. | 37 |
| 2.3. ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO PORTLAND TIPO I. | 39 |
| 2.3.1. RESEÑA HISTÓRICA. | 39 |
| 2.3.2. DEFINICIÓN. | 39 |
| 2.3.3. PROCESOS DEL CEMENTO EN EL SUELO. | 40 |
| 2.3.4. CUANDO ESTABILIZAR CON CEMENTO. | 41 |
| 2.3.5. DISEÑO DE MEZCLA. | 42 |
| 2.4. ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO RC-250. | 45 |
| 2.4.1. PROCESOS DEL ASFALTO EN EL SUELO. | 48 |
| 2.4.2. CUANDO ESTABILIZAR CON ASFALTO. | 49 |
| 2.4.3. DISEÑO DE MEZCLA. | 51 |

| | |
|---|------------|
| CAPITULO 3.0 APLICACIÓN CARRETERA CONTAMANA – AGUAS CALIENTES. | 53 |
| 3.1. UBICACIÓN Y ACCESOS. | 53 |
| 3.2. GEOLOGÍA VÍAL. | 54 |
| 3.3. CLIMA. | 55 |
| 3.4. PROGRAMA DE TRABAJO. | 56 |
| 3.5. TOPOGRAFÍA. | 57 |
| 3.6. ESTUDIO DE SUELOS. | 59 |
| 3.6.1. TRABAJO DE CAMPO. | 59 |
| 3.6.2. TRABAJO DE LABORATORIO. | 70 |
| 3.7. CANTERAS Y FUENTES DE AGUA. | 73 |
| 3.7.1. TRABAJO DE CAMPO. | 73 |
| 3.7.2. TRABAJO DE LABORATORIO. | 76 |
| 3.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS | 80 |
| 3.8.1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO. | 80 |
| 3.8.2. SECTORIZADO. | 82 |
| 3.8.3. CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUB RASANTE. | 82 |
| 3.8.4. CAPACIDAD DE SOPORTE A PARTIR DEL PDC. | 83 |
| 3.8.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS. | 89 |
| 3.8.6. EVALUACIÓN DE FUENTES DE AGUA. | 109 |
| 3.9. ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE. | 111 |
| 3.10. ESTABILIZACIÓN DE LA SUB BASE Y BASE. | 111 |
| 3.10.1. ESTABILIZACIÓN CON CAL. | 112 |
| 3.10.2. ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO PORTLAND. | 117 |
| 3.10.3. ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO RC-250. | 120 |
| 3.11. SUPERFICIE DE RODADURA. | 124 |
| 3.12. ANÁLISIS DE PAVIMENTO. | 124 |
| 3.12.1. ENSAYO DE FLEXIÓN. | 125 |
| CAPITULO 4.0 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. | 131 |
| 4.1. SUELO CEMENTO. | 131 |
| 4.1.1. MATERIALES. | 131 |
| 4.1.2. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN. | 132 |
| 4.1.3. ACEPTACIÓN DE LOS TRABAJOS. | 135 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.4. CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINANDO. | 137 |
| 4.1.5. SUELO ASFALTO RC-250. | 139 |
| 4.1.6. MATERIALES. | 139 |
| 4.1.7. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN. | 140 |
| 4.1.8. ACEPTACIÓN DE LOS TRABAJOS. | 143 |
| 4.1.9. CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINANDO. | 145 |
| CAPITULO 5.0 EVALUACIÓN ECONÓMICA. | 148 |
| CONCLUSIONES | 150 |
| RECOMENDACIONES | 152 |
| BIBLIOGRAFÍA | 153 |
| ANEXOS. | 155 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Tipos de Estabilización de Suelos. | 16 |
| Figura 2: Humedad vs %Cal. | 31 |
| Figura 3: Limite Plástico, Potencial de Hidrogenión, Resistencia VS porcentaje de Cal. | 32 |
| Figura 4: Variación de la Granulometría con la cal. | 33 |
| Figura 5: Variación del OCH y del MDS con él % de Cal. | 34 |
| Figura 6: Variación del OCH y del MDS con él % de Cal. | 35 |
| Figura 7: Valor de Soporte vs Numero de ciclos. | 36 |
| Figura 8: Estimación del porcentaje de cal. | 37 |
| Figura 9: Diagrama de Flujo Para el diseño de Mezcla Suelo - Cal. | 38 |
| Figura 10: Diagrama de flujo para estabilización de suelos con Cemento. | 45 |
| Figura 11: Abaco para establecer el porcentaje de asfalto en problemas prácticos. | 51 |
| Figura 12: Abaco para establecer el porcentaje de asfalto en problemas prácticos. | 52 |
| Figura 13: Diagrama de Flujo del Programa de Trabajo seguido. | 57 |
| Figura 14: Perfil estratigráfico Km. 0 + 000 – Km. 06 + 000. | 80 |
| Figura 15: Perfil estratigráfico Km. 06 + 000 – Km. 09 + 000. | 81 |
| Figura 16: Perfil estratigráfico Km. 09 + 000 – Km. 15 + 000. | 81 |
| Figura 17: Perfil estratigráfico Km. 15 + 000 – Km. 18 + 200. | 82 |
| Figura 18: Curva percentil – Sector N° 01. | 85 |
| Figura 19: Curva percentil – Sector N° 02. | 86 |
| Figura 20: Curva percentil – Sector N° 03. | 88 |
| Figura 21: Catálogo de capas de revestimiento granular. | 108 |
| Figura 22: Pre dosificación de cal. | 112 |
| Figura 23: CBR a mayor % de Cal Hidratada. | 115 |
| Figura 24: Resistencia a la compresión a mayor % de Cal Hidratada. | 115 |
| Figura 25: Límites de Consistencia a mayor % de Cal Hidratada. | 116 |
| Figura 26: % de Expansión a mayor % de Cal Hidratada. | 116 |
| Figura 27: Resistencia a la compresión a mayor % de Cemento. | 120 |
| Figura 28: Estimación del porcentaje de Asfalto. | 121 |
| Figura 29: CBR a mayor % de Asfalto. | 123 |
| Figura 30: Resistencia a la compresión a mayor % de Asfalto. | 123 |
| Figura 33: Alternativa Vs Costo Directo. | 149 |

LISTA DE TABLAS.

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Selección de Agente estabilizador. _____ | 27 |
| Tabla 2: Cuadro Comparativo Límites para la aplicación de Cal como agente estabilizador. _____ | 36 |
| Tabla 3: Ensayos Para el Diseño de Mezcla Suelo – Cal. _____ | 38 |
| Tabla 4: Cuadro Comparativo Límites para la aplicación del Cemento como agente estabilizador. _____ | 42 |
| Tabla 5: Porcentaje de Cemento según Manual de Carreteras de Bajo Tránsito del Perú. _____ | 43 |
| Tabla 6: Porcentaje de Cemento según El Instituto Mexicano del Transporte. _____ | 43 |
| Tabla 7: Porcentaje de Cemento según Varios autores. _____ | 43 |
| Tabla 8: Ensayos para el diseño de mezcla. _____ | 44 |
| Tabla 9: Cuadro Comparativo Límites para la aplicación del Asfalto como agente estabilizador. _____ | 50 |
| Tabla 10: Ensayos para el diseño de mezcla. _____ | 52 |
| Tabla 11: Itinerario de viaje a Contamana. _____ | 54 |
| Tabla 12: Características del Diseño geométrico. _____ | 59 |
| Tabla 13: Resumen de trabajos de campo. _____ | 59 |
| Tabla 14: Propiedades del suelo rasante para cada tramo. _____ | 60 |
| Tabla 15: Tramos críticos. _____ | 61 |
| Tabla 16: Ubicación e identificación de calicatas. _____ | 61 |
| Tabla 17: Resultados de prospecciones geotécnicas. _____ | 62 |
| Tabla 18: Ubicación y profundidad alcanzada en el ensayo PDC. _____ | 65 |
| Tabla 19: Resumen de trabajos de laboratorio. _____ | 70 |
| Tabla 20: Ensayos estándares de suelo. _____ | 71 |
| Tabla 21: Resumen de resultados de laboratorio – suelos. _____ | 71 |
| Tabla 22: Ensayos mecánicos de suelo. _____ | 73 |
| Tabla 23: Resumen de resultados para muestras inalteradas. _____ | 73 |
| Tabla 24: Resumen de resultados para sectores. _____ | 73 |
| Tabla 25: Canteras existentes en la carretera. _____ | 74 |
| Tabla 26: Canteras de agregado fino – Contamana. _____ | 74 |
| Tabla 27: Identificación de canteras. _____ | 75 |
| Tabla 28: Propiedades físicas de cantera de arcilla. _____ | 75 |
| Tabla 29: Propiedades físicas de cantera de arena. _____ | 75 |
| Tabla 30: Fuentes de agua existentes en la carretera. _____ | 75 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 31: Identificación de fuentes de agua. | 76 |
| Tabla 32: Resumen de ensayos de laboratorio para cantera. | 76 |
| Tabla 33: Ensayos físicos de cantera. | 77 |
| Tabla 34: Ensayos mecánicos de cantera. | 77 |
| Tabla 35: Ensayos químicos de cantera. | 78 |
| Tabla 36: Resultados de ensayos físicos de cantera – N° 01. | 78 |
| Tabla 37: Resultados de ensayos físicos de cantera – N° 02. | 78 |
| Tabla 38: Resultados de ensayos mecánicos de cantera. | 78 |
| Tabla 39: Resultados de ensayos químicos de cantera. | 79 |
| Tabla 40: Ensayos para fuentes de agua. | 79 |
| Tabla 41: Resultado de ensayos químicos de fuentes de agua. | 79 |
| Tabla 42: Sectorizado en función al PDC. | 82 |
| Tabla 43: Sectorizado en función a su clasificación SUCS. | 83 |
| Tabla 44: Sectorizado en función a su CBR. | 83 |
| Tabla 45: Parámetros de calibración de PDC. | 83 |
| Tabla 46: Cálculo de percentil – Sector N° 01. | 84 |
| Tabla 47: Cálculo de percentil – Sector N° 02. | 85 |
| Tabla 48: Cálculo de percentil – Sector N° 03. | 87 |
| Tabla 49: Resumen de percentil al 85%. | 88 |
| Tabla 50: Capacidad de soporte por sector. | 89 |
| Tabla 51: Tráfico vehicular 2006. | 89 |
| Tabla 52: Composición del tráfico. | 91 |
| Tabla 53: Estructura del pavimento existente. | 93 |
| Tabla 54: Número estructural – Alternativa N° 01 – Sector 01. | 96 |
| Tabla 55: Pavimento – Alternativa N° 01 – Sector 01. | 97 |
| Tabla 56: Número estructural – Alternativa N° 01 – Sector 02. | 98 |
| Tabla 57: Pavimento – Alternativa N° 01 – Sector 02. | 99 |
| Tabla 58: Número estructural – Alternativa N° 02 – Sector 01. | 99 |
| Tabla 59: Pavimento – Alternativa N° 02 – Sector 01. | 100 |
| Tabla 60: Número estructural – Alternativa N° 02 – Sector 02. | 101 |
| Tabla 61: Pavimento – Alternativa N° 02 – Sector 02. | 102 |
| Tabla 62: Número estructural – Alternativa N° 03 – Sectores 01 y 02. | 102 |
| Tabla 63: Pavimento – Alternativa N° 03 – Sectores 01 y 02. | 104 |
| Tabla 64: Número estructural – Alternativa N° 04 – Sectores 01 y 02. | 104 |
| Tabla 65: Pavimento – Alternativa N° 04 – Sectores 01 y 02. | 105 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 66: Número estructural – Alternativa N° 05 – Sectores 01 y 02. | 106 |
| Tabla 67: Pavimento – Alternativa N° 05 – Sectores 01 y 02. | 107 |
| Tabla 68: Espesor de material granular – Método NAASRA. | 108 |
| Tabla 69: Pavimento – Método NAASRA. | 109 |
| Tabla 70: Comparación de metodologías de diseño. | 109 |
| Tabla 71: Especificaciones técnicas de estabilización para el agua. | 110 |
| Tabla 72: Especificaciones técnicas de concreto hidráulico para el agua. | 110 |
| Tabla 73: Verificación de la calidad de las fuentes de agua. | 110 |
| Tabla 74: Sectores de refuerzo de subrasante. | 111 |
| Tabla 75: Selección de cantera. | 112 |
| Tabla 76: Resumen de Material de Cantera más % de cal. | 114 |
| Tabla 77: Selección de cantera. | 117 |
| Tabla 78: Pre dosificación de % de Cemento. | 117 |
| Tabla 79: Resumen de Material de Cantera más % de Cemento. | 119 |
| Tabla 80: Selección de cantera. | 120 |
| Tabla 81: Resumen de Material de Cantera más % de cal. | 122 |
| Tabla 83: Especificaciones técnicas de estabilización para el agua. | 132 |
| Tabla 84: Frecuencias de Ensayos. | 138 |
| Tabla 83: Especificaciones técnicas de estabilización para el agua. | 140 |
| Tabla 84: Frecuencias de Ensayos. | 146 |
| Tabla 85: Costo Directo de Alternativas. | 149 |

LISTA DE FOTOS.

| | |
|---|-----|
| Foto N° 1: Carretera Tarapoto – Juanjui (Km 72), Compactación de Sub Rasante, Fuente Propia. _____ | 16 |
| Foto N° 2: Compensación del asentamiento de consolidación primaria. Fuente (Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos, 2002). _____ | 17 |
| Foto N° 3: Carretera Tarapoto – Juanjui (Km 131), Inicio de excavación para reemplazo de material, Fuente Propia. _____ | 18 |
| Foto N° 4: Colocación de un geotextil para refuerzo en zonas de ensanche, Fuente (Sotelo Aedo, 2004) _____ | 18 |
| Foto N° 5: Vibro sustitución del terreno en los accesos a obras de fábrica, Fuente (CEDEX, 2002) _____ | 19 |
| Foto N° 6: Ejemplo de aplicación de lechada de cal con fines de estabilización, Fuente (Nacional Lime Association, 2004) _____ | 20 |
| Foto N° 7: Ejecución de Base con Cemento, Fuente (Vasconcellos Barros, 2008) _____ | 20 |
| Foto N° 8: Vía Apia, acceso a la antigua ciudad de Roma, Fuente (www.artifexbalear.org/romanos1.htm). _____ | 28 |
| Foto N° 9: Vista aérea de la ciudad de Contamana, Fuente Propia. _____ | 53 |
| Foto N° 10: Asentamiento Km 8+100, Fuente Propia _____ | 55 |
| Foto N° 11: Inundaciones en la vía, Fuente Propia _____ | 55 |
| Foto N° 12: Ensayo de Penetracion Dinamica de Cono (PDC), Fuente Propia. _____ | 64 |
| Foto N° 13: Moldeo de ensayo para el ensayo CBR. _____ | 113 |
| Foto N° 14: Probetas para compresión simple. _____ | 114 |
| Foto N° 15: Probetas para compresión simple con 6% de Cal Hidratada. _____ | 114 |
| Foto N° 16: Moldeo de ensayo para el ensayo CBR. _____ | 118 |
| Foto N° 17: Probetas para compresión simple con 10% de Cemento. _____ | 119 |
| Foto N° 18: Ensayo de CBR con 3% de asfalto. _____ | 122 |
| Foto N° 19: Probetas para compresión simple con Cemento. _____ | 122 |
| Foto N° 19: Molde. _____ | 125 |
| Foto N° 19: Esparcidor. _____ | 126 |
| Foto N° 22: Compactador. _____ | 126 |
| Foto N° 19: Soporte para ensayo de Flexión. _____ | 126 |
| Foto N° 19: Rotula. _____ | 127 |
| Foto N° 19: Compactando. _____ | 128 |
| Foto N° 19: Compactando. _____ | 129 |

RESUMEN.

La Carretera Contamana – Aguas Calientes está ubicada en la provincia de Ucayali, departamento de Loreto, a la cual se puede acceder desde Pucallpa en avioneta en un tiempo de 30 minutos y por barco en 24 horas.

Esta carretera es de importancia económica, porque conduce a la reserva ecológica de aguas sulfurosas con elevadas temperaturas de **Aguas Calientes**.

La vía presenta problemas de transitabilidad en la mayor parte, por lo que es necesario el mejoramiento de la estabilidad de esta carretera para el impulso económico de la zona.

Existen diversos métodos de estabilización de suelos, la elección del método a usar está en función al tipo de suelo, procedimientos constructivos, costos y a las condiciones que deberá de soportar durante su vida de servicio.

Se ejecutaron dieciocho calicatas, distanciadas entre si un kilometro, conociendo así las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante, además se ejecutaron ensayos de penetrometro dinámico de cono (PDC), con la que se determino el CBR insitu y con estos resultados se sectorizo la carretera en dos sectores:

- Sector 1 (00+000 – 14+400), este sector presenta suelo arcilloso de alta plasticidad.
- Sector 2 (14+400 – 18+200), este sector presenta suelos arenosos.

Las dos únicas canteras ubicadas en la carretera son, cantera de arcilla (Km8+900) y cantera de arena (Km 11+200), con las que se procedió al diseño de suelo cal, suelo cemento y suelo asfalto.

INTRODUCCIÓN.

Los suelos de la selva peruana, especialmente en selva baja, son finos (arenas, arcillas y limos), altamente plásticos y saturados.

Además la poca o nula presencia de materiales granulares o roca, hace de los costos de construcción de carretera tradicional con sub base, base granular y carpeta asfáltica, sea costosa y sin considerar que sería poco funcional debido a que la sub rasante debe de ser mejorada incrementando el peso de la estructura, debido a estas razones es imprescindible la búsqueda de otras técnicas que permitan la construcción de carreteras en estas zonas.

Existen muchos métodos de estabilización de suelos que se usaron en la antigüedad y se usan hasta la actualidad además de otros métodos modernos de estabilización pero es de notar que **No existe el Estabilizador que se aplique a los suelos y mejore todas sus propiedades.**

Entre los más antiguos métodos de estabilización tenemos a la cal siguiendo luego por el cemento pasando luego por el asfalto y otras técnicas modernas como el uso de polímeros, enzimas y aceites Sulfunados.

La carretera Contamana Aguas – Aguas Calientes (18km), se encuentra ubicada en el distrito de Contamana, provincia de Ucayali, departamento de Loreto, su clima es típico de la selva baja, los materiales constituyentes de la subrasante son principalmente arcillosos y arenosos altamente saturados, debido a la inexistencia de obras de arte longitudinal y insuficiente obras de arte transversal, las fuentes de material en la zona son arenosos y arcillosos, las fuentes de material grueso más cercano se encuentran en Aguaytia San Alejandro.

Esta carretera presenta 2 sectores bien definidos desde el Km 00+000 – Km 14+400 y del Km 14+400 al Km 18+200, el primero con arcillas de baja a alta plasticidad y la segunda con arenas pobremente gradadas con limos, saturados.

Se realiza un análisis de alternativas para determinar la estructura de pavimento que mejor se ajuste a los factores económicos y constructivos.

Se realiza un análisis de pre selección de métodos de estabilización para esta carretera la cual determina el uso de geomalla, cal, cemento y asfalto como agentes estabilizadores, los cuales se analizan con el fin de determinar los óptimos porcentajes para las solicitaciones requeridas en el diseño de espesores.

Luego se procede al diseño de mezclas para llegar a obtener los resultados requeridos por el diseño de espesores, realizándose ensayos de compresión simple y de capacidad de soporte de california, determinándose con esto el porcentaje de cada agente estabilizador para las diferentes posibilidades.

Luego se analizan los procedimientos constructivos y se establecen las especificaciones técnicas y se establece que para este caso la mejor combinación es el uso de suelo cemento en la sub base y suelo asfalto en la base, con una imprimación reforzada como superficie de rodadura.

1.0 ESTADO DEL ARTE.

1.1. INTRODUCCIÓN.

Con frecuencia, el ingeniero debe enfrentarse con suelos que tiene que utilizar para una obra determinada y cuyas características le obligan a tomar alguna de las siguientes posibles decisiones:

- Aceptar el material tal como se encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, que la calidad obtenida sea adecuada.

La última posibilidad es la que da origen a la estabilización de suelos¹.

Los medios para la estabilización de suelos van desde el reemplazo del material inadecuado hasta la incorporación de elementos químicos que al reaccionar con el suelo dan como resultado un suelo con mejores propiedades.

La estabilización significa entonces, no solo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino también asegurar la permanencia de ese estado a través del tiempo. Este último aspecto del proceso tiene fundamental importancia, ya que de su existencia, depende la existencia del primero.²

¹ (Montejo, 2008)

² (Márquez, 2005)

¿Qué propiedades mejorar?

Estabilidad volumétrica.

La expansión y contracción de muchos suelos, originados por los cambios de humedad, se puede presentar en forma rápida o acompañada a las variaciones estacionales o con la actividad propia de la construcción.³

Los suelos que presentan esta la propiedad de variar altamente su volumen en función de la humedad, son llamados expansivos, estos se presentan con mucha frecuencia en la selva peruana, por lo cual se debe de tener especial cuidado en el diseño y construcción de vías en esta región.

Resistencia.

Es la capacidad de un suelo a evitar su deformación y falla ante una carga, generalmente es más baja cuanto mayor sea su contenido de humedad.

Los suelos arcillosos al secarse, alcanzan grandes resistencias teniéndose inclusive la condición más alta de resistencia cuando se calientan a temperaturas muy elevadas como sucede en la fabricación de tabiques y ladrillos.

Aunque existen casos en los que al bajar la humedad también lo hace la resistencia puesto que un suelo cohesivo al secarse y no estar confinado se agrieta y termina comportándose como un suelo friccionante, lo que deviene en derrumbes.⁴

Permeabilidad.

Contenido de vacios en su estructura, es decir, el espacio comprendido entre sus partículas provocando la circulación de agua a través de sus poros.

No es difícil modificar substancialmente la permeabilidad de formaciones de suelos por métodos tales como la compactación, inyección, etc. En materiales

³ (Montejo, 2008)

⁴ (Montejo, 2008)

arcillosos, el uso de de floculantes puede reducir la permeabilidad también significativamente; el uso de floculantes aumenta correspondientemente el valor de la permeabilidad.⁵

Compresibilidad.

Es una propiedad donde se observa el cambio volumétrico de la estructura de un suelo debido a las condiciones naturales y artificiales que se presenten.

Estos cambios volumétricos tienen una importante influencia en las propiedades de los suelos, pues se modifica la permeabilidad, se alteran las fuerzas existentes entre sus 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.

Durabilidad.

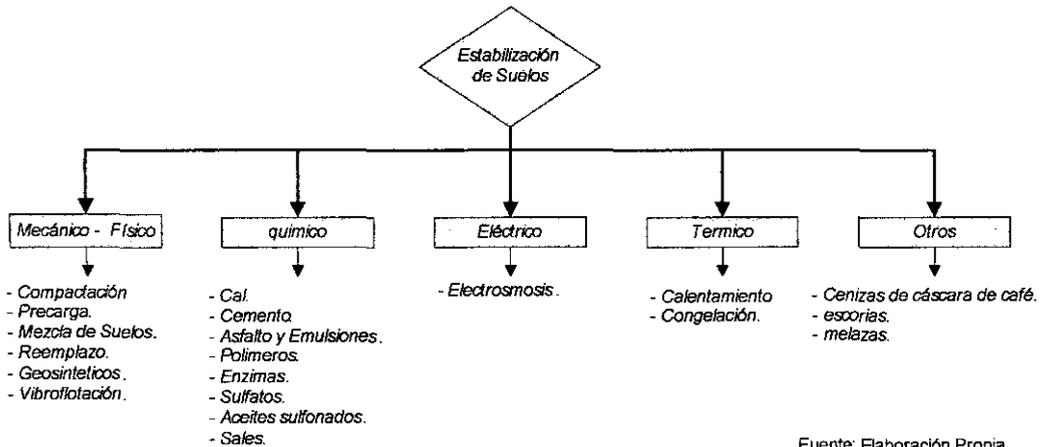
Se involucran en este concepto aquellos factores que se refieren a la resistencia al intemperismo, erosión o la abrasión del tráfico; de esta manera, los problemas de durabilidad están relacionados a las ultimas capas del pavimento en especial el nivel de rodadura.

⁵ (Montejo, 2008)

1.2. TIPOS DE ESTABILIDAD DE SUELOS.

La estabilización de suelos puede ser mecánica, física, química, eléctrica, térmica y además existen otros métodos no convencionales.

En la figura 1, se parecía diversos tipos de estabilización de suelos.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 1: Tipos de Estabilización de Suelos.

1.3. ESTABILIZACIONES FÍSICAS - MECÁNICAS.

Es aquella que busca densificar el suelo, mejorar sus propiedades granulométricas, estado de esfuerzos iniciales, colocar algún tipo de refuerzo para que absorba las cargas.

- **Compactación**, Una de las formas más antiguas y usuales para aumentar la capacidad de soporte de un suelo, por lo general este método también se emplea a la par con los demás métodos de estabilización, en la foto se aprecia el proceso de compactado a nivel de subrasante, esto se realiza con el fin de mejorar la capacidad de soporte del terreno.



Foto N° 1: Carretera Tarapoto – Juanjui (Km 72), Compactación de Sub Rasante. Fuente Pronia.

- **Precarga,** La primera vez que un suelo blando es sometido a cargas importantes (mayores que las que sufrió en el pasado) experimenta deformaciones

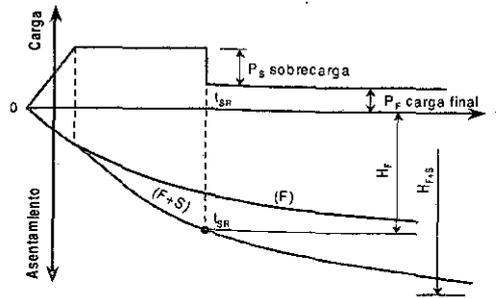


Foto N° 2: Compensación del asentamiento de consolidación primaria. Fuente (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 2002).

mucho mayores (entre dos y veinte veces más y normalmente del orden de unas cinco o diez veces más) que cuando se carga posteriormente, después de haber sido precargado y descargado. Ello puede comprobarse mediante la realización ciclos de carga y descarga⁶.

Debido a que se requiere la colocación de cargas sobre el suelo a mejorar, y de el tiempo que se debe de esperar para que se produzca la consolidación (aunque se puede reducir este tiempo con la colocación de sub drenaje), este método es muy costoso y su aplicación es muy limitada a áreas pequeñas.

- **Mezcla de Suelos,** Es el método por el cual se mezclan suelos con la finalidad de que se conserven su estabilidad bajo la acción del tránsito sin desgastarse en épocas de sequia, ni ablandarse, ni ahuellarse por la acción del tránsito ni combinadas del tránsito y las huellas⁷.

Este método presenta un procedimiento constructivo muy simple y no produce alteraciones ambientales importantes salvo las ocurridas en las canteras producto de extracción de material.

Considerando que en selva baja las canteras de grava o roca, son escasas o simplemente no existen, y por tanto los costos para el uso de este método son muy altos, pues deben ser transportadas desde zonas lejanas, se hace inaplicable éste método en selva baja.

⁶ (Ministerio de Fomento, Dirección Genral de Carreteras, 2002)

⁷ (Márquez, 2005)

- **Reemplazo**, es la eliminación total del material inadecuado reemplazándolo por otro de mejores características físico mecánicas, esto es posible siempre y cuando se cuente con canteras de buena calidad y potencia, cercanas a la obra, lo que según hemos visto no se cuenta en la zona.

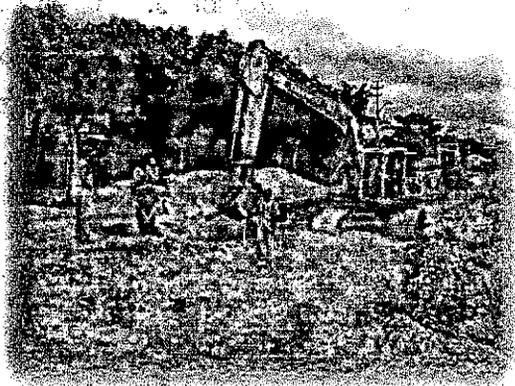


Foto N° 3: Carretera Tarapoto – Juanjui (Km 131), Inicio de excavación para reemplazo de material. Fuente Proña.

Otro inconveniente que se presenta en la selva, son los mantos de materiales arcillosos y limosos que muchas veces se extienden por cientos de metros, lo que hace imposible de ser reemplazados.

De la misma manera que para la mezcla de suelos este método requiere de fuentes de material de grava o roca, que son escasas e inexistentes en selva baja, lo cual eleva su costo.

- **Geosintéticos**: Uno de los mayores campos de aplicación de los Geosintéticos son las carreteras, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo, estabilización de suelos, filtraciones y drenaje⁸.

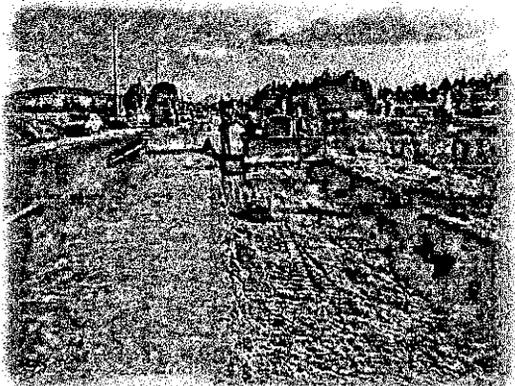


Foto N° 4: Colocación de un geotextil para refuerzo en zonas de ensanche, Fuente (Sotelo Aedo, 2004)

En la fotografía se aprecia la colocación de un geotextil con fines de refuerzo en las zonas de ensanche en carretera⁹.

⁸ (PAVCO, 2002)

⁹ (Sotelo Aedo, 2004)

Las enzimas son catalizadores, lo que significa que solo por su presencia y sin ser consumidas en la operación, las enzimas pueden acelerar procesos químicos que de otra manera marcharían muy lentamente.

Las enzimas son específicas, es decir, cada enzima puede transformar o sintetizar un compuesto particular. En algunos casos, ellas limitan su acción a enlaces específicos en los compuestos donde ellas reaccionan. Vienen de sistemas naturales y cuando son degradados, los aminoácidos de los cuales están hechos pueden ser absorbidos fácilmente en la naturaleza.

¿Por qué usar enzimas? Las enzimas pueden ser usadas para sustituir trabajos difíciles y productos químicos fuertes, así se ahorra energía y se previene la contaminación. También son muy específicos, lo que significa pocos subproductos y efectos secundarios en el proceso de producción¹². Entre estos productos podemos encontrar el Perma Zyme 11x, y otros.

- **Aceites Sulfonados.**

El aceite sulfonado es un producto derivado de la fracción naftaleno del petróleo, sulfonado; ácido corrosivo en materiales orgánicos muertos y suave en los vivos. Es un líquido espeso de color negro con una gravedad específica de 1.15, el PH es alrededor de 1.25, su viscosidad es ligeramente menor a la del agua, soluble en ella, a la cual ioniza con extrema rapidez; en solución acuosa es de alta conductividad.

Las partículas finas de arcillas y limos, debido a su composición mineralógica tienen exceso de iones negativos (aniones), por la cual atraen los iones positivos (cationes) del agua, haciendo que esta se adhiera a ellas, formando el agua pelicular.

El aceite sulfonado, por su composición química, tiene enorme potencial de intercambio iónico. Cuando se colocan pequeñas cantidades del producto en agua, activan iones H^+ y $(OH)^-$ de ella, ionizándola, la cual intercambia vigorosamente sus cargas eléctricas con las del suelo, haciendo que el agua adherida a las partículas rompa su enlace

¹² (SESCA, 2009)

electroquímico y se desprenda convirtiéndose en agua libre, que drena por gravedad, evaporación y compactación.

Esta relación electroquímica, de intercambio iónico, es permanente e irreversible.

Al desprenderse el agua pelicular de los finos, es un proceso irreversible, las partículas sedimentan y se orientan de tal forma que se atraen entre sí. De esta forma se logra una alta densificación de la masa que prácticamente elimina la estructura poroso – capilar y la succión de agua por tensión capilar.

Al incrementar la densidad aumentan por ende la capacidad de soporte CBR, este incremento logra reducciones importantes en el espesor total del pavimento.

En las experiencias en Venezuela, los suelos tratados con aceites Sulfonados han disminuido la humedad entre 30% a 90% con respecto a la óptima y su densidad se ha incrementado hasta en 15% en relación a la densidad máxima seca, por lo cual también disminuyeron su permeabilidad. Esta notable reducción de la humedad y el tiempo que requiere la acción electroquímica (mínimo 60días), son las razones por la cual no se reproducen este efecto en el laboratorio¹³.

1.5. ESTABILIZACIONES ELÉCTRICAS.

Cuando se hace circular una corriente eléctrica entre dos electrodos hundidos en un suelo que contiene agua, esta se desplaza hacia el cátodo y el suelo se deseca en la vecindad del ánodo, dependiendo el peso del agua desplazada de la cantidad de electricidad utilizada. Disminuye cuando el contenido de arcilla del suelo aumenta. Los cátodos están constituidos por tubos que recogen el agua, de los que puede evacuarse por bombeo.

¹³ (Montejo, 2008)

Hay que observar que la consolidación del terreno que se obtiene por este procedimiento solo se mantiene generalmente durante el paso de la corriente, lo que limita su empleo a obras temporales o a procedimientos constructivos, como excavación de zanjas que han de rellenarse posteriormente¹⁴.

1.6. ESTABILIZACIONES TÉRMICAS.

- **Calentamiento.**

Las arcillas al ser calentadas (a 900°C) adquieren gran resistencia y esta resistencia adquirida no se pierde ni por la inmersión.

En la práctica de estabilización de suelos resulta suficiente llegar a la temperatura en la que la rehidratación de la arcilla se torne imposible y esto ocurre con valores comprendidos entre los 200 y 400°C, ya delante de los 100°C la ganancia de resistencia puede ser muy importante pero no irreversible.

Existen dos métodos para la aplicación del mismo, la aplicación de una llama directa provocada en la superficie (desarrollado en Rumania) o por circulación de gas calentado (desarrollado en Rusia), siendo este último el más efectivo pero más complicado.

En cualquiera de los dos métodos, la influencia de un punto de calentamiento no se extiende mucho más allá de un par de metros en torno a él.

- **Congelación.**

El enfriamiento puede producir una disminución en la resistencia de los suelos finos al aumentar la repulsión entre las partículas y causa el movimiento del agua interparticular por efecto del gradiente térmico, lo que produce cambios en el comportamiento del suelo no fáciles de

¹⁴ (Galabru, 2008)

controlar. Por esta razón, todo método de estabilización por enfriamiento llega a la congelación, que queda exenta obviamente de los efectos señalados, pues en ella el agua de los poros se congela y el suelo se transforma en un conjunto rígido, de considerable resistencia.

En los suelos arenosos, el agua se congela con temperaturas del orden de 0°C, pero en los arcillosos pueden requerirse temperaturas bastante menores.

La congelación se logra haciendo circular sustancias refrigerantes por redes de tuberías colocadas en el subsuelo.

1.7. OTROS TIPOS.

Una gran cantidad de productos industriales e incluso subproductos y residuos, han sido ensayados como estabilizantes con resultados diferentes: algunos excelentes, pero económicamente desaconsejables, y otros, muy económicos, pero negativos.

Entre estos tenemos:

- Acido fosfórico.
- Bases orgánicas.
- Cascarilla de café.
- Ceniza Volante (Fly Ash)
- Cenizas provenientes de la caldera cogeneradora petropower.
- Cloruro de calcio.
- Cloruro sódico.
- Quim KD – 40.
- Sales de Aluminio.
- Soda caustica.
- Vinaza de caña de azúcar.

2.0 MARCO TEÓRICO.

Como premisa se debe tener que ***“No existe el Estabilizador que se aplique a los suelos y mejore todas sus propiedades.”***

Existen muchos agentes estabilizantes que ofrecen diversas mejoras en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo, por lo que una adecuada selección del método de estabilización parte de reducir al mínimo los posibles agentes estabilizadores en función de las limitaciones de fuentes de materiales, clima, tráfico y las exigencias del diseño de pavimento.

Una vez predeterminado el o los posibles agentes de estabilización se proceden a realizar los diseños de mezcla con estos a diferentes proporciones con el fin de obtener los porcentajes óptimos y así poder discriminar en función de los factores económicos su empleo.

La carretera Contamana – Aguas calientes presenta 2 sectores bien definidos desde el Km 00+000 – Km 14+400 y del Km 14+400 al Km 18+200, el primero con arcillas de baja a alta plasticidad y la segunda con arenas pobremente gradadas con limos, saturados, no existen canteras de material granular solo se cuenta con canteras de arena y arcilla.

La tabla uno, presenta un análisis de alternativas de métodos de estabilización de los que se selección el uso de geomalla, cal, cemento y asfalto como posibles agentes estabilizadores para la carretera Contamana aguas calientes, por lo que esos métodos serán desarrollados a profundidad más adelante.

La geomalla se debe usar solo para mejorar las propiedades de la subrasante exclusivamente en los sectores donde el CBR de la subrasante sea menor a la de diseño, para asegurar los requisitos de resistencia.

Tabla 1: Selección de Agente estabilizador.

| Método de Estabilización | Tipo de suelos factibles de estabilizar. | Permanente | Observación |
|--------------------------|--|------------|--|
| Precarga | Todos | Si | Costo elevado por las grandes cargas que se requieren colocar sobre el suelo y el período en que se logra este efecto es muy largo. |
| Mezcla de suelos | Finos | Si | Requiere de material grueso, lo cual es muy costoso pues las fuentes de agregados gruesos en selva baja son escasos o nulos |
| Reemplazo | Todos | Si | Requiere de material grueso, lo cual es muy costoso pues las fuentes de agregados gruesos en selva baja son escasos o nulos |
| Geosintéticos | Todos | Si | Se puede emplear en cualquier tipo de suelo ya que este absorbe las deformaciones generando tracción en su estructura. |
| Vibro flotación | Arenas | Si | Su empleo es costoso y su aplicación es para áreas pequeñas siendo este el principal limitante para su aplicación en carreteras. |
| Cal | Arcillas | Si | Costo bajo comparativamente y no requiere de procedimientos constructivos complicados para su colocación |
| Cemento | Arenas y Gravas | Si | Costo bajo comparativamente y no requiere de procedimientos constructivos complicados para su colocación |
| Asfalto y emulsiones | Arenas y Gravas | Si | Costo bajo comparativamente y no requiere de procedimientos constructivos complicados para su colocación |
| Polímeros | Arcillas | Si | El costo de los productos es elevado y la cantidad de materia a usar es muy pequeña lo cual hace difícil su colocación en obra. |
| Aceites Sulfunados | Arcillas | Si | Elevado costo de los productos, períodos muy prolongados para apreciar resultados. |
| Electrolisis | Arcillas | No | Sus efectos no son permanentes |
| Calentamiento | Arcillas | si | Este procedimiento es irreversible a altas temperaturas pero es costoso, solo puede estabilizar un poco área y su proceso constructivo es muy complicado |
| Enfriamiento | Todos | No | Sus efectos no son permanentes |

*Fuente: Elaboración propia.

2.1. GEOMALLAS.

Los Geomalla son materiales poliméricos, delgados, flexibles y laminares, que se utilizan para mejorar el comportamiento ingenieril de los suelos¹⁵.

El uso de la Geomalla está orientado al mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.

- Sobre suelos blandos (sub rasante).
- Por debajo de la base granular (carreteras).
- Por debajo de Basaltos (Ferrocarriles).
- Para reforzar rellenos (presas de tierra).

¹⁵ (Sotelo Aedo, 2004)

- Como Estructuras de contención (suelo reforzado).
- Para estabilizar coberturas (Rellenos históricos).
- Otros.

Para las solicitaciones de resistencia de este proyecto la geomalla solo será usado como un agente de refuerzo en los sectores más críticos con juntamente con un geotextil para evitar la migración de finos entre las capas.

Según AASHTO M288-00, Para que una geomalla cumpla correctamente la función de REFUERZO entre un suelo de subrasante y una capa de material¹⁶:

2.2. ESTABILIZACIÓN CON CAL.

Es quizás la primera forma de estabilización química usada, como se vio en el capítulo anterior, hay evidencias que se uso cal en la construcción de la vía Apia, acceso a la antigua Roma.



Foto N° 8: Vía Apia, acceso a la antigua ciudad de Roma.
Fuente / www.artifexbalear.org/romanos1.html.

¿Qué es la Cal?

La cal es uno de los primeros químicos conocidos, se obtiene a partir de la calcinación de roca caliza, esta se puede encontrar como cal viva, cal hidratada y cal agrícola, esta última es la piedra caliza finamente molida que es un útil correctivo agrícola que no tiene suficiente reactividad química para lograr la estabilización de los suelos.

Para la obtención de cal viva, se requiere del siguiente proceso químico:

¹⁶ (Sotelo Aedo, 2004)

La cal hidratada es la mezcla de cal viva más agua.

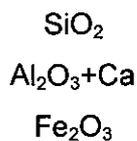


La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio¹⁷.

2.2.1. PROCESOS DE LA CAL EN EL SUELO.

Se distinguen cuatro procesos en la acción de la cal en los suelos:

- a. **Intercambio de Bases:** los suelos plásticos (IP>10) poseen cationes Na^{++} , K^{++} o Mg^{++} que poseen gran poder de atracción de agua debido a una descomposición de cargas superficiales al incorporar cal al suelo son incorporando iones Ca^{++} que remueven a los iones K^{++} , Na^{++} o Mg^{++} compensando cargas superficiales y disminuyendo el poder de atracción del agua, procesos que se denominan intercambio de bases.
- b. **Floculación:** es la agregación de las partículas de arcilla que hace posible el desplazamiento de la curva granulométrica del suelo hacia la zona gruesa ello es debido a una atracción de las partículas entre sí, que se hace posible debido a la eliminación de agua absorbida, entonces las partículas se agrupan. Este proceso requiere horas para producirse y el porcentaje de cal necesario será de 2% en peso, depende del tipo de suelo.
- c. **Acción puzolánica:** es una reacción química que se produce entre los minerales componentes de la arcilla y la cal. El proceso se produce más lentamente por combinación del:



¹⁷ (Nacional Lime Association, 2004)

Dando lugar a los silicatos y aluminatos cálcicos que poseen gran poder cementante. El principal elemento que se combina es el SiO_2 .

El endurecimiento es lento, favorecido por la temperatura, viéndose favorecida la reacción cuando se encuentra en un medio de PH 10,5 a 11 es decir alcalino.

Por ello (del intercambio de bases y la floculación), el primer 2% mejora el PH y el resto cal favorece el proceso de acción puzolánica.

- d. **Carbonatación:** es cuando una reacción química que se produce entre el oxido de calcio puro (CaO) y el dióxido de carbonato de la atmosfera.

Se supone que este fenómeno posee más probabilidad de desarrollarse cuando hay exceso de cal y cuando hay contacto con el oxigeno del medio ambiente. Es por ello que tiene lugar en las capas superficiales generando heterogeneidad con el material ligante.

Para evitar estos problemas debe restringirse el contacto con el oxigeno de la atmosfera de la capa suelo cal durante el proceso de maduración dando lugar al llamado curado, el que se materializa mediante el riego asfáltico¹⁸.

De lo precedente expuesto se deduce que existen dos procesos bien diferenciados en la elaboración de los suelos estabilizados con cal.

- I

| |
|-------------------------|
| a Intercambio de Bases. |
| b Floculación |

- II

| |
|---------------------|
| c Acción Puzolánica |
| d Carbonatación. |

El proceso uno hay una modificación del suelo en la cual cambian las propiedades del mismo siendo tales modificación irreversibles.

¹⁸ (Márquez, 2005)

En el segundo proceso tiene lugar la acción de cementación del material y ganancia de propiedades de resistencia al corte por aumento de cohesión.

Veremos que hay un 3% de cal en peso de suelo seco que debe adicionarse al material para lograr los procesos a y b. la cal que se agregue en exceso será consumida en los procesos c y d, pero veremos de acuerdo al análisis de graficas que siguen que un límite máximo de cal a incorporarse en suelo para el logro de acción puzolánica y carbonatación (indeseable).

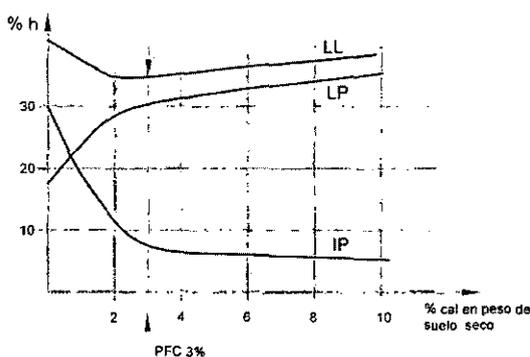


Figura 2: Humedad vs %Cal.

Como podemos ver el agregado paulatino de cal al suelo produce un aumento del límite plástico, procesos favorecido por el intercambio de bases, la menor afinidad del suelo tratado hacia el agua implica una mayor adicción de agua lograr que el suelo pase de un sólido rígido a un material de tipo plástico. De la misma manera el límite líquido disminuye debido a que las partículas estabilizadas requieren menor humedad para perder su estructura plástica y tornarse en un fluido. Si la cal no hubiese actuado, el agua agregada se alojaría en la estructura arcillosa evitando la licuación.

Veamos que sucede con:

Límite plástico.

Alcalinidad (pH)

Resistencia (kg/cm_2)

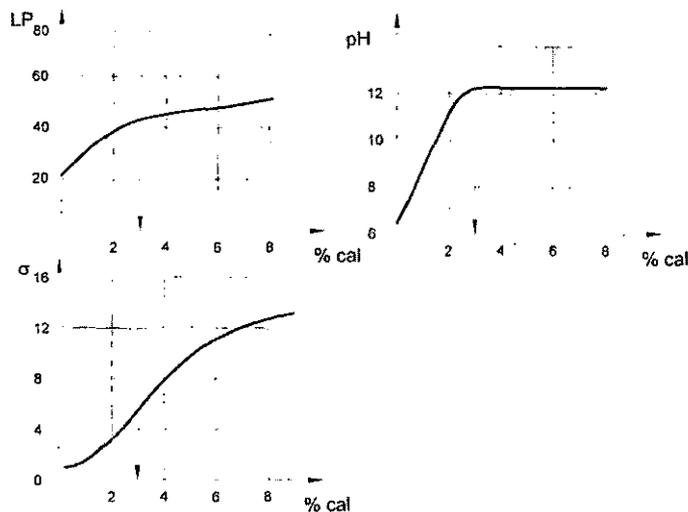


Figura 3: Limite Plástico, Potencial de Hidrogenión, Resistencia VS porcentaje de Cal.

Obsérvese del análisis de las precedentes curvas que el punto de fijación de fijación de la cal es del orden del 3% luego de este porcentaje de cal se produce incrementos en la capacidad portante debido a mecanismos de cementación, quedando detenida la modificación del suelo, tal como se puede apreciar en las graficas del límite plástico y el pH.

Granulometría y densidad.

Las cargas electronegativas de la superficie de los minerales arcillosos, son mayores en los bordes y aristas de las partículas. Ello provoca la migración de los iones de intercambio hacia esos puntos. Esta sería la causa de un acomodo de las partículas, generándose contactos en esos puntos que provocan su aglomeración. Como consecuencia práctica, un suelo cohesivo adicionado con cal, adquiere una granulometría más gruesa que la sin tratar. La estructura de esto adopta una forma tridimensional asimilable a un reticulado espacial. En la figura siguiente se puede observara cualitativamente las variación en el huso granulométrico, producidas por el agregado de cal al suelo, en este caso se estaría viendo la disminución del pasante tamiz 200 de un 30 a 10 %.

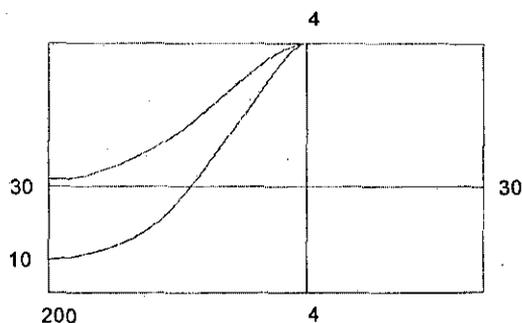


Figura 4: Variación de la Granulometría con la cal.

Respecto de la densidad podemos decir que las modificación producidas por la aglomeración de partículas, hacen disminuir el peso específico del suelo cal respecto al suelo del suelo solo, además en la rama seca de ensayo de compactación, debe alcanzar cierto grado de saturación para que el agua adquiera un rol lubricante.

A ambos aspectos, menor peso específico y mayor necesidad de agua para lubricar, se adjudican la distribución de la densidad máxima y al aumento de la humedad óptima, que experimenta el suelo cal respecto al suelo solo.

La densidad máxima continúa decreciendo a medida que se incrementa el contenido de cal. Además el contenido de humedad óptima se incrementa al aumento de cal.

Desde que la densidad seca emplea como parámetro de control en obra, estos aspectos resulten significativos. Por lo que es importante que se emplee la curva apropiada para cada condición de control.

Las humedades de empleo superiores a la óptima, favorecen en cierto grado la estabilización. Ello muestra la necesidad del vehículo agua, para que se cumplan los procesos de interacción entre el suelo y la cal.

Un uso muy difundido de la cal, es aquella que tiende a “secar” un suelo con exceso de humedad para poder compactarlo. En realidad no existe tal secado, se produce cambios en las propiedades físicas del suelo, que permite compactarlo con mayor contenido de humedad. Debe recordarse que

un suelo con exceso de humedad satura los canales de salida del aire, este aire ocluido se comporta se comporta elásticamente ante la aplicación de la carga de compactación evitando la densificación.

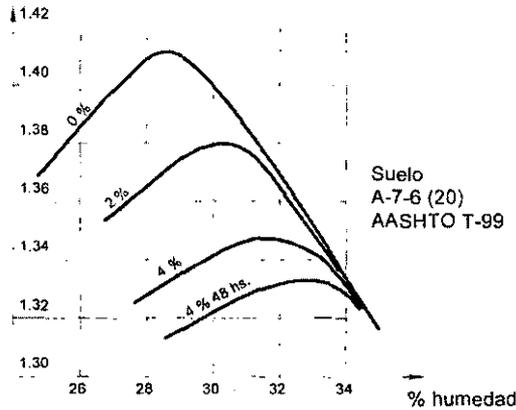


Figura 5: Variación del OCH y del MDS con el % de Cal.

Valor de soporte.

La experiencia realizada en diferentes tipos de suelos y volcadas en los gráficos precedentes permite visualizar el fenómeno de acción de la cal.

Debemos agregar que el efecto de la cal se deja traducir fundamentalmente en el ensayo de valor de soporte el cual, como se sabe, en un ensayo clásico para la medición de la resistencia al corte que ofrece el material.

De todas maneras conviene efectuar la siguiente aclaración sobre este ensayo.

Sabemos que todas las curvas de penetración/carga poseen una evolución armónica hacia una carga que corresponde a la de rotura del suelo o aquella que se encuentra relacionada a la penetración de 5/10 de pulgada.

La ejecución del ensayo de calor de soporte sobre un suelo cal permite ver la curva de carga penetración del suelo no responde a una evolución armónica como las de los suelos cementados con cal.

Por el contrario puede notarse que la curva de un suelo cal corta a las curvas de penetración de un suelo solo, lo que reflejaría una carga máxima para una dada deformación, por encima de la cual el suelo deforma sin tomar prácticamente carga.

Este hecho refleja la presencia de una cierta matriz generada en el suelo al ser cementado por la cal, que es rota al ser punzonada por el ensayo de penetración.

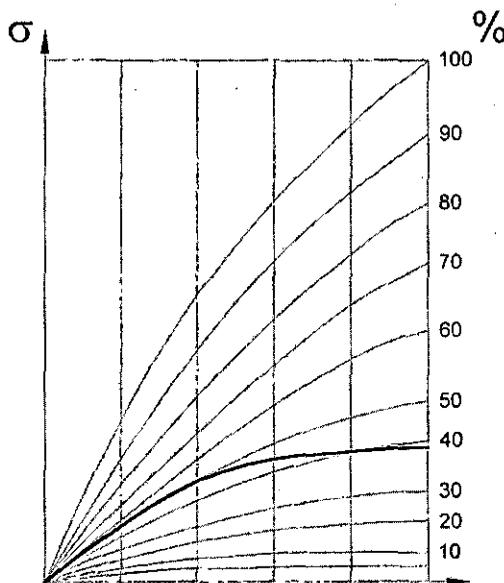


Figura 6: Variación del OCH y del MDS con el % de Cal.

Lo expuesto nos permite ver el ensayo de valor de soporte del material suelo – cal no refleja confiablemente lo que debería pasar en un suelo solo, por lo que el valor del ensayo debe ser tomado con precaución.

Suele adoptarse el criterio de asumir como valor de soporte el que corresponde a la 5ta penetración, criterio bastante conservador, este pretende interpretar el uso de este valor como el que corresponde al suelo – cal tendría entonces características superiores al suelo original principalmente respecto al comportamiento plástico.

Otros adoptaron el criterio de moldear la probeta, ensayarla, desmenuzarla, conformarla y volverá a ensayarla, y así sucesivamente en varios ciclos

observándose que la penetración disminuye secuencialmente en cada ciclo da acuerdo con el grafico, tomándose asintótico el valor de soporte adoptándose como valor final aquel que corresponde a la asíntota.¹⁹

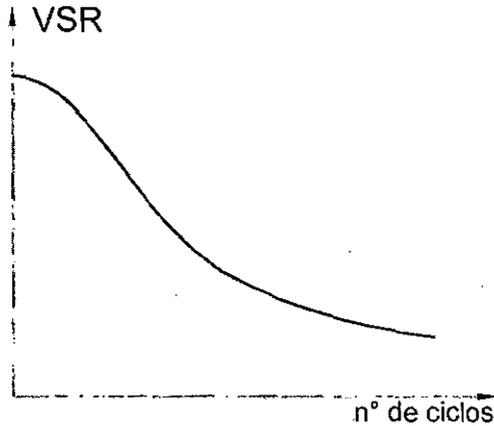


Figura 7: Valor de Soporte vs Numero de ciclos.

2.2.2. CUANDO ESTABILIZAR CON CAL.

De acuerdo a lo ya explicado, necesita de ciertos químicos que se encuentran en las arcillas para dar lugar a la estabilización.

Diversos autores han desarrollado criterios para delimitar el uso de la cal para determinados suelos con propiedades física específica, considerando la química de los suelos y factores económicos.

Tabla 2: Cuadro Comparativo Límites para la aplicación de Cal como agente estabilizador.

| Autor | Especificaciones Generales EG 2000, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú | Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito | Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica. | Estabilización de Suelos, Santiago Márquez | Ingeniería de Pavimentos, Montejo Fonseca | Caminos rurales |
|-----------------------------------|---|--|---|--|---|-----------------|
| Del Suelo | | | | | | |
| % Contenido de Materia Orgánica | <3 | - | - | - | - | - |
| % Resistencia a los sulfatos | <10 | - | - | - | - | - |
| Límite Líquido | - | - | <40 | - | - | - |
| Índice de Plasticidad | 10-50 | De 2 - 4 por ciento en gravas y arcillas, altamente arcillosos, de 5 - 10 como capa granular y 1 a 3 para sub rasante. | <8 | - | 15< | 17-40 |
| % que pasa Nº4 | - | - | 50-100 | - | - | - |
| % que pasa Nº40 | - | - | 20-70 | - | - | <75 |
| % que pasa Nº200 | - | - | 5-35 | - | 25< | 35? |
| % recomendados | 02-08 | - | - | 3%< | - | - |
| De la Mezcla | | | | | | |
| CBR | - | - | - | - | - | ?20 |
| Resistencia a la compresión (Mpa) | - | - | 1.96 | La pre dosificación se determina con el método de Mc Dowell. | - | 0.8 |
| recomendaciones | - | - | - | - | Agregar 0.5 a 1% mas para evitar los | - |

*Fuente Elaboración Propia.

¹⁹ (Márquez, 2005)

Del cuadro anterior podemos concordar en que los límites tanto del punto de vista químico, como económico son:

- (MTC E 118-2000) Contenido de Materia Orgánica menor a 3%.
- (MTC E 111-200) Índice de plasticidad mayor a 15.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 mayor a 35%.
- Se recomienda usar porcentajes de cal mayores a 3% en peso.

2.2.3. DISEÑO DE MEZCLA.

Una vez establecida la afinidad del suelo a estabilizar con la cal, la literatura indica que la mínima cantidad de cal en peso que se debe de emplear es de 3%.

Aunque existen otros métodos como los planteados por Mc Dowell, en la que se establece que la dosificación de esta en función del índice de plasticidad y el porcentaje de material pasante al tamiz N°40, relacionados mediante el siguiente grafico²⁰.

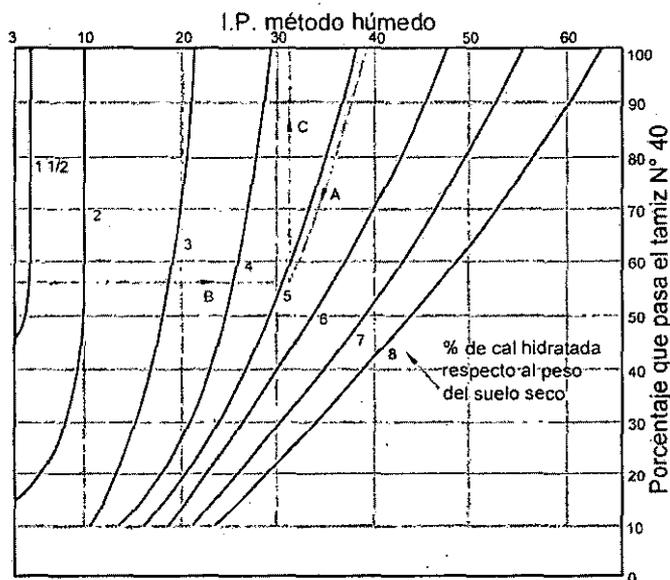


Figura 8: Estimación del porcentaje de cal²¹.

²⁰ (Márquez, 2005)

²¹ (Márquez, 2005)

Una vez establecida, la pre dosificación de la mezcla se procede a realizar los siguientes ensayos, a un rango de valores con la finalidad de ubicar el óptimo contenido de cal para que satisfaga los requisitos de resistencia.

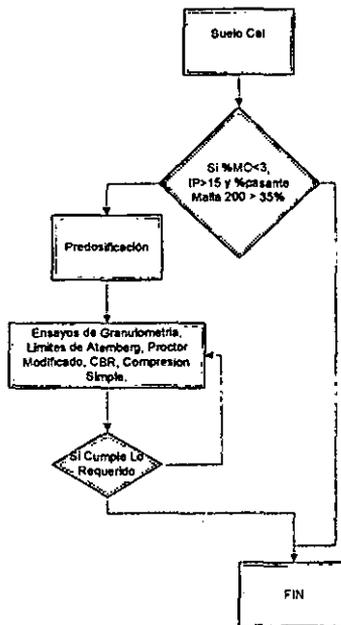
Tabla 3: Ensayos Para el Diseño de Mezcla Suelo – Cal.

| Estabilización Suelo Cal | Norma |
|---|-------------------------|
| Granulometría | MTC E 107, ASTM D 422 |
| Limites de Liquido | MTC E 110, ASTM D 4318 |
| Limite Plástico e Índice de Plasticidad | MTC E 111, ASTM D 4318 |
| Proctor Modificado | ASTM E 115, ASTM D 1557 |
| CBR | MTC E 132, ASTM D 1883 |
| Compresión No Confinada | MTC E 121, ASTM D 2186 |

*Elaboración Propia.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio, estos se compararan con los requeridos por el diseño de pavimentos, tomando el valor mínimo con los que se satisfaga los requisitos de resistencia, más un 0.5% para eliminar posibles desperdicios y malos procesos constructivos.

Figura 9: Diagrama de Flujo Para el diseño de Mezcla Suelo - Cal.



*Elaboración Propia.

2.3. ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO PORTLAND TIPO I.

2.3.1. RESEÑA HISTÓRICA.

La aplicación del suelo-cemento empezó a estudiarse metódicamente entre 1910 y 1920. En Inglaterra, en 1917, Brooke Bradley empleó con éxito una mezcla de cemento con suelos arcillosos en la construcción de carreteras. Sin embargo, a pesar de los excelentes resultados, la técnica no fue usada posteriormente. En los Estados Unidos, el uso del suelo - cemento se incrementó a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada Soilamies. El esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940.

Después de la Segunda Guerra Mundial se inician en España y Latinoamérica las primeras experiencias con suelo-cemento aplicado en carreteras, siendo Argentina, Colombia y El Salvador ejemplos de países con más de 50 años de experiencia en la construcción de caminos de este tipo. En la actualidad existen modernos equipos estabilizadores, recicladores de gran potencia y rendimiento, distribuidores y dosificadores de cemento que facilitan el trabajo en campo y garantizan la calidad de mezclado y colocación. Aún existen retos por superar referente al conocimiento de este material, si bien el trabajo de investigación continúa en diversos países²².

2.3.2. DEFINICIÓN.

Se define como suelo estabilizado con cemento la mezcla íntima y homogénea, convenientemente compactada, de suelo, cemento y agua a la cual se le exigen unas determinadas condiciones de resistencia y durabilidad²³.

²² (Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto, 2009)

²³ (Rico & Del Castillo, 2008)

2.3.3. PROCESOS DEL CEMENTO EN EL SUELO.

Básicamente existen dos procesos químicos los que ocurren durante la adición de cemento al suelo los cuales se describen así:

1. **Fijación de los iones cálcicos por el suelo.** Este primer proceso modifica las propiedades del suelo (LP), los silicatos del cemento al ponerse en contacto con agua originan silicatos hidratados tornando a la solución del agua en alcalina (pH desde más de 7 hasta aproximadamente 12) con abundancia de calcio que es tomado por el suelo para modificar sus cargas superficiales variando de manera sus condiciones de plasticidad, ocurriendo esto en el segundo proceso.
2. **Cementación de las partículas.** Modificadas las propiedades de plasticidad del material habiendo sido absorbidos los iones calcio por el suelo, comienza un segundo proceso en el cual el cemento actúa sobre el adhiriendo sus partículas dando lugar a una cementación casi irreversible que origina una cohesión por cementación que aumenta la resistencia al corte del producto resultante. Ocurre algo así como una modificación íntima en el material de cada partícula que las suelda unas con otras.

Hay tres requisitos básicos que deberán tenerse en cuenta al elaborar un suelo cemento a efectos de lograr un producto resultante que sea durable y estable.

- Modificación de la humedad óptima.
- Compactación uniforme y a máxima densidad.
- Incorporación de suficiente cantidad de cemento para reducir la pérdida de peso u cambio de volumen y humedad a cantidades despreciables después de los ensayos de durabilidad.

Además de tales condiciones es necesario lograr una mezcla íntima de suelo pulverizado cemento y agua.

Los porcentajes de cemento pueden expresarse en peso o en volumen del suelo seco²⁴.

2.3.4. CUANDO ESTABILIZAR CON CEMENTO.

Básicamente cualquier suelo puede estabilizarse con cemento a excepción de los suelos muy plásticos, orgánicos o con altos contenidos de sales que puedan afectar el desempeño del cemento.

Existen diversos criterios en varios países, que limitan y especifican las características que debe tener un suelo para considerarse aceptable en la elaboración de una mezcla de suelo-cemento. Si se comparan dichos criterios entre sí, existen diferencias respecto a ciertos requerimientos; sin embargo, todos coinciden en limitar aspectos relativos a la granulometría del suelo, proceso constructivo y cumplimiento de requerimientos del diseño de mezcla y de la estructura del pavimento.

Una comparación de requisitos granulométricos exigidos para algunas entidades se presenta en tablas.

El objetivo de limitar características del suelo, principalmente el índice de plasticidad y los requerimientos granulométricos, es obtener una mezcla económica en términos de la cantidad de cemento y de buen comportamiento estructural. Los suelos estabilizados con cemento, no deben considerarse como materiales inertes. La adición de agua y cemento al suelo hace que reaccione químicamente, produciéndose cambios a través del tiempo y modificando sus propiedades físicas a corto, medio y largo plazo.

²⁴ (Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto, 2009)

Tabla 4: Cuadro Comparativo Límites para la aplicación del Cemento como agente estabilizador.

| Autor | Especificaciones Generales EG 2000 Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú | Especificaciones Generales para la Construcción de Vías, INVIAS Colombia | Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica. | Estabilización de Suelos, Santiago Márquez | Ingeniería de Pavimentos, Montejo Fonseca | Caminos rurales España | Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Rico del Castillo | El salvador | Canada Sackatchewan Highways and transportation (1998) | Instituto Mexicano del Transporte | ACI 230 |
|---------------------------------|--|--|---|--|---|------------------------|--|-------------|--|-----------------------------------|---------|
| Del Suelo | | | | | | | | | | | |
| % Contenido de Materia Orgánica | | | | | | | 1-2 max | | | | |
| % Resistencia a la c | <10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Límite Líquido | <40 | <35 | <40 | <35 | <40 | <40 | <50 | <40 | - | 45-50 | - |
| Índice de Plasticidad | <18 | <15 | <8 | <12 | <18 | <18 | <18 | <8 | <10 | <25 | - |
| Tamaño Máximo | - | 3" | - | 2" | 7.5cm | 2" | 80mm | 2" | 2 1/2" | - | 50mm |
| % que pasa N°4 | - | 60< | 50-100 | - | - | 50-100 | - | 50-100 | - | - | 55% |
| % que pasa N°40 | - | - | 20-70 | - | - | 15-100 | - | - | - | - | - |
| % que pasa N°200 | - | <50 | 5-35 | 750 | 750 | 0-50 | 0-50 | 5-35 | 5-35 | - | 5-35 |
| De la Mezcla | | | | | | | | | | | |
| Resistencia a la c | 1.76 | 2.1 | 1.96 | - | 1.71 | 1.47 | 1.76 | 1.96 | - | - | - |
| Expansión | - | - | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - |

*Fuente Elaboración Propia

Del cuadro anterior podemos concordar en que los límites tanto del punto de vista químico, como económico son:

- (MTC E 118-2000) Contenido de Materia Orgánica menor a 2%.
- (MTC E 209-200) Resistencia a los sulfatos menor a 10%.
- (MTC E 110-200) Límite Líquido menor a 40
- (MTC E 111-200) Índice de plasticidad menor a 15.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 4 entre 50 y 100%.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 entre 5 y 35%.
- La resistencia a la compresión será como mínimo 1.8Mpa.

2.3.5. DISEÑO DE MEZCLA.

El proceso de selección de óptimo contenido de cemento para su estabilización está en función de:

- Requisitos de resistencia requeridos por el diseño estructural del pavimento.
- Requisitos de durabilidad.
- Flexibilidad de la estructura.

Como primer paso para la obtención del porcentaje de cemento se debe de estimar una pre dosificación, existen varias propuestas para estimar el porcentaje de cemento en la mezcla como son:

Tabla 5: Porcentaje de Cemento según Manual de Carreteras de Bajo Transito del Perú.

| Tipo de Suelo | % de Cemento en Peso | |
|---------------|----------------------|----|
| 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 de bajo transito del Perú

Tabla 6: Porcentaje de Cemento según El Instituto Mexicano del Transporte.

| Instituto Mexicano del Transporte | |
|-----------------------------------|--------------|
| SUELO | % DE CEMENTO |
| GW, GP, GM y SW | 3 - 7 |
| SC, GC | 5 - 9 |
| SP, SM | 7-11 |
| ML | 7-12 |
| CL, OL, MH | 8 - 13 |
| CH | 9-15 |

*Fuente, Instituto Mexicano del Transporte.

Tabla 7: Porcentaje de Cemento según Varios autores.

| % en Peso | El Salvador | Método PCA | Usace | Colombia Invias | España |
|-----------|--|------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|
| 5 | No exige un contenido inicial, | GW, GP, GM, SW, SP, SM | GW, SW, GP, SW-SM, SW- SC, GW- | | Considera un 3 % |
| 6 | La práctica común considera un 2% como contenido | GM, GP, SM, SP | GM, GW-GC | No exige un contenido inicial | como contenido inicial para |
| 7 | especial para todos los tipos de suelos | GM, GC, SM, SC | GM, SM, GC, SC, SP-SM, SP-SC, GP- GC, SM-SC, GM-GC | | todos los tipos de suelos |
| 9 | | SP | - | | |

| % en Peso | El Salvador | Método PCA | Usace | Colombia Invias | España |
|-----------|-------------|-------------------|------------------------|--------------------|--------|
| 10 | | CL, ML, MH, CH | SP,CL,ML,ML- CL,CH, | | |
| 11 | | - | MH,OH | | |
| 12 | | CL, CH | - | | |
| 13 | | MH, CH | - | | |

*Fuente elaboración Propia.

De acuerdo con las tablas anteriores y en función del tipo de suelo se escoge la pre dosificación y además otros porcentajes mayores con el fin de tener un espectro de valores que nos permitan encontrar el óptimo contenido de cemento para los requisitos de resistencia y durabilidad.

Con estos valores se procede a la elaboración de ensayos de laboratorio como granulometría, Limite líquido, Limite Plástico, clasificación, Proctor, CBR compresión simple, secado y humedecimiento.

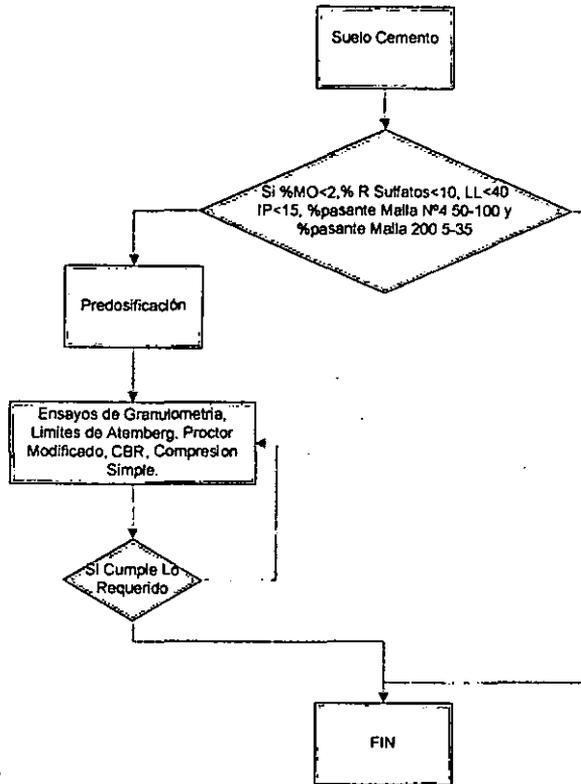
Tabla 8: Ensayos para el diseño de mezcla.

| Estabilización Suelo Cemento | Norma |
|---|-------------------------|
| Granulometría | MTC E 107, ASTM D 422 |
| Limites de Líquido | MTC E 110, ASTM D 4318 |
| Limite Plástico e Índice de Plasticidad | MTC E 111, ASTM D 4318 |
| Proctor Modificado | ASTM E 115, ASTM D 1557 |
| CBR | MTC E 132, ASTM D 1883 |
| Compresión No Confinada | MTC E 121, ASTM D 2186 |

*Fuente elaboración propia.

Una vez obtenidos estos resultados se considera el óptimo contenido de cemento al porcentaje que satisfaga los requisitos de resistencia y durabilidad sin superar el valor de 55Kg/cm² para evitar un excesivo fisuramiento en la vía que se puede reflejar en las capas superiores y deteriorar grandemente la estructura del pavimento.

Figura 10: Diagrama de flujo para estabilización de suelos con Cemento.



*Fuente elaboración propia.

2.4. ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO RC-250.

El asfalto es un material de origen natural que se encuentra como un constituyente del petróleo existente en las capas superiores de la corteza exterior de la tierra. (Normalmente a más de 4.000 m. bajo la superficie).

Su constitución química incluye mayoritariamente carbono e hidrógeno en forma de hidrocarburos junto a sulfuros, oxígeno, nitrógeno y algunos metales como níquel, vanadio, calcio y magnesio en mucha menor cantidad.

Estructuralmente el asfalto se compone de asfáltenos que son los responsables de su consistencia (dureza) y los máltenos que aportan la adhesividad del material. Esta estructura presenta al asfalto en forma simplificada, sin embargo, hay que enfatizar que la composición química es extremadamente compleja y distinta entre uno y otro asfalto.

Físicamente es un material de color negro brillante, consistencia semisólida a temperatura ordinaria, presenta un alto grado de adhesividad e impermeabilidad, además es resistente a la mayoría de los ácidos, sales, álcalis y su durabilidad es muy alta en condiciones normales.

Sufre alguna degradación si es expuesto a radiación solar directa (especialmente en alturas mayores a 3.000 m.) o si es calentado a temperaturas sobre 2200C. Es diluido con facilidad en los otros componentes del petróleo (gasolina, kerosene, diesel, etc.) es altamente hidrófugo y tiene una buena afinidad con los áridos.

Por otra parte, es un material termoplástico, es decir, su condición de estado es dependiente de la temperatura, así, en ambientes fríos se comporta como un sólido elástico, a temperaturas intermedias (ambiente normal - 0oC A 70oC) presenta una condición visco - elástica y a medida que se eleva la temperatura pasa a ser un material de flujo plástico muy viscoso, para tornarse francamente líquido a temperaturas sobre los 110oC o 120oC.

Orígenes

El término asfalto se cree que proviene del antiguo término acadio «asphaltic» (3.000 A.C.), el que fue adoptado por Homero al griego, definiéndolo como un «material para hacer calzadas o estabilizaciones », luego pasó al latín y finalmente al francés «asphalte», inglés «asphalt» y español «asfalto».

Se usó varios cientos de años antes de Cristo en zonas cercanas a los lagos de asfalto existentes en el oriente medio como mortero de pega entre bloques de piedras que cubrían las calzadas y pisos de edificaciones.

En la Biblia se menciona que este material se habría usado en el arca de Noé, en la cesta de Moisés y en Babilonia. Incluso, esqueletos de animales prehistóricos se han encontrado intactos en depósitos asfálticos.

Un breve recuento histórico indica que es el material de uso ingenieril más antiguo aplicado por el hombre.

En Sumeria, 6.000 años A.C., se descubrió una próspera industria de construcción de barcos que usó el asfalto como elemento impermeabilizante. Los egipcios y los persas lo usaron como un mortero impermeabilizante en embarcaciones, canales, etc.

Todos estos asfaltos se obtuvieron de fuentes naturales (lagos) que se generaron por evaporación de los otros componentes del petróleo que surgió a través de grietas desde los depósitos subterráneos.

Hitos Históricos del Asfalto

- 1599 Primera clasificación del asfalto y establecimiento de la relación asfalto - petróleo.
- 1777 Formulación de la moderna teoría sobre el origen del asfalto.
- 1815 Se construye el primer tratamiento superficial de penetración directa. Sistema Mc Adam. (Londres).
- 1829 Primer uso de pavimento tipo «máscic asfáltico». (Francia).
- 1837 Relatos de los primeros depósitos de asfalto en Connecticut, USA y tratado exhaustivo de la Química del asfalto en París, Francia.
- 1902 Producción de 20.000 toneladas de asfalto en USA como resultado de la refinación de petróleo crudo.
- 1910 Primera planta con secadores para producir mezcla asfáltica en caliente.
- 1920-1930 Se crean organismos que regulan las aplicaciones asfálticas entre otros: «Asphalt Association» y «Asphalt Institute», USA.
- 1941 En todo el mundo se refuerza la construcción de calzadas y pistas de aeropuertos para atender las necesidades de la 2ª Guerra Mundial. Se usa casi exclusivamente asfalto.
- 1946-1960 Un gran desarrollo post-guerra se produce en la industria automotriz y en la construcción y pavimentación asfáltica de vías rurales y urbanas
- 1979 Se registra el mayor consumo histórico de asfalto en USA: 38.000.000 Ton. El consumo total en el mundo es de 100.000.000 Ton.
- 1980-2002 Los cambios en el parque automotriz, tanto en cantidad, variedad y calidad de los vehículos, generan nuevos requerimientos a las

vías y en especial a los pavimentos, lo que obliga a desarrollar nuevos materiales y aplicaciones, plantas más eficientes y de mayor capacidad, procesos constructivos optimizados, métodos de control de calidad más seguros y confiables con equipos de alta eficacia y personal capacitado adecuadamente.²⁵

2.4.1. PROCESOS DEL ASFALTO EN EL SUELO.

Prácticamente todo los tipos de suelos responden a la estabilización con asfalto, incluyendo a las arcillas más compresibles y activas, pero los mejores resultados se obtiene sin duda con arenas y gravas arenosas, materiales a los que el asfalto da cohesión e impermeabilidad.

Los efectos estabilizantes del asfalto ocurren a través de dos mecanismos, el primero es una liga establecida entre partículas de suelo a través del asfalto, lo que da una cohesión al conjunto; el segundo es la protección del suelo contra la acción del agua. El primer mecanismo es importante sobre todo en suelos granulares, en tanto que el segundo resulta útil más bien en los cohesivos.

A continuación se establecen algunos puntos de interés sobre algunas propiedades importantes de los suelos algunas estabilizados con asfalto y de los factores que influyen su variación.

Peso Volumétrico.

Generalmente el asfalto hace disminuir el peso volumétrico seco máximo a que puede llegarse; esta disminución seguramente no es muy importante, pues la estabilización produce un mejoramiento en las propiedades mecánicas que la compensan con creces.

La adición del asfalto en forma de asfaltos rebajados lleva consigo un porcentaje de solvente volátiles que es importante en el comportamiento de la mezcla obtenida; cuando mayor sea el contenido de asfalto, menor será la pérdida de resistencia por saturación, respecto al suelo no tratado y, por otra parte, cuando

²⁵ (Julio, 2003)

el solvente pasa cierta proporción la resistencia de la mezcla, así como su eso volumétrico seco disminuyen²⁶.

Resistencia.

En términos generales se puede decir que cuando mayor sea el contenido de asfalto mayor será la resistencia, sin embargo en suelos finos el incremento de asfalto no influye en la resistencia

Aunque si se sigue aumentando indiscriminadamente el porcentaje de asfalto se llega a un punto en el que la resistencia empieza a disminuir.

Valor relativo de soporte.

A igual que con la resistencia esta aumenta con el contenido de asfalto y también empieza a disminuir al llegar un determinado porcentaje de asfalto.

Resistencia ante el agua.

El asfalto tiende a impermeabilizar el suelo, especialmente a los suelos cohesivos.

2.4.2. CUANDO ESTABILIZAR CON ASFALTO.

Existen diversos criterios en varios países, que limitan y especifican las características que debe tener un suelo para considerarse aceptable en la elaboración de una mezcla de suelo-asfalto. Si se comparan dichos criterios entre sí, existen diferencias respecto a ciertos requerimientos; sin embargo, todos coinciden en limitar aspectos relativos a la granulometría del suelo, proceso constructivo y cumplimiento de requerimientos del diseño de mezcla y de la estructura del pavimento.

Una comparación de requisitos granulométricos exigidos para algunas entidades se presenta en tablas.

²⁶ (Rico & Del Castillo, 2008)

El objetivo de limitar características del suelo, principalmente el índice de plasticidad y los requerimientos granulométricos, es obtener una mezcla económica en términos de la cantidad de asfalto y de buen comportamiento estructural.

Tabla 9: Cuadro Comparativo Límites para la aplicación del Asfalto como agente estabilizador.

| Autor | Especificaciones Generales para la Construcción de Vías, INVIAS Colombia | Ingeniería de Pavimentos, Montejo Fonseca | Caminos rurales España | Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Rico del Castillo |
|-----------------------------|--|---|------------------------|--|
| Del Suelo | A-1-b - A-2-4 | | | |
| %Resistencia a los sulfatos | <12% | | | |
| Límite Líquido | <35% | <40 | <35 | <40 |
| Índice de Plasticidad | <7% | <18 | <15 | <18 |
| %que pasa N°4 | 100 | 50< | 50-100 | 50-100 |
| %que pasa N°40 | | 35< | 35-100 | 35-100 |
| %que pasa N°200 | 5--25 | 10--15 | 10--35 | 10--50 |

*Fuente Elaboración Propia

Del cuadro anterior podemos concordar en que los límites tanto del punto de vista químico, como económico son:

- (MTC E 209-200) Resistencia a los sulfatos menor a 12%.
- (MTC E 110-200) Límite Líquido menor a 35
- (MTC E 111-200) Índice de plasticidad menor a 15.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 4 entre 50 y 100%.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 40 entre 35 y 100%.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 entre 10 y 35%.
- Se recomienda usar en suelos A-1-b y A-2-4.

2.4.3. DISEÑO DE MEZCLA.

El proceso de selección de óptimo contenido de asfalto para su estabilización está en función de:

- Requisitos de resistencia requeridos por el diseño estructural del pavimento.
- Requisitos de durabilidad.
- Flexibilidad de la estructura.

Como primer paso para la obtención del porcentaje de asfalto se debe de estimar una pre dosificación.

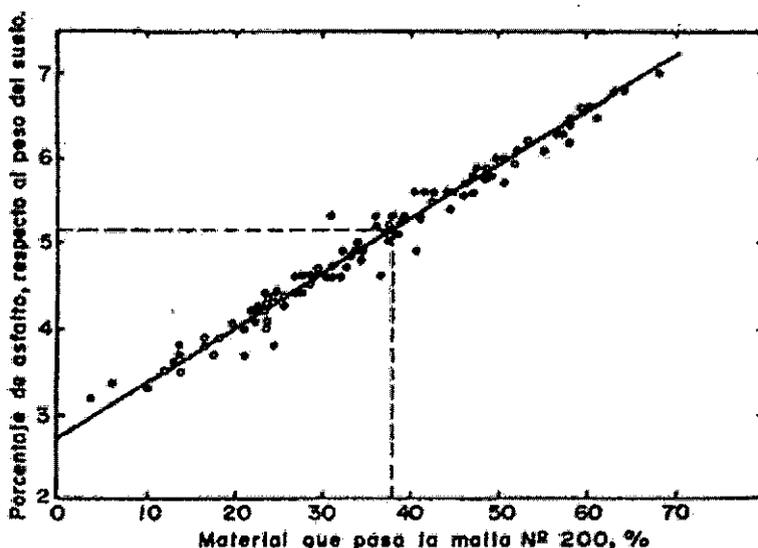


Figura 11: Abaco para establecer el porcentaje de asfalto en problemas prácticos²⁷.

Además se debe tener especial cuidado con el porcentaje del disolvente a usar pues esto afecta de manera trascendente a la resistencia, como referencia se usa el Abaco siguiente.

²⁷ (Rico & Del Castillo, 2008)

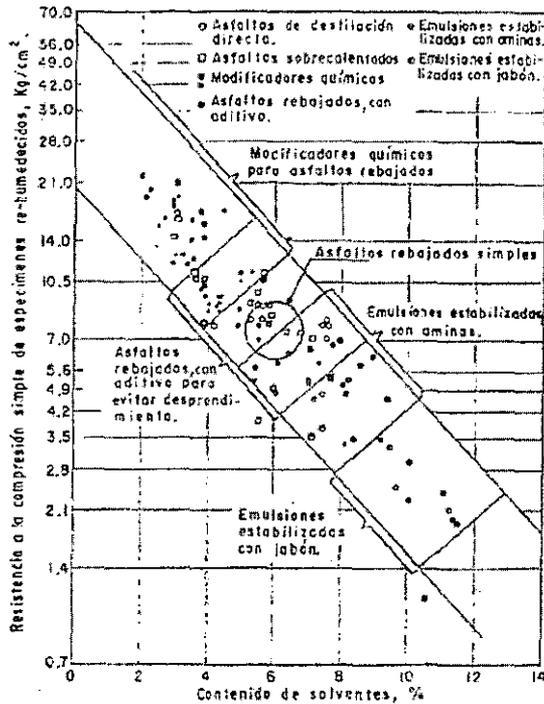


Figura 12: Abaco para establecer el porcentaje de asfalto en problemas prácticos²⁸.

Con estos valores se procede a la elaboración de ensayos de laboratorio como granulometría, Limite líquido, Limite Plástico, clasificación, Proctor, CBR compresión simple, secado y humedecimiento.

Tabla 10: Ensayos para el diseño de mezcla.

| Estabilización Suelo Cemento | Norma |
|---|-------------------------|
| Granulometría | MTC E 107, ASTM D 422 |
| Limites de Líquido | MTC E 110, ASTM D 4318 |
| Limite Plástico e Índice de Plasticidad | MTC E 111, ASTM D 4318 |
| Proctor Modificado | ASTM E 115, ASTM D 1557 |
| CBR | MTC E 132, ASTM D 1883 |
| Compresión No Confinada | MTC E 121, ASTM D 2186 |

*Fuente elaboración propia.

Una vez obtenidos estos resultados se considera el óptimo contenido de Asfalto al porcentaje que satisfaga los requisitos de resistencia y durabilidad.

²⁸ (Rico & Del Castillo, 2008)

3.0 APLICACIÓN CARRETERA CONTAMANA – AGUAS CALIENTES.

3.1. UBICACIÓN Y ACCESOS.

La carretera “Contamana – Aguas Calientes” se encuentra ubicado en el Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Departamento de Loreto.

La provincia de Ucayali está ubicada al sur de la ciudad de Iquitos y está limitada:



Foto N° 9: Vista aérea de la ciudad de Contamana, Fuente Propia.

- Por el Este con el Departamento de San Martín.
- Por el Oeste con la Provincia de Requena.
- Por el Norte con la Provincia de Alto Amazonas.
- Y por el Sur con el Departamento de Ucayali.

Tiene una superficie de 30,248Km². Siendo por ello la provincia más pequeña del Departamento de Loreto, con una densidad poblacional de 1.55 hab. / Km².

Su capital es la ciudad de Contamana, la cual está ubicada geográficamente a 07°21'12" latitud sur y 75°00'54" longitud oeste. La ciudad tiene el puerto más importante de la vía de comunicación fluvial Pucallpa - Iquitos.

Aguas Calientes por sus propiedades medicinales es un lugar turístico. En el lugar confluyen fuentes de aguas sulfurosas y ferrosas cuyas temperaturas varían entre 40°C y 90°C.

El itinerario de viaje para llegar a Contamana desde la ciudad de Lima es el que se muestra en la tabla²⁹.

²⁹ (Gutierrez, 2009)

Tabla 11: Itinerario de viaje a Contamana.

| Origen | Destino | Transporte | Tiempo |
|----------|-----------|------------|------------|
| Lima | Pucallpa | Aéreo | 1 hora |
| | | Terrestre | 14 horas |
| Pucallpa | Contamana | Aéreo | 45 minutos |
| | | Fluvial | 24 horas |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.2. GEOLOGÍA VIAL.

La geología del área donde se encuentra emplazada la carretera, esta sectorizada en tres partes, teniendo características geológicas y geomorfológicas definidas.

- Zona 1: Comprendida en los tramos: Puente Maquías (Km. 0+000) – Km. 1+500 y Km. 6+000 - 11+000. La vía se encuentra dentro de la formación Ipururo. Esta es una formación terciaria que corresponde a la parte superior de la sedimentación de la Formación Capas Rojas, extendida ampliamente en las regiones de la selva. Los afloramientos son areniscas de grano medio a fino, observándose en el tope limolitas y arcillitas. En el área el grosor de esta formación varía de un metro a decenas de metros, que afloran en cuerpos de arcillitas o limo arcillitas abigarradas de color pardo rojizas, en cuerpos masivos tabulares, presentando en algunos casos intercalaciones calcáreas limo arenosas.
- Zona 2: Comprendida en los tramos: Km. 1+500 – Km. 6+000 y Km. 11+000 – Km. 15+500. La vía se encuentra sobre la formación Chambira. Esta formación litológicamente está conformada por lodolitas y arcillitas compactas a friables, de tonalidad rojo a marrón rojizo. Intercalados con limolita y areniscas rosadas con estratificación sesgada.
- Zona 3: Comprendida en el tramo: Km. 15+500 – Km. 18+200, La vía se encuentra sobre la formación Yahuarango. Esta formación litológicamente está conformado por arcillitas, lutitas y limolitas rojas, intercaladas con areniscas marrones. Su distribución se manifiesta en toda la Cordillera Subandina, principalmente en la Cordillera Azul.

Riesgos Naturales (Geodinámica Externa)

Los principales procesos de geodinámica externa o riesgos naturales, se manifiestan de forma muy localizada y condicionada principalmente por factores: climatológicos, litológicos y morfológicos. Siendo los más resaltantes para el proyecto el deslizamiento, asentamiento e inundación.

- **Deslizamientos y Asentamientos:** Se encuentra presente en el tramo comprendido entre las progresivas: Km. 7+800 – Km. 8+500. Esto debido a la presencia de material friccionante (suelo areno limoso), con baja capacidad portante, el cual disminuye en temporada de lluvias por encontrarse saturada. Además este tipo de suelos es susceptible a presentar asentamientos inmediatos.
- **Inundaciones:** Se desarrolla a lo largo de la vía, especialmente desde el Km. 16+000. Debido a que el nivel de la rasante se encuentra por debajo del nivel de las áreas inundadas y al no tener un adecuado drenaje de aguas superficiales, origina la inundación de la plataforma.

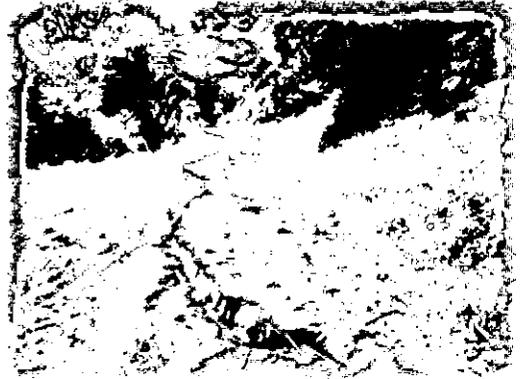


Foto N° 10: Asentamiento Km 8+100, Fuente Propia



Foto N° 11: Inundaciones en la vía, Fuente Propia

3.3. CLIMA.

El Clima es un conjunto de factores meteorológicos, tales como: precipitaciones, temperatura, movimientos de aire, etc. que condicionan la distribución, composición y densidad de diversos elementos ambientales,

siendo uno de los más influenciados la vegetación que para este caso es muy importante por pertenecer el área de estudio a la región amazónica.

El Clima de la región amazónica, está influenciado por factores físicos, tales como: la energía solar sobre la zona que es causante de la evapotranspiración, factor influyente en el comportamiento de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones en la zona.

Un estudio realizado por la Universidad Nacional de la Amazonía define el clima como: Predominantemente de bosque húmedo tropical, con ligeras variaciones que conforman las épocas de grandes avenidas y sequía.

El promedio de las precipitaciones varía de 1,500mm. - 2,000mm. / año con una evaporación anual promedio de 500mm. La humedad relativa promedio es de 83%, disminuyendo ligeramente en los meses de julio a octubre, que es la época de menor precipitación pluvial.

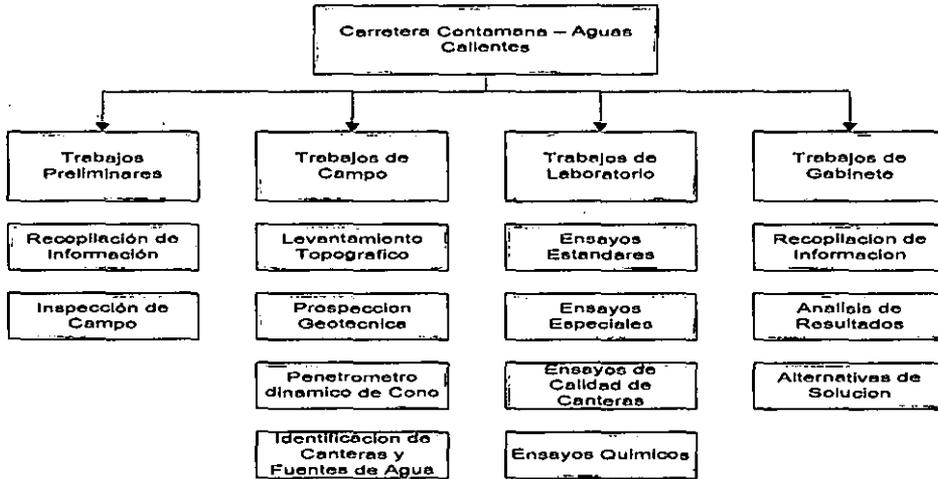
Las estaciones se pueden agrupar en cuatro: Lluviosa (febrero - mayo) donde los ríos aumentan su caudal y el nivel del agua varía de 8m. a 11m. de profundidad. Seca (junio- agosto), semi seca (septiembre - noviembre) y semi lluviosa (diciembre - enero).

La temperatura promedio anual es de 22.8°C, la media mensual de 27.0°C, con intervalos de 20.1°C a 35.0°C.

3.4. PROGRAMA DE TRABAJO.

La metodología empleada para el desarrollo del presente estudio se muestra en la siguiente figura.

Figura 13: Diagrama de Flujo del Programa de Trabajo seguido.



*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.5. TOPOGRAFÍA.

El tramo se inicia al final del Puente sobre el río Maquía, al lado derecho se ubican casas construidas a base de madera. En la progresiva 0+040, lado izquierdo existe un camino carrozable o desvío hacia el cementerio público de Contamana.

En la estaca 0+024, al lado derecho se inicia la Laguna Maquía, la que es utilizada como piscigranja, por la Gerencia Regional de Loreto. La carretera discurre sobre topografía del tipo plana – ondulada, en la estaca 0+076 lado izquierdo ubicamos deslizamiento del talud superior hacia la carretera, interrumpiendo el 80% de la plataforma, con una longitud de 30m. lineales. Continuando, en la progresiva 1+060 en corte cerrado (cuello) encontramos deslizamiento de talud superior de ambos lados, estrechando la plataforma en una longitud de 30m. Podemos mencionar que encontramos un tramo de zona crítica entre la progresiva 3+110 hasta el 3+185, y entre el 3+420 hasta el 3+440. Nuevamente encontramos similares condiciones desde el Km. 4+000 al Km. 4+205. En la progresiva Km. 4+120, lado derecho se ingresa a la trocha carrozable que va a la quebrada Pucacuro; en esta zona la plataforma de rodadura está compuesta de material arcilloso, lo mismo sucede del Km. 4+780 hasta Km. 4+920. La persistente lluvia de la segunda semana de mayo dejó un embalse de agua de 40m. lineales en el tramo comprendido del Km. 6+600 al Km. 6+640.

La carretera en el tramo comprendido del Km. 7+980 al Km. 8+360 se desarrolla sobre zona con taludes inestables y deslizamientos por lo que presenta desplazamiento de la plataforma de rodadura. Este tramo de 380m.

En la progresiva Km. 10+000 se inicia el caserío de San Miguel, cuya población aproximadamente es de 250 personas, la misma que cuenta con un Centro Educativo CEPM N° 61202 del Nivel Primario e Infraestructura Educativa de Instituto Superior la misma que ahora se encuentra abandonada por no tener acceso normal de la carretera que viene de Contamana por donde transitarían los estudiantes y maestros.

En la progresiva Km. 15+030 ubicamos la quebrada el Limón en la cual existe la más representativa obra de arte del tramo Contamana – Aguas Calientes, una alcantarilla de TMC de 2 ojos, de 60 pulgadas de diámetros y 12 m. de longitud en buenas condiciones. En la progresiva Km. 16+320 se inicia la zona de emposamiento de agua en la plataforma de la carretera con 30cm. de profundidad la misma que se observa hasta el Km. 16+420; sigue la progresiva Km. 16+560 hasta el Km. 16+580; de Km. 16+700 hasta el Km. 16+750; del Km. 16+900 hasta el Km. 16+940; Km. 17+200 hasta el Km. 17+220; del Km. 17+520 hasta el Km. 17+540; del Km. 17+620 al Km. 17+640; en adelante la carretera discurre por una plataforma plana hasta el final del trayecto en el Km. 18+290.

Aquí encontramos las instalaciones de los Guarda parques, quienes están encargados de resguardar el Complejo Ecoturístico, ubicado en la quebrada Aguas Calientes, cuya belleza del paisaje es muy apreciable porque en su entorno se observa una diversidad de animales de monte e inmensa variedad de mariposas de colores. Aproximadamente a 3Km. del ingreso al parque, encontramos la montaña azul en cuya cresta se encuentra dos volcanes en calma actividad, de la cual provienen las aguas calientes (70 a 80 grados de temperatura) con un contenido alto de sulfuro. Luego a 3.5km. del ingreso al parque, se encuentra la Collpa de los Guacamayos, la misma que atrae a turistas de diferentes países del orbe, quienes vienen especialmente a investigar y a estudiar el comportamiento de esas aves³⁰.

³⁰ (Gutierrez, 2009)

La geometría del diseño geométrico de la vía se expresa en la siguiente tabla.

Tabla 12: Características del Diseño geométrico.

| Característica | Dimensión |
|---------------------------------------|---|
| Ancho de calzada | 4.00 m. (superficie de rodadura) |
| Ancho en subrasante | 5.20 m. |
| Radio mínimo | 25.00 m. |
| Peralte máximo | 6% |
| Pendiente máxima | 8.5% |
| Pendiente máxima excepcional | 10.7% |
| Bombeo plataforma ambos lados del eje | 3% |
| Talud de relleno | 1.5 H:1 V |
| Talud de corte | Según el material Predominante |
| Cunetas | 1.00 x 0.50 m. |
| Plazoletas de cruce | En espacios disponibles de long. 10 m. x ancho de 2.50 m. |

Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.6. ESTUDIO DE SUELOS.

3.6.1. TRABAJO DE CAMPO.

Se ejecutaron prospecciones o calicatas, se extrajeron también muestras inalteradas a diferentes profundidades. Además se realizaron ensayos in situ de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) para conocer la capacidad de soporte del suelo existente, realizándolos cada 100m. en toda la longitud de la vía.

Tabla 13: Resumen de trabajos de campo.

| Detalle | Cantidad | Profundidad (m.) |
|------------------------------------|----------|------------------|
| Calicata en eje de carretera | 19 | 1.50 |
| Extracción de muestras inalteradas | 05 | 0.00 – 1.50 |
| Ensayos de PDC cada 100 metros | 183 | 1.20 |

Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

De forma paralela se realizó una inspección visual de toda la carretera para identificar las propiedades principales y características de cada tramo.

Tabla 14: Propiedades del suelo rasante para cada tramo.

| Progresiva (Km.) | | Tipo de Suelo Rasante | Plasticidad | Humedad | Coloración | Descripción |
|------------------|--------|-----------------------|-------------|---------|------------------|---|
| Inicio | Fin | | | | | |
| 00+000 | 01+000 | SM | Media | Alta | Marrón | Zona urbana, cercana al puente Maquílas. |
| 01+000 | 02+000 | SM - CH | Alta | Media | Marrón | Pendientes medias, sin cunetas. |
| 02+000 | 03+000 | CH | Alta | Alta | Rojo | Pendientes medias, sin cunetas. |
| 03+000 | 04+000 | CH | Alta | Alta | Rojo | Pendientes elevadas, sin cunetas y zona de derrumbes. |
| 04+000 | 05+000 | CH | Alta | Alta | Amarillo | Pendientes elevadas, sin cunetas y presenta hundimientos de gran magnitud. |
| 05+000 | 06+000 | CH - SM | Media | Alta | Marrón | Pendientes elevadas, sin cunetas y presenta hundimientos de gran magnitud. |
| 06+000 | 07+000 | SM | Media | Alta | Marrón | Pendientes bajas, sin cunetas y en algunas partes la altura de la rasante es baja. |
| 07+000 | 08+000 | SM - SC | Media | Alta | Marrón | Pendientes medias, presencia de agrietamientos y hundimientos de la plataforma. |
| 08+000 | 09+000 | SM - SC | Alta | Alta | Marrón | Pendientes medias, presencia de agrietamientos y hundimientos de la plataforma, y deslizamiento de talud. |
| 09+000 | 10+000 | SM | Media | Alta | Marrón | Pendientes bajas, presencia de agrietamientos y hundimientos de la plataforma, y deslizamiento de talud. |
| 10+000 | 11+000 | SM | Media | Alta | Marrón | Pendientes bajas, presencia de agrietamientos y hundimientos de la plataforma, y deslizamiento de talud. |
| 11+000 | 12+000 | SC | Alta | Alta | Marrón | Pendientes elevadas, sin cunetas. |
| 12+000 | 13+000 | SC | Alta | Alta | Marrón | Pendientes elevadas, sin cunetas. |
| 13+000 | 14+000 | SC | Media | Alta | Rojo | Pendientes elevadas, sin cunetas. |
| 14+000 | 15+000 | CH | Alta | Alta | Rojo | Pendientes bajas, sin cunetas, desaparición del trazo de la carretera. |
| 15+000 | 16+000 | SW / CH | Alta | Alta | Gris / Rojo | Pendientes bajas, desaparición del trazo y presencia de bofedales. |
| 16+000 | 17+000 | SW / SP | Baja | Alta | Negro / Amarillo | Pendientes bajas, desaparición del trazo y presencia de bofedales. |
| 17+000 | 18+200 | SC - CH | Alta | Alta | Rojo / Gris | Pendientes bajas, desaparición del trazo y presencia de bofedales. |

Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Además se identificaron los tramos críticos existentes en la carretera.

Tabla 15: Tramos críticos.

| Progresiva (Km.) | | Descripción |
|------------------|--------|---|
| Inicio | Fin | |
| 03+000 | 03+100 | Zona de corte con probables deslizamiento debido a la pendiente de sus taludes. |
| 05+400 | 05+500 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 06+400 | 06+900 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 07+800 | 08+500 | Zona de hundimiento de plataforma y deslizamiento de talud inferior. |
| 08+900 | 09+050 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 10+200 | 10+500 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 10+700 | 10+900 | Zona de corte con probables deslizamiento debido a la pendiente de sus taludes. |
| 11+500 | 12+600 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 12+900 | 13+100 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 13+100 | 13+200 | Falta de mantenimiento en cunetas y proyectar alcantarilla por existir curso de agua. |
| 13+100 | 13+200 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 13+300 | 13+500 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 13+700 | 15+200 | Tramo con presencia de suelo arcilloso en estado de fluencia. |
| 15+200 | 17+600 | Zona de agujales. |

Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Calicatas

Se realizaron calicatas, espaciadas cada kilómetro y coincidentes con la progresiva de la carretera. Sus profundidades fueron de 1.50 metros, observándose materiales distintos para cada profundidad, se extrajeron muestras para ensayos físicos y mecánicos en laboratorio.

Las herramientas empleadas para los trabajos de exploración fueron: barrenadora manual y lampa, lográndose alcanzar profundidades de 1.50m. La ubicación de las respectivas calicatas se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 16: Ubicación e identificación de calicatas.

| Calicata | Progresiva (km.) | COORDENADAS | | | |
|----------|------------------|-------------|-----------|-------------------|------|
| | | Norte (m.) | Este (m.) | Altitud (m.s.n.m) | Zona |
| C - 00 | 00 + 000 | 9189278 | 499279 | 147.00 | 18M |
| C - 01 | 01 + 000 | 9190016 | 499224 | 177.00 | |

| Calicata | Progresiva (km.) | COORDENADAS | | | |
|----------|---------------------|---------------|--------------|----------------------|------|
| | | Norte (m.) | Este (m.) | Altitud (m.s.n.m) | Zona |
| C - 02 | 02 + 000 | 9190910 | 499315 | 176.00 | |
| C - 03 | 03 + 000 | 9191677 | 499751 | 170.00 | |
| C - 04 | 04 + 000 | 9192553 | 499935 | 157.00 | |
| C - 05 | 05 + 000 | 9193393 | 499644 | 160.00 | |
| C - 06 | 06 + 000 | 9194185 | 499068 | 181.00 | |
| C - 07 | 07 + 000 | 9195114 | 499224 | 181.00 | |
| C - 08 | 08 + 000 | 9195790 | 499860 | 190.00 | |
| C - 09 | 09 + 000 | 9196575 | 500307 | 185.00 | |
| C - 10 | 10 + 000 | 9197089 | 500958 | 183.00 | |
| C - 11 | 11 + 000 | 9197510 | 501602 | 201.00 | |
| C - 12 | 12 + 000 | 9198187 | 502272 | 183.00 | |
| C - 13 | 13 + 000 | 9198512 | 503097 | 188.00 | |
| C - 14 | 14 + 000 | 9199424 | 503366 | 185.00 | |
| C - 15 | 15 + 000 | 9200113 | 503522 | 175.00 | |
| C - 16 | 16 + 000 | 9200886 | 504166 | 182.00 | |
| C - 17 | 17 + 000 | 9201531 | 504668 | 187.00 | |
| C - 18 | 18 + 200 | 9202365 | 505627 | 187.00 | |

Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Durante la ejecución de la calicata se realizó la descripción de los suelos encontrados según la profundidad del estrato, completándose la información al adicionarse la clasificación SUCS obtenida en laboratorio, obteniendo como resultado la siguiente información.

Tabla 17: Resultados de prospecciones geotécnicas.

| Calicata | Estrato (m) | Descripción | Clasificación SUCS |
|----------|----------------|---|-----------------------|
| C - 00 | 0.00 - 0.40 | Suelo arcilloso, color marrón, plasticidad y consistencia baja, y 15% de humedad natural. | CL |
| | 0.40 - 0.90 | Suelo arcilloso color amarillo y marrón, plástico, compacto y 16% de humedad natural. | CL |
| | 0.90 - 1.50 | Suelo areno limoso, color gris, medianamente plástico, compacto y 16% de humedad natural. | SM |
| C - 01 | 0.00 - 0.60 | Suelo arcilloso color rojo, muy plástico y compacto, y 23% de humedad natural. | CH |
| | 0.60 - 1.50 | Suelo arcilloso color gris verdoso, muy plástico y compacto, y 28% de humedad natural. | CH |

| Calicata | Estrato (m) | Descripción | Clasificación SUCS |
|----------|-------------|--|--------------------|
| C - 02 | 0.00 - 1.50 | Suelo arcilloso color rojo, plástico y compacto, y 23% de humedad natural. | CL |
| C - 03 | 0.00 - 1.50 | Suelo arcilloso color rojo y gris, muy plástico y compacto, y 23% de humedad natural. | CH |
| C - 04 | 0.00 - 0.40 | Suelo arcilloso, color marrón, plástico y compacto, y 25% de humedad natural. | CL |
| | 0.40 - 1.50 | Suelo arcilloso color rojo y gris, muy plástico y compacto, y 25% de humedad natural. | CH |
| C - 05 | 0.00 - 1.50 | Suelo arcilloso, color gris verdoso, medianamente plástico y compacto, y 28% de humedad natural. | CL |
| C - 06 | 0.00 - 0.80 | Suelo areno limoso, color marrón, no plástico, de baja compacidad y 28% de humedad natural. | SM |
| | 0.80 - 1.50 | Suelo limoso, color amarillo, muy plástico, compacto y 25% de humedad natural. | MH |
| C - 07 | 0.00 - 0.60 | Suelo limoso color marrón, no plástico, de compacidad media y 23% de humedad natural. | ML |
| | 0.60 - 1.50 | Suelo arcilloso color gris verdoso, plástico, de baja compacidad y 28% de humedad natural. | CL |
| C - 08 | 0.00 - 1.10 | Suelo areno limoso, color marrón, medianamente plástico, de compacidad media y 19% de humedad natural. | SM |
| | 1.10 - 1.50 | Suelo arcilloso color rojo, plástico y compacto y 21% de humedad natural. | CL |
| C - 09 | 0.00 - 0.40 | Suelo arcilloso, color marrón, plástico, de compacidad media y 19% de humedad natural. | CL |
| | 0.40 - 1.50 | Suelo arcilloso color verde gris, plástico y compacto y 20% de humedad natural. | CL |
| C - 10 | 0.00 - 0.30 | Suelo areno limoso, color marrón, no plástico, de compacidad baja y 21% de humedad natural. | SM |
| | 0.30 - 1.50 | Suelo arcilloso color verde, muy plástico y compacto, y 31% de humedad natural. | CH |
| C - 11 | 0.00 - 1.50 | Suelo limoso, color marrón, muy plástico, de compacidad baja y 22% de humedad natural. | MH |
| C - 12 | 0.00 - 0.40 | Suelo arcilloso, color rojo, plástico y compacto, y 27% de humedad natural. | CL |
| | 0.40 - 1.50 | Suelo arcilloso, color verde, muy plástico y compacto, y 25% de humedad natural. | CH |
| C - 13 | 0.00 - 0.30 | Suelo arcilloso, color rojo, muy plástico y compacto, y 23% de humedad natural. | CH |
| | 0.30 - 1.50 | Suelo limoso, color gris, muy plástico y compacto, y 38% de humedad natural. | MH |
| C - 14 | 0.00 - 0.70 | Suelo arcilloso, color rojo, plástico y compacto, y 23% de humedad natural. | CL |
| | 0.70 - 1.50 | Suelo arcilloso, color verde, muy plástico y compacto, y 21% de humedad natural. | CL |
| C - 15 | 0.00 - 0.20 | Suelo arcilloso, color rojo, plástico y compacto, y 25% de humedad. | CL |
| | 0.20 - 0.70 | Suelo areno arcilloso, color amarillo, medianamente plástico y compacidad media y 23% de humedad natural. | SC |
| | 0.70 - 1.50 | Suelo areno limoso y bien gradado, plástico, y compacidad muy baja, y 28% de humedad natural. | SM |
| C - 16 | 0.00 - 0.50 | Suelo areno limoso, fino, bien gradado, color negro, no plástico, con presencia de raíces, compacidad muy baja y 23% de humedad natural. | SM |
| | 0.50 - 1.50 | Suelo arenoso, fino pobremente gradado, color amarillo, no plástico, compacidad muy baja y 28% de humedad natural. | SP |
| C - 17 | 0.00 - 0.40 | Suelo arcilloso, color verde gris, medianamente plástico y compacto, y 23% de humedad natural. | CL |
| | 0.40 - 1.20 | Suelo arcilloso color rojo, plástico y compacto y 21% de humedad natural. | CL |
| | 1.20 - 1.50 | Suelo arcilloso color gris y rojo, plástico y compacto, y 25% de humedad natural. | CL |
| C - 18 | 0.00 - 0.30 | Suelo limoso, color negro, de plasticidad y compacidad media, y 16% de humedad natural. | ML |
| | 0.30 - 0.90 | Suelo arcilloso color gris y marrón, medianamente plástico y compacto, y 18% de humedad natural. | CL |
| | 0.90 - 1.50 | Suelo areno limoso, color gris, no plástico y compacidad baja, y 28% de humedad natural. | SM |

Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Penetrómetro Dinámico de Cono

El ensayo de penetración dinámica de cono (PDC) permite determinar la capacidad de soporte del suelo subrasante. Para ello se emplea un equipo portátil de fácil manejo que permite estimar de manera indirecta el valor de CBR.



Foto N° 12: Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC). Fuente Propia.

El PDC reproduce una respuesta satisfactoria de resistencia, refrendada en investigaciones a nivel nacional e internacional. Su

uso ha sido adecuado para la evaluación de suelos limosos y finos o capas debidamente cementadas.

El equipo corresponde al modelo sudafricano, el cual consta de una varilla de acero de 15mm. de diámetro y 100cm. de longitud, provista de una punta cónica de 60°; esta última con 20mm. de diámetro y 113mm. de altura. La punta unida a la varilla, se hinca dentro del suelo por acción e impacto de una masa de 8kg. que cae desde una altura igual a 57.5cm., sobre un cabezal que transmite la energía a la varilla.

Para este tipo de ensayos se emplea dos personas, que después de realizar un determinado número de golpes con la masa registran la profundidad en milímetros que penetra la varilla de acero en el suelo.

Las experiencias indican que las lecturas son de utilidad hasta una profundidad de 80cm., luego de la cual el efecto de carga decrece por atenuación propia de las capas suprayacentes. Siendo los valores de resistencia obtenidos los más representativos para el suelo subrasante.

Los ensayos se realizaron a lo largo de la carretera, espaciados entre ellos 100m., obteniendo una cantidad considerable de valores y aproximándose al

valor de CBR que ofrece la subrasante. Los datos obtenidos de los ensayos realizados se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 18: Ubicación y profundidad alcanzada en el ensayo PDC.

| Penetración Dinámica de Cono | Progresiva | Profundidad (m.) | Nivel Freático (m.) |
|------------------------------|------------|------------------|---------------------|
| PDC - 01 | 00 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 02 | 00 + 100 | 0.9 | N.P |
| PDC - 03 | 00 + 200 | 0.56 | N.P |
| PDC - 04 | 00 + 300 | 0.9 | N.P |
| PDC - 05 | 00 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 06 | 00 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 07 | 00 + 600 | 0.87 | N.P |
| PDC - 08 | 00 + 700 | 0.9 | N.P |
| PDC - 09 | 00 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 10 | 00 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 11 | 01 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 12 | 01 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 13 | 01 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 14 | 01 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 15 | 01 + 400 | 0.68 | N.P |
| PDC - 16 | 01 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 17 | 01 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 18 | 01 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 19 | 01 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 20 | 01 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 21 | 02 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 22 | 02 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 23 | 02 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 24 | 02 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 25 | 02 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 26 | 02 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 27 | 02 + 600 | 0.9 | N.P |
| PDC - 28 | 02 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 29 | 02 + 800 | 0.96 | N.P |
| PDC - 30 | 02 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 31 | 03 + 000 | 0.91 | N.P |

| Penetración Dinámica de Cono | Progresiva | Profundidad (m.) | Nivel Freático (m.) |
|------------------------------|------------|------------------|---------------------|
| PDC - 32 | 03 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 33 | 03 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 34 | 03 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 35 | 03 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 36 | 03 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 37 | 03 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 38 | 03 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 39 | 03 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 40 | 03 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 41 | 04 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 42 | 04 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 43 | 04 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 44 | 04 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 45 | 04 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 46 | 04 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 47 | 04 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 48 | 04 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 49 | 04 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 50 | 04 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 51 | 05 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 52 | 05 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 53 | 05 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 54 | 05 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 55 | 05 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 56 | 05 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 57 | 05 + 600 | 0.82 | N.P |
| PDC - 58 | 05 + 700 | 0.91 | 0.4 |
| PDC - 59 | 05 + 800 | 0.91 | 0.4 |
| PDC - 60 | 05 + 900 | 0.91 | 0.4 |
| PDC - 61 | 06 + 000 | 0.91 | 0.4 |
| PDC - 62 | 06 + 100 | 0.91 | 0.4 |
| PDC - 63 | 06 + 200 | 0.91 | 0.4 |
| PDC - 64 | 06 + 300 | 0.91 | 0.4 |
| PDC - 65 | 06 + 400 | 0.91 | 0.8 |
| PDC - 66 | 06 + 500 | 0.91 | 0.8 |

| Penetración Dinámica de Cono | Progresiva | Profundidad (m.) | Nivel Freático (m.) |
|------------------------------|------------|------------------|---------------------|
| PDC - 67 | 06 + 600 | 0.91 | 0.8 |
| PDC - 68 | 06 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 69 | 06 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 70 | 06 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 71 | 07 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 72 | 07 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 73 | 07 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 74 | 07 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 75 | 07 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 76 | 07 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 77 | 07 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 78 | 07 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 79 | 07 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 80 | 07 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 81 | 08 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 82 | 08 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 83 | 08 + 200 | 0.29 | N.P |
| PDC - 84 | 08 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 85 | 08 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 86 | 08 + 500 | 0.08 | N.P |
| PDC - 87 | 08 + 600 | 0.12 | N.P |
| PDC - 88 | 08 + 700 | 0.19 | N.P |
| PDC - 89 | 08 + 800 | 0.12 | N.P |
| PDC - 90 | 08 + 900 | 0.9 | N.P |
| PDC - 91 | 09 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 92 | 09 + 100 | 0.13 | N.P |
| PDC - 93 | 09 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 94 | 09 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 95 | 09 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 96 | 09 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 97 | 09 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 98 | 09 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 99 | 09 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 100 | 09 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 101 | 10 + 000 | 0.91 | N.P |

| Penetración Dinámica de Cono | Progresiva | Profundidad (m.) | Nivel Freático (m.) |
|------------------------------|------------|------------------|---------------------|
| PDC - 102 | 10 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 103 | 10 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 104 | 10 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 105 | 10 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 106 | 10 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 107 | 10 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 108 | 10 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 109 | 10 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 110 | 10 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 111 | 11 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 112 | 11 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 113 | 11 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 114 | 11 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 115 | 11 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 116 | 11 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 117 | 11 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 118 | 11 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 119 | 11 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 120 | 11 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 121 | 12 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 122 | 12 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 123 | 12 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 124 | 12 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 125 | 12 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 126 | 12 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 127 | 12 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 128 | 12 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 129 | 12 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 130 | 12 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 131 | 13 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 132 | 13 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 133 | 13 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 134 | 13 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 135 | 13 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 136 | 13 + 500 | 0.91 | N.P |

| Penetración Dinámica de Cono | Progresiva | Profundidad (m.) | Nivel Freático (m.) |
|------------------------------|------------|------------------|---------------------|
| PDC - 137 | 13 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 138 | 13 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 139 | 13 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 140 | 13 + 900 | 0.78 | N.P |
| PDC - 141 | 14 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 142 | 14 + 100 | 0.73 | N.P |
| PDC - 143 | 14 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 144 | 14 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 145 | 14 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 146 | 14 + 500 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 147 | 14 + 600 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 148 | 14 + 700 | 0.06 | 0.7 |
| PDC - 149 | 14 + 800 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 150 | 14 + 900 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 151 | 15 + 000 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 152 | 15 + 100 | 0.04 | 0.7 |
| PDC - 153 | 15 + 200 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 154 | 15 + 300 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 155 | 15 + 400 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 156 | 15 + 500 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 157 | 15 + 600 | 0.91 | 0.7 |
| PDC - 158 | 15 + 700 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 159 | 15 + 800 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 160 | 15 + 900 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 161 | 16 + 000 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 162 | 16 + 100 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 163 | 16 + 200 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 164 | 16 + 300 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 165 | 16 + 400 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 166 | 16 + 500 | 0.91 | 0.45 |
| PDC - 167 | 16 + 600 | 0.91 | N.P |
| PDC - 168 | 16 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 169 | 16 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 170 | 16 + 900 | 0 | N.P |
| PDC - 171 | 17 + 000 | 0.91 | N.P |

| Penetración Dinámica de Cono | Progresiva | Profundidad (m.) | Nivel Freático (m.) |
|------------------------------|------------|------------------|---------------------|
| PDC - 172 | 17 + 100 | 0 | N.P |
| PDC - 173 | 17 + 200 | 0.91 | N.P |
| PDC - 174 | 17 + 300 | 0.91 | N.P |
| PDC - 175 | 17 + 400 | 0.91 | N.P |
| PDC - 176 | 17 + 500 | 0.91 | N.P |
| PDC - 177 | 17 + 600 | 0 | N.P |
| PDC - 178 | 17 + 700 | 0.91 | N.P |
| PDC - 179 | 17 + 800 | 0.91 | N.P |
| PDC - 180 | 17 + 900 | 0.91 | N.P |
| PDC - 181 | 18 + 000 | 0.91 | N.P |
| PDC - 182 | 18 + 100 | 0.91 | N.P |
| PDC - 183 | 18 + 200 | 0.91 | 0.9 |

Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.6.2. TRABAJO DE LABORATORIO.

Las muestras extraídas de las calicatas, fueron llevadas a laboratorio para analizar sus propiedades físicas. Así mismo también se extrajeron a diferentes profundidades muestras inalteradas de los tramos críticos de la carretera existente para conocer su capacidad de soporte en su estado natural. Además fue sectorizada la carretera en función a su clasificación SUCS, obteniéndose dos sectores y mezclándose homogéneamente las muestras que se encuentran a una profundidad mayor a 70 centímetros de la subrasante.

Los ensayos realizados a las muestras se clasifican en dos: físicos y mecánicos siendo la cantidad de ensayos igual a la que se muestra en el cuadro.

Tabla 19: Resumen de trabajos de laboratorio.

| Muestra | | Ensayos | | |
|------------------------------|------------|----------|---------|-----------|
| Origen | Tipo | Cantidad | Físicos | Mecánicos |
| Calicata en eje de carretera | Disturbada | 38 | 05 | --- |
| Subrasante de la carretera | Inalterada | 06 | --- | 03 |
| Sectorizado | Disturbada | 02 | 01 | 02 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Ensayos Físicos

Los ensayos ayudan a conocer las propiedades físicas del material en estudio y conjuntamente poder verificar si cumplen con las especificaciones establecidas en la norma para ser utilizadas en obra.

Se realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 20: Ensayos estándares de suelo.

| Norma ASTM | Ensayo Físico |
|------------|---------------------------------------|
| D – 2216 | Contenido de humedad. |
| D – 422 | Análisis granulométrico por tamizado. |
| D – 4318 | Límite líquido. |
| D – 4318 | Límite plástico. |
| D – 4318 | Índice plástico. |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

En base a los resultados obtenidos de los ensayos se pudieron clasificar las muestras mediante el Sistema Unificado (SUCS) y también la clasificación AASHTO, obteniendo el siguiente cuadro de resultados.

Tabla 21: Resumen de resultados de laboratorio – suelos.

| Calicata | Muestra | Prof. (m) | Análisis Físico | | | | | | Clasificación | |
|----------|---------|-------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|---------------------|---------------|-----------|
| | | | Pasa No 04 | Pasa No 200 | LL (%) | LP (%) | IP (%) | Humedad Natural (%) | SUCS | AASHTO |
| 0 | M – 01 | 0.00 – 0.40 | 100 | 65 | 26 | 8 | 18 | 15 | CL | A-6(8) |
| | M – 02 | 0.40 – 0.90 | 99 | 82 | 33 | 18 | 15 | 16 | CL | A-6(11) |
| | M – 03 | 0.90 – 1.50 | 98 | 37 | — | NP | NP | 16 | SM | A-4(0) |
| 1 | M – 01 | 0.00 – 0.60 | 99 | 96 | 55 | 15 | 40 | 23 | CH | A-7-6(20) |
| | M – 02 | 0.60 – 1.50 | 100 | 97 | 58 | 20 | 38 | 28 | CH | A-7-6(20) |
| 2 | M – 01 | 0.00 – 1.50 | 99 | 80 | 38 | 21 | 18 | 23 | CL | A-6(15) |
| 3 | M – 01 | 0.00 – 1.50 | 100 | 99 | 54 | 27 | 27 | 23 | CH | A-7-6(15) |
| 4 | M – 01 | 0.00 – 0.40 | 94 | 76 | 28 | 15 | 13 | 25 | CL | A-6(8) |
| | M – 02 | 0.40 – 1.50 | 99 | 94 | 52 | 23 | 29 | 25 | CH | A-7-6(15) |
| 5 | M – 01 | 0.00 – 1.50 | 100 | 65 | 35 | 22 | 14 | 28 | CL | A-6(7) |
| 6 | M – 01 | 0.00 – 0.80 | 100 | 46 | 23 | NP | NP | 28 | SM | A-4(0) |
| | M – 02 | 0.80 – 1.50 | 100 | 90 | 64 | 33 | 31 | 25 | MH | A-7-5(16) |
| 7 | M – 01 | 0.00 – 0.60 | 100 | 58 | 24 | NP | NP | 23 | ML | A-4(0) |
| | M – 02 | 0.60 – 1.50 | 98 | 67 | 25 | 14 | 11 | 28 | CL | A-6(4) |
| 8 | M – 01 | 0.00 – 1.10 | 100 | 35 | 22 | NP | NP | 19 | SM | A-4(0) |

| Calicata | Muestra | Prof. (m) | Análisis Físico | | | | | | Clasificación | |
|----------|---------|-------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|---------------------|---------------|-----------|
| | | | Pasa No 04 | Pasa No 200 | LL (%) | LP (%) | IP (%) | Humedad Natural (%) | SUCS | AASHTO |
| | M-02 | 1.10 - 1.50 | 100 | 67 | 29 | 15 | 14 | 21 | CL | A-6(7) |
| 9 | M-01 | 0.00 - 0.40 | 99 | 75 | 32 | 16 | 16 | 19 | CL | A-6(10) |
| | M-02 | 0.40 - 1.50 | 98 | 82 | 34 | 16 | 18 | 20 | CL | A-6(13) |
| 10 | M-01 | 0.00 - 0.30 | 97 | 50 | 27 | NP | NP | 21 | SM | A-4(0) |
| | M-02 | 0.30 - 1.50 | 100 | 100 | 57 | 28 | 29 | 31 | CH | A-7-6(16) |
| 11 | M-01 | 0.00 - 1.50 | 100 | 78 | 89 | NP | NP | 22 | MH | A-5(12) |
| 12 | M-01 | 0.00 - 0.40 | 100 | 68 | 28 | 18 | 10 | 27 | CL | A-4(5) |
| | M-02 | 0.40 - 1.50 | 100 | 98 | 58 | 13 | 45 | 25 | CH | A-7-6(20) |
| 13 | M-01 | 0.00 - 0.30 | 100 | 98 | 60 | 17 | 32 | 23 | CH | A-7-6(20) |
| | M-02 | 0.30 - 1.50 | 100 | 99 | 67 | 39 | 28 | 38 | MH | A-7-5(15) |
| 14 | M-01 | 0.00 - 0.70 | 100 | 86 | 42 | 21 | 21 | 23 | CL | A-7-6(7) |
| | M-02 | 0.70 - 1.50 | 100 | 93 | 44 | 25 | 19 | 21 | CL | A-7-6(7) |
| 15 | M-01 | 0.00 - 0.20 | 100 | 79 | 42 | 22 | 20 | 25 | CL | A-7-6(7) |
| | M-02 | 0.20 - 0.70 | 100 | 29 | 18 | 16 | 3 | 23 | SC | A-2-4(0) |
| | M-03 | 0.70 - 1.50 | 100 | 39 | 17 | 16 | 1 | 28 | SM | A-4(0) |
| 16 | M-01 | 0.00 - 0.50 | 100 | 18 | --- | NP | NP | 23 | SM | A-2-4(0) |
| | M-02 | 0.50 - 1.50 | 99 | 2 | --- | NP | NP | 28 | SP | A-3(0) |
| 17 | M-01 | 0.00 - 0.40 | 100 | 59 | 26 | 15 | 11 | 23 | CL | A-6(4) |
| | M-02 | 0.40 - 1.20 | 100 | 90 | 37 | 17 | 21 | 21 | CL | A-6(12) |
| | M-03 | 1.20 - 1.50 | 100 | 96 | 43 | 22 | 21 | 25 | CL | A-7-6(9) |
| 18 | M-01 | 0.00 - 0.30 | 100 | 57 | 17 | NP | NP | 16 | ML | A-4(0) |
| | M-02 | 0.30 - 0.90 | 100 | 69 | 27 | 14 | 18 | 18 | CL | A-6(6) |
| | M-03 | 0.90 - 1.50 | 100 | 27 | 17 | NP | NP | 28 | SM | A-2-4(0) |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Ensayos Mecánicos

Permiten conocer el comportamiento del suelo cuando es sometido a esfuerzos. Para ello se obtiene como resultados el Óptimo contenido de humedad (OCH), Máxima densidad Seca (MDS) y luego obtener la capacidad de soporte del material (CBR), en el caso de las muestras inalteradas se obtuvo el valor de la humedad natural así como de la densidad natural y el capacidad de soporte (CBR).

Se realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 22: Ensayos mecánicos de suelo.

| Norma ASTM | Ensayo Mecánico |
|------------|---------------------|
| D – 1557 | Proctor Modificado. |
| D – 1883 | CBR. |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Obteniendo el siguiente cuadro de resultados:

Tabla 23: Resumen de resultados para muestras inalteradas.

| Tipo de Muestra | Ubicación | | Humedad | Densidad | CBR (%) |
|-----------------|------------------|-------------|-------------|--------------------------------|---------|
| | Progresiva (Km.) | Prof. (m.) | Natural (%) | Natural (gr./cm ³) | |
| Inalterada | 05 + 000 | 0.00 – 1.20 | 25.0 | 1.43 | 0.4 |
| Inalterada | 08 + 200 | 0.00 – 0.50 | 16.0 | 1.44 | 0.5 |
| Inalterada | 14 + 000 | 0.00 – 0.50 | 28.0 | 1.40 | 0.8 |
| Inalterada | 16 + 000 | 0.00 – 0.50 | 21.0 | 1.37 | 0.4 |
| Inalterada | 16 + 0.00 | 0.50 – 1.50 | 16.0 | 1.57 | 1.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 24: Resumen de resultados para sectores.

| Sector | Tipo | Progresiva (Km.) | Proctor Modificado | | CBR (%) | |
|--------|------|---------------------|--------------------|-------|---------|----------|
| | | | OCH | MDS | 95%*MDS | 100%*MDS |
| 01 | CH | 0 + 000 – 14 + 400 | 14.4 | 1.790 | 1.6 | 2.5 |
| 02 | SM | 14 + 400 – 18 + 200 | 9.3 | 2.011 | -- | 23.1 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.7. CANTERAS Y FUENTES DE AGUA.

3.7.1. TRABAJO DE CAMPO.

Se realizaron la identificación, ubicación, medición y extracción de muestras representativas de las canteras y fuentes de agua, que servirán como material de préstamo en la etapa de mejoramiento de la carretera.

Canteras

Durante la inspección de campo se identificaron 05 áreas posibles de material de cantera, cuyas características se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 25: Canteras existentes en la carretera.

| Área | Ubicación | | Dimensiones | | | Volumen Bruto Estimado (m ³) | Descripción |
|------|---------------------|-----------|---------------|---------------|-------------------|---|------------------------|
| | Progresiva (Km.) | Lado | Long. (m.) | Ancho (m.) | Alt. / Prof. (m.) | | |
| 01 | 03 + 000 | Derecho | 100.00 | 500.00 | 4.00 | 200 000 | Suelo arcilloso. |
| 02 | 04 + 600 | Izquierdo | 100.00 | 300.00 | 5.00 | 150 000 | Suelo areno limoso. |
| 03 | 08 + 900 | Derecho | 200.00 | 500.00 | 5.00 | 500 000 | Suelo arcilloso. |
| 04 | 11 + 200 | Izquierdo | 150.00 | 100.00 | 9.00 | 135 000 | Suelo areno limoso. |
| 05 | 11 + 250 | Izquierdo | 150.00 | 100.00 | 9.00 | 135 000 | Suelo areno limoso. |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Siendo las dos últimas cercanas y del mismo material por lo se juntarán convirtiéndose en una sola cantera.

En la ciudad de Contamana también se encontraron canteras, que son empleadas como material de préstamo para mortero hidráulico y con características que se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 26: Canteras de agregado fino – Contamana.

| Cantera | Coordenadas | | | Clasificación | | Rendimiento (%) |
|--------------|---------------|--------------|----------------------|---------------|---------|--------------------|
| | Norte (m.) | Este (m.) | Altitud (m.s.n.m) | SUCS | AASHTO | |
| Maquía | 9189308 | 500805 | 140.00 | A - 3 | SP - SM | 92.00 |
| Zanja Seca | 9188008 | 500284 | 166.00 | A - 3 | SP - SM | 95.00 |
| 28 de Julio | 9187032 | 499559 | 137.00 | A - 3 | SP | 78.00 |
| Caño de Seúl | 9187560 | 499018 | 142.00 | A - 3 | SP | 90.00 |

Fuente: Tesis de Investigación – Javier Marín Ríos

Los criterios utilizados para la clasificación e identificación de canteras fueron: acceso, ubicación, inspección visual de la calidad del material y el volumen disponible a explotar, quedando clasificadas dos.

Tabla 27: Identificación de canteras.

| Cantera | Ubicación | | Coordenadas UTM | | |
|---------|------------------|-----------|-----------------|--------------|----------------------|
| | Progresiva (Km.) | Lado | Norte (m.) | Este (m.) | Altitud (m.s.n.m) |
| Arcilla | 08 + 900 | Derecho | 9196510 | 500257 | 190.00 |
| Arena | 11 + 200 | Izquierdo | 9197692 | 501728 | 198.00 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Cantera de Arcilla: Está conformado por suelo arcilloso, color beige, de alta plasticidad, consistencia media y 24% de humedad natural. Las características principales de la cantera se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 28: Propiedades físicas de cantera de arcilla.

| Clasificación | | Potencia Bruta | Desbroce | Participación | Potencia Neta (m ³) | |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|--------------|
| SUCS | AASHTO | (m ³) | (m ³) | (%) | Banco | Aprovechable |
| CH | A-7-6(17) | 500000 | 20000 | 94.5 | 480000 | 453600 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Cantera de Arena: Está conformado por suelo areno limoso, color marrón, plástico, compacidad baja y 14% de humedad natural. Las características principales de la cantera se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 29: Propiedades físicas de cantera de arena.

| Clasificación | | Potencia Bruta | Desbroce | Participación | Potencia Neta (m ³) | |
|---------------|----------|-------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|--------------|
| SUCS | AASHTO | (m ³) | (m ³) | (%) | Banco | Aprovechable |
| SM | A-2-4(0) | 270000 | 4500 | 75.7 | 265500 | 200984 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Fuentes de Agua

Durante la inspección de campo se identificaron 06 posibles fuentes de agua y se muestran a continuación.

Tabla 30: Fuentes de agua existentes en la carretera.

| Fuente | Ubicación | | Dimensiones | | | Volumen Estimado (m ³) |
|--------|---------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|--|
| | Progresiva (Km.) | Lado | Long. (m.) | Ancho (m.) | Prof. (m.) | |
| 01 | 03 + 300 | Izquierdo | 600.00 | 50.00 | 3.00 | 90000 |

| Fuente | Ubicación | | Dimensiones | | | Volumen |
|--------|---------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| | Progresiva (Km.) | Lado | Long. (m.) | Ancho (m.) | Prof. (m.) | Estimado (m ³) |
| 02 | 05 + 300 | Izquierdo | 20.00 | 1.00 | 0.50 | 10 |
| 03 | 05 + 700 | Derecho | 50.00 | 2.00 | 1.00 | 100 |
| 04 | 06 + 900 | Izquierdo | 50.00 | 10.00 | 1.00 | 500 |
| 05 | 12 + 300 | Derecho | 50.00 | 5.00 | 1.00 | 250 |
| 06 | 15 + 000 | Izquierdo | 30.00 | 20.00 | 1.50 | 900 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Los criterios utilizados para la clasificación e identificación de fuentes de agua fueron: acceso, ubicación, inspección visual de la calidad del agua y el volumen, quedando clasificadas en cuatro canteras y se muestran a continuación en el cuadro.

Tabla 31: Identificación de fuentes de agua.

| Fuente de Agua | Ubicación | | Coordenadas UTM | | | Volumen |
|-------------------|---------------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------------|-------------------------------|
| | Progresiva (km.) | Lado | Norte (m.) | Este (m.) | Altitud (m.s.n.m.) | Estimado (m ³) |
| 01 | 03 + 300 | Izquierdo | 9191920 | 499845 | 160.00 | 90000 |
| 02 | 06 + 900 | Izquierdo | 9195048 | 499220 | 172.00 | 500 |
| 03 | 12 + 300 | Derecho | 9198427 | 502216 | 183.00 | 250 |
| 04 | 15 + 000 | Izquierdo | 9200122 | 503526 | 174.00 | 900 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.7.2. TRABAJO DE LABORATORIO.

Las muestras extraídas de las canteras y fuentes de agua, fueron llevadas a laboratorio para analizar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, que en conjunto permiten conocer su calidad.

La cantidad de ensayos realizados a las muestras de canteras son las mostradas en el cuadro.

Tabla 32: Resumen de ensayos de laboratorio para cantera.

| Muestra Tipo | Cantidad | Ensayos | | |
|-----------------|----------|---------|-----------|----------|
| | | Físicos | Mecánicos | Químicos |
| Cantera | 02 | 09 | 02 | 03 |
| Fuentes de Agua | 04 | --- | --- | 06 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Canteras

Para realizar el control de calidad de los materiales de cantera se realizaron los siguientes ensayos:

a. Ensayos Físicos.

Permite conocer las propiedades físicas del material y según los resultados que se obtengan establecer los diseños de mezcla de suelos, concreto asfáltico y concreto hidráulico.

Tabla 33: Ensayos físicos de cantera.

| Norma ASTM | Ensayo Físico |
|------------|---|
| D – 2216 | Contenido de humedad. |
| C – 136 | Análisis granulométrico por tamizado. |
| D – 4318 | Límite líquido. |
| D – 4318 | Límite plástico. |
| D – 4318 | Índice plástico. |
| D – 2419 | Equivalente de arena. |
| C – 127 | Gravedad específica y absorción del agregado grueso. |
| C – 128 | Gravedad específica y absorción del agregado fino. |
| C – 29 | Peso unitario del agregado grueso (suelto y varillado). |
| C – 29 | Peso unitario del agregado fino (suelto y varillado). |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

b. Ensayos Mecánicos

Permiten conocer el Óptimo contenido de humedad (OCH) y Máxima densidad Seca (MDS), permitiendo con ellos calcular su capacidad de soporte para una determinada energía de compactación.

Tabla 34: Ensayos mecánicos de cantera.

| Norma ASTM | Ensayo Mecánico |
|------------|---------------------|
| D – 1557 | Proctor Modificado. |
| D – 1883 | CBR. |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

c. Ensayos Químicos

Permite detectar sustancias perjudiciales dentro del agua y que pudieran resultar nocivos en los diseños de mezcla de los materiales.

Tabla 35: Ensayos químicos de cantera.

| Norma ASTM | Ensayo Químico |
|------------|-----------------|
| D – 512 | Cloruros. |
| D – 516 | Sulfatos. |
| D - 1888 | Sales Solubles. |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Obteniéndose el siguiente cuadro de resultados.

Tabla 36: Resultados de ensayos físicos de cantera – N° 01.

| Cantera | Progresiva (Km.) | Análisis Físico | | | | | | Clasificación | |
|---------|---------------------|-----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|---------------|-----------|
| | | Pasa No 04 | Pasa No 200 | LL (%) | LP (%) | IP (%) | Humedad Natural (%) | SUCS | AASHTO |
| Arena | 11 + 200 | 100 | 24 | --- | NP | NP | 12 | SM | A-2-4(0) |
| Arena | 11 + 250 | 100 | 37 | --- | NP | NP | 14 | SM | A-4(0) |
| Arcilla | 8 + 900 | 100 | 94 | 60 | 29 | 31 | 24 | CH | A-7-6(17) |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 37: Resultados de ensayos físicos de cantera – N° 02

| Cantera | Progresiva (Km.) | Análisis Físico | | | Equivalentes de Arena (%) |
|---------|---------------------|-------------------------------------|--|------------------------|---------------------------------|
| | | Peso Unitario Suelto (Kg./m3) | Peso Unitario Varillado (Kg./m3) | Gravedad Específica | |
| Arena | 11 + 200 | 1350 | 1667 | 2.61 | 70 |
| Arena | 11 + 250 | 1359 | 1661 | 2.61 | 76 |
| Arcilla | 08 + 900 | 1103 | 1297 | 2.67 | --- |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 38: Resultados de ensayos mecánicos de cantera.

| Cantera | Progresiva (Km.) | Análisis Mecánico | | | |
|---------|---------------------|-------------------|------------------|---------|----------|
| | | OCH (%) | MDS (gr./cm3) | CBR (%) | |
| | | | | 95% MDS | 100% MDS |
| Arena | 11 + 200 | 17.1 | 1.771 | 13.0 | 17.7 |
| Arena | 11 + 250 | 17.0 | 1.799 | 14.0 | 18.1 |
| Arcilla | 08 + 900 | 15.2 | 1.786 | 6.90 | 8.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 39: Resultados de ensayos químicos de cantera.

| Cantera | Progresiva (Km.) | Análisis Químico | | |
|---------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| | | Cloruros (ppm.) | Sulfatos (ppm.) | Sales solubles (ppm.) |
| Arena | 11+200 | 16.5 | 170.3 | 365.00 |
| Arcilla | 08+900 | 13.2 | 195.91 | 255.75 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Fuentes de Agua

Los ensayos químicos referidos a las fuentes de agua, sirven para evaluar la cantidad de elementos o sales perjudiciales para los componentes de la mezcla de concreto asfáltico e hidráulico y empleadas en la partida de pavimentos y obras de arte y drenaje del proyecto.

Tabla 40: Ensayos para fuentes de agua.

| Norma ASTM | Ensayo Químico |
|------------|---------------------------|
| D – 1888 | Sales solubles totales. |
| D – 516 | Sulfatos con ión SO_4 . |
| D – 512 | Cloruros con ión Cl . |
| D – 1293 | Potencial de hidrógeno. |
| D – 511 | Materia orgánica. |
| C - 289 | Alcalinidad |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 41: Resultado de ensayos químicos de fuentes de agua.

| Fuentes de Agua | Progresiva (Km.) | Análisis Químico | | | | | Cloruros (ppm.) |
|-----------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|
| | | Sólidos en Suspensión (ppm.) | Materia Orgánica (ppm.) | Alcalinidad (ppm.) | Sulfatos (ppm.) | Potencial de Hidrogeno (pH) | |
| F - 01 | 03 + 300 | 33.50 | 0.00 | 77.00 | 33.00 | 6.79 | 14.00 |
| F - 02 | 06 + 900 | 43.00 | 0.00 | 79.00 | 40.10 | 6.85 | 16.50 |
| F - 03 | 12 + 300 | 24.00 | 0.00 | 81.00 | 18.30 | 7.01 | 8.10 |
| F - 04 | 15 + 000 | 26.00 | 0.00 | 83.00 | 21.70 | 7.03 | 8.50 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

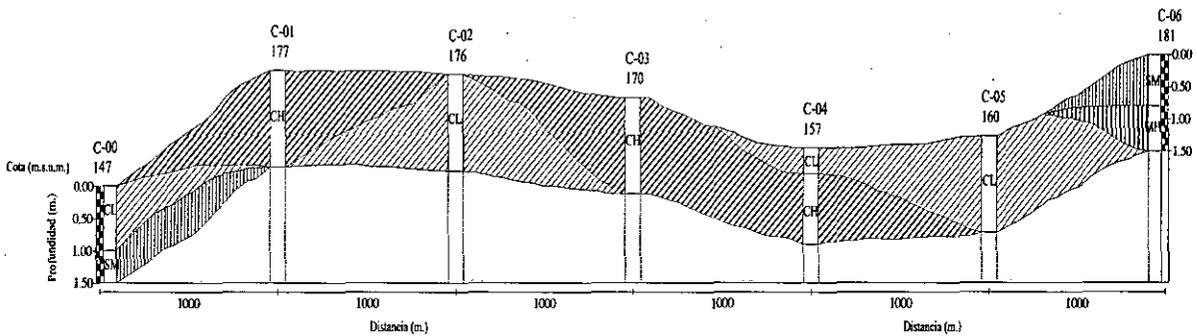
3.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS

3.8.1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO.

Las informaciones obtenidas de los trabajos de exploración y laboratorio son asociadas para definir los materiales existentes en la subrasante. La descripción a detalle del suelo encontrado en cada calicata se describe en los registros de excavación anexas al informe.

Como puede apreciarse en el tramo comprendido entre las progresivas Km. 00 + 000 y Km. 06 + 000. Los materiales existentes son suelos arcillosos, de baja consistencia (debido a que se encuentran saturadas), con plasticidades que varían de media a alta. Para este tramo se correlacionaron las informaciones obtenidas en 08 calicatas (C-00 al C-06).

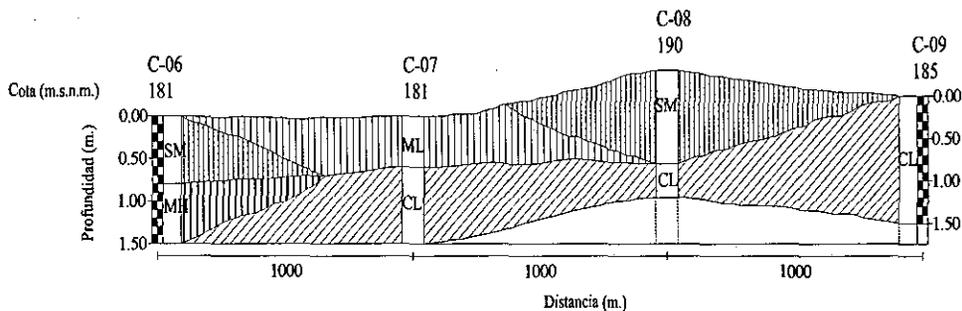
Figura 14: Perfil estratigráfico Km. 0 + 000 – Km. 06 + 000.



*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

En el tramo comprendido entre las progresivas Km. 06 + 000 y Km. 09 + 000, superficialmente puede apreciarse materiales de suelo areno limoso intercalado con suelo limoso de baja consistencia y alta plasticidad. El material subyacente es un suelo arcilloso de mediana consistencia y plasticidad media. Para este tramo se correlacionaron las informaciones obtenidas en 04 calicatas (C-06 al C-09).

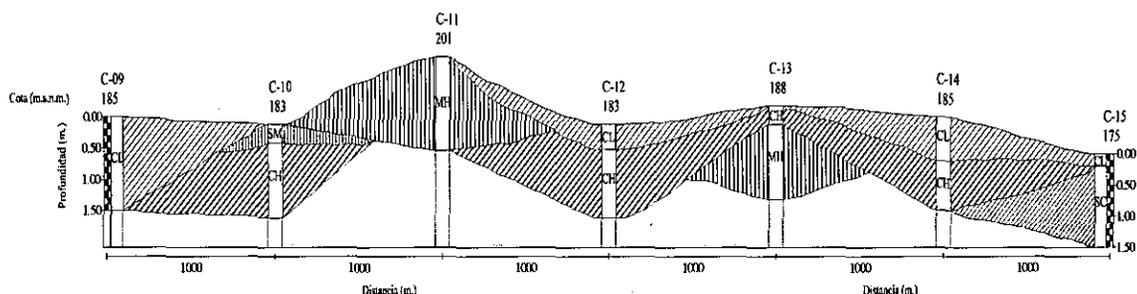
Figura 15: Perfil estratigráfico Km. 06 + 000 – Km. 09 + 000.



*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

En el tramo comprendido entre las progresivas Km. 09 + 000 y Km. 15 + 000, puede apreciarse materiales de suelo arcilloso de baja consistencia y plasticidades que varían de medio a alto, con la presencia también de lentes de arena limosa. Para este tramo se correlacionaron las informaciones obtenidas en 08 calicatas (C-09 al C-15).

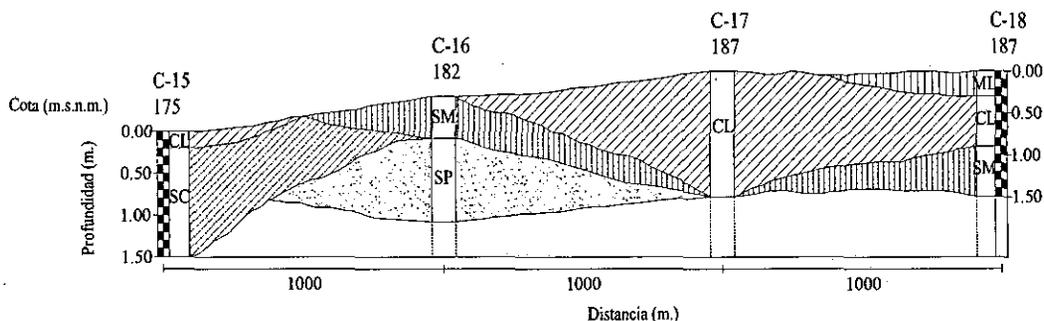
Figura 16: Perfil estratigráfico Km. 09 + 000 – Km. 15 + 000.



*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

El último tramo se encuentra comprendido entre las progresivas Km. 15 + 000 y Km. 18 + 200, pudiéndose apreciar materiales de suelo areno limoso intercalado con suelo arcilloso de baja consistencia y plasticidad media. El material subyacente es un suelo areno limoso, saturado y baja compacidad. Para este tramo se correlacionaron las informaciones obtenidas en 04 calicatas (C-15 al C-18).

Figura 17: Perfil estratigráfico Km. 15 + 000 – Km. 18 + 200.



*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.8.2. SECTORIZADO.

Al integrarse la información obtenida en las prospecciones geotécnicas con el perfil longitudinal de la carretera, puede observarse de forma clara los materiales que participan en el suelo subrasante. Basados en las características que los suelos presentan, el trazo de la línea imaginaria a 0.70m. y los datos obtenidos en ensayos de PDC se ha podido definir tres sectores con características físicas y mecánicas homogéneas.

Tabla 42: Sectorizado en función al PDC.

| Sector | Progresiva (Km.) | |
|--------|------------------|----------|
| | Inicio | Fin |
| S - 01 | 00 + 000 | 04 + 200 |
| S - 02 | 04 + 200 | 11 + 200 |
| S - 03 | 11 + 200 | 18 + 200 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

La sectorización permite establecer diseños representativos para tramos con materiales de características homogéneas.

3.8.3. CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUB RASANTE.

La capacidad del suelo sub rasante para admitir esfuerzo, se determina mediante la relación de soporte de California más conocido como CBR. Este ensayo determina la resistencia al corte del suelo patrón, correspondiente a una roca triturada, con la cual se comparan todos los suelos provenientes de la exploración; el cociente expresado en porcentaje, proporciona el valor de CBR.

En laboratorio se sectorizó la carretera en función a su clasificación SUCS (para aquellos suelos que se encuentran por debajo de 0.70m. de profundidad) y al resultado de asociar las muestras inalteradas con el perfil estratigráfico.

Tabla 43: Sectorizado en función a su clasificación SUCS.

| CBR (%) | Sector | |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| | 01 | 02 |
| | 00 + 000 - 14 + 400 | 14 + 400 - 18 + 200 |
| Clasificación SUCS | Tipo CL - CH | Tipo SM - SP |
| | 2.5 | 23.1 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 44: Sectorizado en función a su CBR.

| CBR (%) | Sector | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| | 01 | 02 | 03 | 04 |
| | 0 + 000 - 6 + 000 | 6 + 000 - 9 + 000 | 9 + 000 - 15 + 000 | 15 + 000 - 18 + 200 |
| Muestras Inalteradas | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 0.4 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.8.4. CAPACIDAD DE SOPORTE A PARTIR DEL PDC.

Empleando el equipo de PDC, la relación entre la resistencia a la penetración por punta y la profundidad de hincado se halla por la ecuación del modelo matemático de Hiley, en el cual se deduce que la resistencia es función de la penetración, a su vez la resistencia está asociada al CBR, deduciéndose la siguiente ecuación:

$$CBR = A * D^{-B}$$

Los parámetros A y B son resultado de investigaciones obtenidas en el proceso de calibración del equipo. Teniendo los siguientes valores.

Tabla 45: Parámetros de calibración de PDC.

| Autor | Lugar | A | B |
|--------------|-----------|-----|------|
| Arios | Australia | 646 | 1.32 |
| Kleyn | Sudáfrica | 398 | 1.26 |
| Tosticarelli | Argentina | 450 | 1.05 |

| Autor | Lugar | A | B |
|---------|----------|-------|-------|
| Ponce | Chile | 776 | 1.46 |
| Sánchez | Colombia | 567 | 1.40 |
| MTC | Perú | 438.5 | 1.264 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

El valor D representa la pendiente de la línea de tendencia de ajuste de la dispersión de puntos obtenidos al graficar el número de golpes versus la profundidad, quedando expresado en mm. /golpe. En el Anexo se encuentran debidamente representados los puntos obtenidos en cada ensayo.

Debido a la gran cantidad de datos obtenidos del ensayo de PDC, se procede a obtener el valor representativo para cada sector, empleándose el concepto de percentil que para el tipo de vía y superficie de rodadura será igual al 85%.

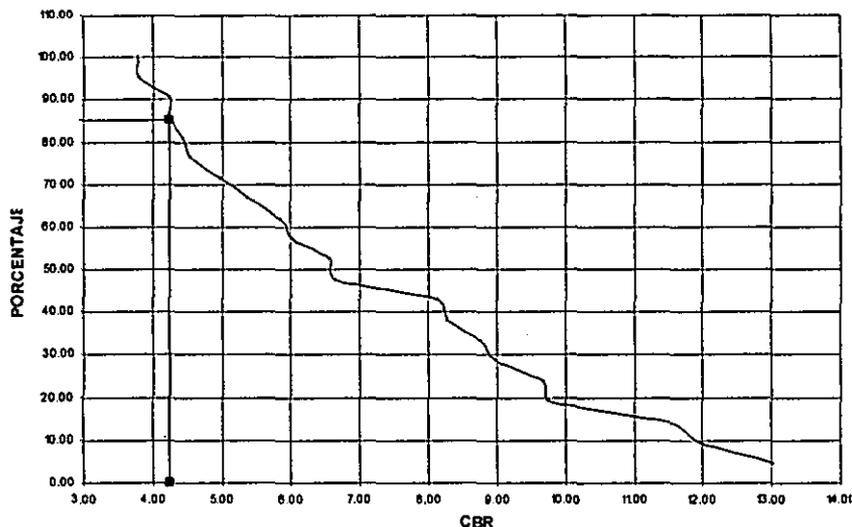
Obteniendo la siguientes tablas.

Tabla 46: Cálculo de percentil – Sector N° 01.

| SECTOR S - 01 | | | | | |
|---------------|-----------------|---------|-------------------------|---------------------------|---------------|
| Punto N° | Ubicación (Km.) | CBR (%) | CBR (orden descendente) | Valores Mayores o Iguales | Percentil (%) |
| 1 | 00+000 | 11.51 | 13.01 | 1 | 4.76 |
| 2 | 00+100 | 8.98 | 11.94 | 2 | 9.52 |
| 3 | 00+400 | 4.24 | 11.51 | 3 | 14.29 |
| 4 | 00+600 | 3.8 | 9.77 | 4 | 19.05 |
| 5 | 00+700 | 6.57 | 9.68 | 5 | 23.81 |
| 6 | 00+800 | 13.01 | 8.98 | 6 | 28.57 |
| 7 | 01+300 | 6.64 | 8.76 | 7 | 33.33 |
| 8 | 02+100 | 3.82 | 8.29 | 8 | 38.1 |
| 9 | 02+200 | 6.04 | 8.14 | 9 | 42.86 |
| 10 | 02+300 | 4.54 | 6.64 | 10 | 47.62 |
| 11 | 02+800 | 9.77 | 6.57 | 11 | 52.38 |
| 12 | 03+000 | 4.45 | 6.04 | 12 | 57.14 |
| 13 | 03+300 | 5.86 | 5.86 | 13 | 61.9 |
| 14 | 03+500 | 4.24 | 5.38 | 14 | 66.67 |
| 15 | 03+600 | 4.98 | 4.98 | 15 | 71.43 |
| 16 | 03+700 | 11.94 | 4.54 | 16 | 76.19 |
| 17 | 03+800 | 8.29 | 4.45 | 17 | 80.95 |
| 18 | 03+900 | 5.38 | 4.24 | 18 | 85.71 |
| 19 | 04+000 | 8.76 | 4.24 | 19 | 90.48 |
| 20 | 04+100 | 8.14 | 3.82 | 20 | 95.24 |
| 21 | 04+200 | 9.68 | 3.8 | 21 | 100 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Figura 18: Curva percentil – Sector N° 01.



Del gráfico se deduce que el CBR al 85% percentil es 4.2.

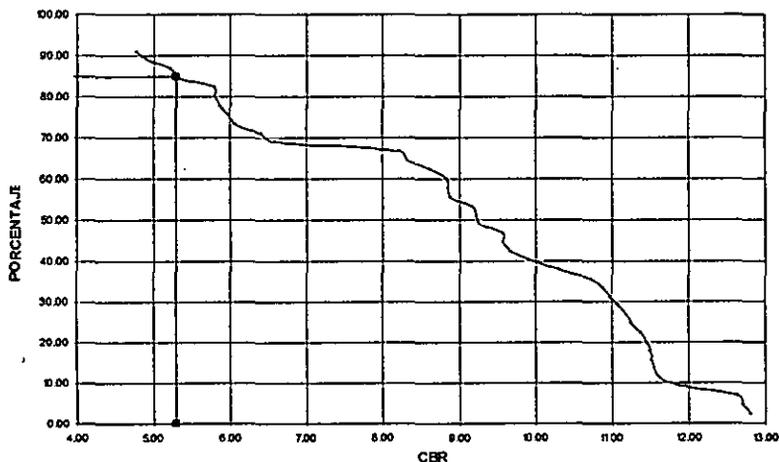
Tabla 47: Cálculo de percentil – Sector N° 02.

| SECTOR S - 02 | | | | | |
|---------------|-----------------|---------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| Punto N° | Ubicación (Km.) | CBR (%) | CBR (orden descendente) | Valores Mayores o iguales | Percentil |
| 1 | 04+300 | 3.93 | 12.8 | 1 | 2.22 |
| 2 | 04+500 | 4.77 | 12.71 | 2 | 4.44 |
| 3 | 04+700 | 10.9 | 12.65 | 3 | 6.67 |
| 4 | 04+800 | 9.24 | 11.96 | 4 | 8.89 |
| 5 | 05+000 | 11.63 | 11.63 | 5 | 11.11 |
| 6 | 05+100 | 8.85 | 11.53 | 7 | 15.56 |
| 7 | 05+300 | 11.96 | 11.53 | 7 | 15.56 |
| 8 | 05+600 | 8.89 | 11.51 | 8 | 17.78 |
| 9 | 05+700 | 11.08 | 11.45 | 9 | 20 |
| 10 | 05+800 | 8.31 | 11.37 | 10 | 22.22 |
| 11 | 05+900 | 5.22 | 11.26 | 11 | 24.44 |
| 12 | 06+000 | 5.97 | 11.19 | 12 | 26.67 |
| 13 | 06+100 | 5.78 | 11.08 | 13 | 28.89 |
| 14 | 06+200 | 10.32 | 10.98 | 14 | 31.11 |
| 15 | 06+400 | 5.79 | 10.9 | 15 | 33.33 |
| 16 | 06+500 | 6.59 | 10.72 | 16 | 35.56 |
| 17 | 06+600 | 9.58 | 10.32 | 17 | 37.78 |
| 18 | 06+900 | 12.8 | 9.67 | 19 | 42.22 |
| 19 | 07+200 | 10.72 | 9.67 | 19 | 42.22 |
| 20 | 07+400 | 9.18 | 9.58 | 20 | 44.44 |
| 21 | 07+500 | 11.37 | 9.58 | 21 | 46.67 |
| 22 | 07+600 | 12.65 | 9.26 | 22 | 48.89 |
| 23 | 07+700 | 6.07 | 9.24 | 23 | 51.11 |
| 24 | 07+800 | 12.71 | 9.18 | 24 | 53.33 |
| 25 | 07+900 | 5.33 | 8.89 | 25 | 55.56 |

| SECTOR S - 02 | | | | | |
|---------------|-----------------|---------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| Punto N° | Ubicación (Km.) | CBR (%) | CBR (orden descendente) | Valores Mayores o Iguales | Percentil |
| 26 | 08+000 | 8.84 | 8.85 | 26 | 57.78 |
| 27 | 08+100 | 4.92 | 8.84 | 27 | 60 |
| 28 | 08+300 | 10.98 | 8.63 | 28 | 62.22 |
| 29 | 08+400 | 11.19 | 8.31 | 29 | 64.44 |
| 30 | 08+800 | 11.53 | 8.22 | 30 | 66.67 |
| 31 | 09+000 | 11.26 | 6.59 | 31 | 68.89 |
| 32 | 09+200 | 11.53 | 6.41 | 32 | 71.11 |
| 33 | 09+500 | 9.58 | 6.07 | 33 | 73.33 |
| 34 | 09+600 | 11.51 | 5.97 | 34 | 75.56 |
| 35 | 09+700 | 8.63 | 5.87 | 35 | 77.78 |
| 36 | 09+800 | 8.22 | 5.79 | 36 | 80 |
| 37 | 09+900 | 6.41 | 5.78 | 37 | 82.22 |
| 38 | 10+000 | 3.59 | 5.33 | 38 | 84.44 |
| 39 | 10+100 | 9.67 | 5.22 | 39 | 86.67 |
| 40 | 10+200 | 9.26 | 4.92 | 40 | 88.89 |
| 41 | 10+500 | 9.67 | 4.77 | 41 | 91.11 |
| 42 | 10+700 | 4.61 | 4.61 | 42 | 93.33 |
| 43 | 11+000 | 4.3 | 4.3 | 43 | 95.56 |
| 44 | 11+100 | 11.45 | 3.93 | 44 | 97.78 |
| 45 | 11+200 | 5.87 | 3.59 | 45 | 100 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Figura 19: Curva percentil – Sector N° 02.



*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

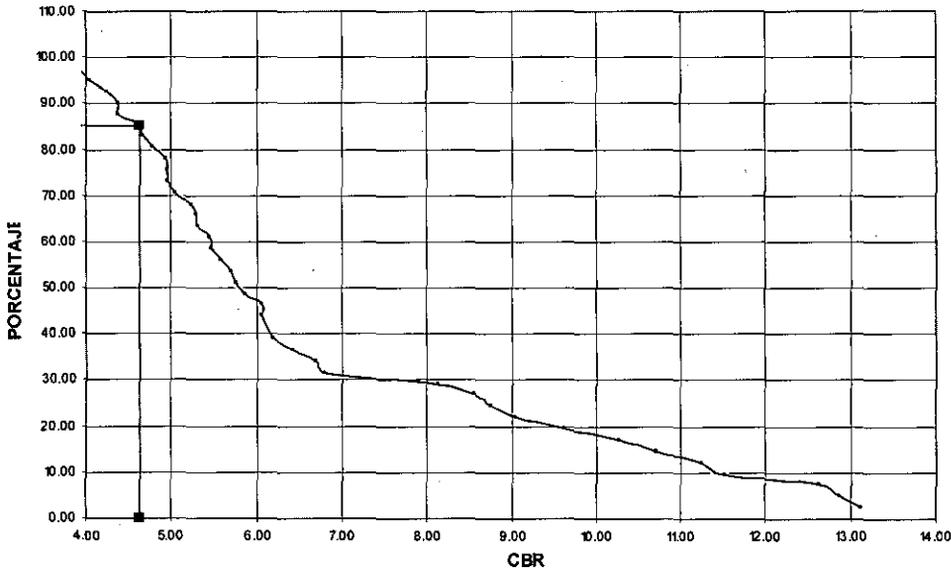
Del gráfico se deduce que el CBR al 85% percentil es 5.3.

Tabla 48: Cálculo de percentil – Sector Nº 03.

| SECTOR - 03 | | | | | |
|-------------|-----------------|---------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| Punto Nº | Ubicación (Km.) | CBR (%) | CBR (orden descendente) | Valores Mayores o Iguales | Percentil |
| 1 | 11+300 | 5.29 | 13.12 | 1 | 2.44 |
| 2 | 11+400 | 5.24 | 12.87 | 2 | 4.88 |
| 3 | 11+500 | 6.06 | 12.63 | 3 | 7.32 |
| 4 | 11+600 | 5.48 | 11.51 | 4 | 9.76 |
| 5 | 11+700 | 4.95 | 11.25 | 5 | 12.2 |
| 6 | 11+800 | 4.25 | 10.71 | 6 | 14.63 |
| 7 | 11+900 | 9.04 | 10.27 | 7 | 17.07 |
| 8 | 12+000 | 6.19 | 9.63 | 8 | 19.51 |
| 9 | 12+100 | 4.66 | 9.04 | 9 | 21.95 |
| 10 | 12+200 | 6.7 | 8.76 | 10 | 24.39 |
| 11 | 12+300 | 6.06 | 8.57 | 11 | 26.83 |
| 12 | 12+400 | 12.63 | 8.13 | 12 | 29.27 |
| 13 | 12+600 | 5.76 | 6.79 | 13 | 31.71 |
| 14 | 12+700 | 4.94 | 6.7 | 14 | 34.15 |
| 15 | 12+800 | 3.87 | 6.42 | 15 | 36.59 |
| 16 | 12+900 | 5.44 | 6.19 | 16 | 39.02 |
| 17 | 13+400 | 8.57 | 6.06 | 18 | 43.9 |
| 18 | 13+500 | 13.12 | 6.06 | 18 | 43.9 |
| 19 | 13+700 | 5.7 | 6.06 | 19 | 46.34 |
| 20 | 13+800 | 11.25 | 5.88 | 20 | 48.78 |
| 21 | 13+900 | 4.79 | 5.76 | 21 | 51.22 |
| 22 | 14+300 | 12.87 | 5.7 | 22 | 53.66 |
| 23 | 14+500 | 4.63 | 5.58 | 23 | 56.1 |
| 24 | 14+800 | 5.88 | 5.48 | 24 | 58.54 |
| 25 | 14+900 | 5.06 | 5.44 | 25 | 60.98 |
| 26 | 15+000 | 6.42 | 5.32 | 26 | 63.41 |
| 27 | 15+200 | 4.03 | 5.29 | 27 | 65.85 |
| 28 | 15+300 | 9.63 | 5.24 | 28 | 68.29 |
| 29 | 15+400 | 6.06 | 5.06 | 29 | 70.73 |
| 30 | 15+500 | 5.58 | 4.96 | 30 | 73.17 |
| 31 | 15+600 | 6.79 | 4.95 | 31 | 75.61 |
| 32 | 15+700 | 5.32 | 4.94 | 32 | 78.05 |
| 33 | 15+800 | 4.38 | 4.79 | 33 | 80.49 |
| 34 | 16+100 | 4.96 | 4.66 | 34 | 82.93 |
| 35 | 16+200 | 3.9 | 4.63 | 35 | 85.37 |
| 36 | 16+300 | 4.38 | 4.38 | 36 | 87.8 |
| 37 | 16+700 | 11.51 | 4.38 | 37 | 90.24 |
| 38 | 17+000 | 10.27 | 4.25 | 38 | 92.68 |
| 39 | 18+000 | 8.76 | 4.03 | 39 | 95.12 |
| 40 | 18+100 | 10.71 | 3.9 | 40 | 97.56 |
| 41 | 18+200 | 8.13 | 3.87 | 41 | 100 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Figura 20: Curva percentil – Sector N° 03.



*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Del gráfico se deduce que el CBR al 85% percentil es 4.5.

Finalmente los valores de CBR de diseño para cada uno de los sectores del material característico de la sub rasante y para el 85% percentil es como se muestra en el cuadro.

Tabla 49: Resumen de percentil al 85%.

| Sector | Progresivas (km.) | Suelo Característico de Subrasante | CBR al 85% Percentil |
|--------|---------------------|------------------------------------|----------------------|
| 01 | 00 + 000 – 04 + 200 | CL - CH | 4.2 |
| 02 | 04 + 200 – 11 + 200 | CL - CH | 5.3 |
| 03 | 11 + 200 – 18 + 200 | SP - SM | 4.5 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Correlacionando la información de las sectorizaciones obtenidas en laboratorio, por muestra inalterada y PDC, se concluye que existen en la carretera dos sectores definidos.

Tabla 50: Capacidad de soporte por sector.

| Sector | Progresivas (km.) | Suelo Característico de Subrasante | CBR (%) |
|--------|---------------------|------------------------------------|---------|
| 01 | 00 + 000 – 14 + 400 | CL / CH | 4.2 |
| 02 | 14 + 400 – 18 + 200 | SP / SM | 4.5 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.8.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS.

La etapa de diseño de pavimento, comprende la elaboración de de las alternativas de solución que se encuentren alineadas con el objetivo del proyecto. Las características de los materiales a emplear para la construcción del pavimento serán las obtenidas en los ensayos de laboratorio del suelo y material de préstamo y que fueron indicados en los ítems anteriores.

El ancho de la calzada está definido por el trazo geométrico obtenido en el Estudio Topográfico.

Tránsito

La información empleada para el tránsito corresponde, normalmente a los estudios de tráfico evaluados por el especialista. Sin embargo se tiene un estudio de tráfico realizado por la Sub – Gerencia Regional de Ucayali de mayo 2006.

Tabla 51: Tráfico vehicular 2006.

| Día | Sentido | Motocar | Moto Personal | Camioneta Rural | Camión 2 ejes | Total |
|--------|-----------------|---------|---------------|-----------------|---------------|-------|
| Lunes | Contamana | 10 | 5 | 1 | 2 | 18 |
| | Aguas Calientes | | | | | |
| | Aguas Calientes | 8 | 5 | 1 | 2 | 16 |
| | Contamana | | | | | |
| Martes | Ambos | 18 | 10 | 2 | 4 | 34 |
| | Contamana | 7 | 4 | 0 | 3 | 14 |
| | Aguas Calientes | | | | | |
| | Aguas Calientes | 7 | 4 | 0 | 3 | 14 |
| | Contamana | | | | | |

| Día | Sentido | Motocar | Moto Personal | Camioneta Rural | Camión 2 ejes | Total |
|-----------|-----------------|---------|---------------|-----------------|---------------|-------|
| | Ambos | 14 | 8 | 0 | 6 | 28 |
| | Contamana | | | | | |
| | Aguas Calientes | 8 | 8 | 1 | 3 | 20 |
| Miércoles | Aguas Calientes | | | | | |
| | Contamana | 8 | 8 | 1 | 3 | 20 |
| | Ambos | 16 | 16 | 2 | 6 | 40 |
| | Contamana | | | | | |
| | Aguas Calientes | 9 | 5 | 2 | 4 | 20 |
| Jueves | Aguas Calientes | | | | | |
| | Contamana | 8 | 5 | 2 | 4 | 19 |
| | Ambos | 17 | 10 | 4 | 8 | 39 |
| | Contamana | | | | | |
| | Aguas Calientes | 10 | 6 | 1 | 5 | 22 |
| Viernes | Aguas Calientes | | | | | |
| | Contamana | 9 | 6 | 1 | 5 | 21 |
| | Ambos | 19 | 12 | 2 | 10 | 43 |
| | Contamana | | | | | |
| | Aguas Calientes | 12 | 10 | 1 | 4 | 27 |
| Sábado | Aguas Calientes | | | | | |
| | Contamana | 12 | 10 | 1 | 4 | 27 |
| | Ambos | 24 | 20 | 2 | 8 | 54 |
| | Contamana | | | | | |
| | Aguas Calientes | 12 | 10 | 1 | 3 | 26 |
| Domingo | Aguas Calientes | | | | | |
| | Contamana | 10 | 10 | 1 | 3 | 24 |
| | Ambos | 22 | 20 | 2 | 6 | 50 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Con esa composición vehicular, obtuvieron un IMD igual a 7 camiones de dos ejes por día. Además consideraron un periodo de diseño igual a 5 años y una tasa de crecimiento de camiones igual a 4%. Con esa información obtuvieron un Número de Ejes Equivalentes igual a 37,362.36.

En base a esa información se estimó una composición de tráfico como la que se muestra en la tabla.

Tabla 52: Composición del tráfico.

| ESTIMACIÓN DEL TRAFICO PROYECTADO | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|-----|--------|--------|
| Año presente | 2009 | | | | | |
| Año de los Datos | 2009 | | | | | |
| COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO | | | | | | |
| Detalle | Ligeros | Omb. | C2 | C3 | ST y T | |
| IMD i | 24 | 7 | 3 | 0 | 0 | |
| FD i | 0 | 3.8 | 4.1 | 4.3 | 7.2 | |
| Tasa (r%) | 4.5 | 4.5 | 6.8 | 4.2 | 3.2 | |
| EJES EQUIVALENTES AL AÑO DE LOS DATOS | | | | | | Total |
| EE 2009 | 0 | 27 | 12 | 0 | 0 | 39 |
| ACTUALIZACIÓN DE LOS EJES | | | | | | |
| EE 2009 | 0 | 27 | 12 | 0 | 0 | 39 |
| Tiempo de diseño | 5 años | | | | | |
| PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES | | | | | | |
| N | 0 | 35,733 | 17,615 | 0 | 0 | 53,348 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Método AASHTO 1993

El método AASHTO, toma la información proveniente de la Guide for Design of Paviment Structures, edición 1993, que se basa en el valor de C.B.R. de la subrasante y del número de ejes estándar anticipado, para determinar el número estructural de diseño. Este método proporciona una expresión analítica que para efectos de cálculos computarizados la solución matemática es sumamente útil. La evolución del método, establece las complementaciones siguientes:

- Se introduce el coeficiente de drenaje como parámetro de caracterización de la base granular para fines del Número Estructural. Indirectamente se mide la influencia del agua en la capacidad estructural del pavimento.
- Se deja sin efecto el parámetro factor regional.
- Se introduce el concepto de "pérdida de servicio".

- El valor soporte de la subrasante S se reemplaza por el módulo resiliente Mr.
- Se introduce el parámetro de confiabilidad partiendo de la consideración que el comportamiento vs tránsito sigue la distribución normal de Gauss.

A pesar de las modificaciones mencionadas la aplicación de la versión 86, al igual que la del 72, encuentra un vacío en nuestro medio en cuanto a la ejecución directa del Ensayo que mide el Mr en suelos, que pocos laboratorios logran determinar.

La fórmula general que gobierna el número estructural de diseño, presenta la expresión siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(MR) - 8.0$$

Donde:

- W_{18} : Número proyectado de carga equivalente de 18 kip (18000 lb) de aplicación de carga axial simple.
- Z_r : Desviación estándar normal.
- S_o : Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado.
- ΔPSI : Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial (Po) y el índice de serviciabilidad final (Pt).
- MR : Módulo resiliente (psi)
- SN : Número estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido

Del procesamiento iterativo de la fórmula, se despeja el valor de diseño $SN_{\text{diseño}}$, que permite encontrar la situación de un pavimento nuevo que soporte las cargas proyectadas. El $SN_{\text{requerido}}$ será igual a la diferencia de número estructural de diseño y el número estructural del pavimento existente.

Tabla 53: Estructura del pavimento existente.

| Detalles | Espesor (cm.) | Coef./cm. | SN |
|------------------|---------------|-----------|------|
| Mezcla Asfáltica | 0.0 | 0.17 | 0.00 |
| Base Negra | 0.0 | 0.082 | 0.00 |
| Base granular | 0.0 | 0.06 | 0.00 |
| Sub base | 0.0 | 0.05 | 0.00 |
| Espesor Total | 0.0 | 0.4 | 0.00 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Para la carretera en estudio no existe aporte estructural debido a que no se encuentra pavimentada.

Los espesores finales de la superficie de rodadura, refuerzo o estructura recomendada, se determinan empleando la expresión propuesta, la cual comprende coeficientes de transformación para cada tipo de capa. Para la transformación del número estructural, en capas granulares y superficie de rodadura, se emplea la expresión siguiente:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Donde:

a_i = Coeficiente de transformación de la capa "i"

D_i = Espesor de la capa "i"

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa "i"

Con la finalidad de procesar iterativamente la fórmula indicada, se dividió el análisis por componentes. Estas componentes son de fácil proceso y permitieron establecer los valores en una hoja de cálculo que se presenta y cuyas partes tienen la expresión siguiente:

$$K_1 = \text{Log}_{10}(W_{18}) - Z_r * S_o + 0.20 + 8.07$$

$$K_2 = \text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$$

$$K_3 = 2.32 * \text{Log}_{10}(MR)$$

Donde:

Según AASHTO; para base granular con CBR $\leq 10\%$

$$MR(\text{psi}) = 1.500 * \text{CBR};$$

Instituto de Aeronáutica De Brasil; para CBR de 4 a 48%

$$\text{CBR}_{sr} (\text{MPa}) = 0.0624 * (\text{MR}_{sr})^{1.176}$$

Sabiendo que:

$$1 \text{ psi} = 0.07 \text{ kgf/cm}^2 = 0.007 \text{ MPa}$$

$$\text{kgf/cm}^2 = 0.1 \text{ MPa} = 14.22 \text{ psi}$$

Finalmente se empleó la fórmula:

$$MR_{sr} = \frac{\left[\frac{\text{CBR}}{0.0624} \right]^{\frac{1}{1.176}}}{0.007} (\text{psi})$$

Luego de reemplazar y despejar, la ecuación general de AASHTO, quedó de la manera siguiente:

$$K_1 - K_3 = 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) + \frac{K_2}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Si, se hace:

$$J_1 = 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1)$$

y además:

$$J_2 = \frac{K_2}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Por igualdad se debió cumplir que:

$$K_1 - K_3 = J_1 + J_2,$$

o también

$$(K_1 - K_3) - (J_1 + J_2) = 0$$

Esta última expresión, permite efectuar las iteraciones hasta cumplir la igualdad y por lo tanto encontrar el SN de diseño.

Tanto el tráfico proyectado y el valor de PSI, son los insumos dato para la evaluación de las fórmulas antes descritas. Se aprecian los sectores determinados por los valores de CBR y para los cuales se efectuó el diseño. Las hojas de cálculo que se muestran, evalúa y determina los espesores a emplear en la vía.

En el proyecto se han identificado 05 alternativas de solución y se detallan a continuación.

- Alternativa N° 01: No se realiza ningún tratamiento a la subrasante y se utiliza el material de cantera de arena limosa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia.

Tabla 54: Número estructural – Alternativa N° 01 – Sector 01.

| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL} | | | | | |
|---|--|--------------------------------------|-------------|--------|---------|
| Proyecto | Estudio de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes. | | | | |
| Carretera | Contamana - Aguas Calientes(18Km.) | | | | |
| Sector | 01 | | | | |
| INGRESO DE DATOS | | | | | |
| Proyección | 5 años | | | | |
| W18 : | 53,348 | | | | |
| ZR : | -1.037 | | | | |
| So : | 0.35 | | | | |
| Po : | 4.0 | | | | |
| Pt : | 2.0 | | | | |
| CBR de diseño : | 4.20 | | | | |
| Mrsr (psi) : | 5121 | (Instituto de Aeronáutica de Brasil) | | | |
| DETERMINACIÓN DE CONSTANTES | | | | | |
| K1 | K2 | K3 | K1-K3 | | |
| 13.36006885 | -0.130333768 | 8.605758691 | 4.754310154 | | |
| ITERACIÓN | SN | J1 | J2 | J1+J2 | CONTROL |
| 1 | 2.252 | 4.7937 | -0.0465 | 4.7472 | 0.0071 |
| 2 | 2.253 | 4.7950 | -0.0465 | 4.7484 | 0.0059 |
| 3 | 2.254 | 4.7962 | -0.0466 | 4.7496 | 0.0047 |
| 4 | 2.255 | 4.7975 | -0.0467 | 4.7508 | 0.0035 |
| 5 | 2.256 | 4.7987 | -0.0467 | 4.7520 | 0.0023 |
| 6 | 2.257 | 4.8000 | -0.0468 | 4.7532 | 0.0011 |
| 7 | 2.258 | 4.8012 | -0.0469 | 4.7544 | -0.0001 |
| 8 | 2.259 | 4.8025 | -0.0469 | 4.7555 | -0.0012 |
| 9 | 2.260 | 4.8037 | -0.0470 | 4.7567 | -0.0024 |
| 10 | 2.261 | 4.8050 | -0.0471 | 4.7579 | -0.0036 |

| NUMERO ESTRUCTURAL (SN) | | | | |
|----------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| Diseño | Existente | | Requerido | |
| 2.258 | 0.00 | | 2.258 | |
| ALTERNATIVA DE DISEÑO | Coef./cm. | Espesor (cm.) | SN | Remanente |
| Mezcla Asfáltica | 0.17 | 0.0 | 0 | 2.258 |
| Base Negra | 0.082 | 0.0 | 0 | 2.258 |
| Base | 0.03 | 30.0 | 0.9 | 1.358 |
| Sub - Base | 0.03 | 50.0 | 1.5 | -0.142 |
| Espesor Total (cm.) | | 80.0 | | |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 55: Pavimento – Alternativa N° 01 – Sector 01.

| Estructura del Pavimento | Espesor (cm.) |
|---------------------------------|---------------|
| Imprimación Asfáltica | --- |
| Base A-2-4(0), CBR = 13% | 30.0 |
| Sub – Base, A-2-4(0), CBR = 13% | 50.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

De los cuadros se observa que para mantener la geometría de la vía se tendrá que cortar y eliminar 55cm. de la subrasante.

Tabla 56: Número estructural – Alternativa N° 01 – Sector 02.

| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL} | | | | | |
|---|---|-------------|---------------|-----------|-----------|
| Proyecto | Estudio de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes. | | | | |
| Carretera | Contamana - Aguas Calientes(18Km.) | | | | |
| Sector | 02 | | | | |
| INGRESO DE DATOS | | | | | |
| Proyección | 5 años | | | | |
| W18 : | 53,348 | | | | |
| ZR : | -1.037 | | | | |
| So : | 0.35 | | | | |
| Po : | 4.0 | | | | |
| Pt : | 2.0 | | | | |
| CBR de diseño : | 4.50 | | | | |
| Mrsr (psi) : | 5431 | | | | |
| DETERMINACIÓN DE CONSTANTES | | | | | |
| K1 | K2 | K3 | K1-K3 | | |
| 13.36006885 | -0.130333768 | 8.664869812 | 4.695199033 | | |
| ITERACIÓN | SN | J1 | J2 | J1+J2 | CONTROL |
| 1 | 2.201 | 4.7295 | -0.0433 | 4.6862 | 0.0090 |
| 2 | 2.202 | 4.7307 | -0.0434 | 4.6874 | 0.0078 |
| 3 | 2.203 | 4.7320 | -0.0434 | 4.6886 | 0.0066 |
| 4 | 2.204 | 4.7333 | -0.0435 | 4.6898 | 0.0054 |
| 5 | 2.205 | 4.7346 | -0.0435 | 4.6910 | 0.0042 |
| 6 | 2.206 | 4.7358 | -0.0436 | 4.6922 | 0.0030 |
| 7 | 2.207 | 4.7371 | -0.0437 | 4.6934 | 0.0018 |
| 8 | 2.208 | 4.7384 | -0.0437 | 4.6946 | 0.0006 |
| 9 | 2.209 | 4.7396 | -0.0438 | 4.6958 | -0.0006 |
| 10 | 2.210 | 4.7409 | -0.0439 | 4.6970 | -0.0018 |
| NUMERO ESTRUCTURAL (SN) | | | | | |
| Diseño | | Existente | | Requerido | |
| 2.208 | | 0.00 | | 2.208 | |
| ALTERNATIVA DE DISEÑO | | Coef./cm. | Espesor (cm.) | SN | Remanente |

| | | | | |
|----------------------------|-------|------|------|--------|
| Mezcla Asfáltica | 0.17 | 0.0 | 0 | 2.208 |
| Base Negra | 0.082 | 0.0 | 0 | 2.208 |
| Base | 0.03 | 30.0 | 0.9 | 1.308 |
| Sub - Base | 0.03 | 45.0 | 1.35 | -0.042 |
| Espesor Total (cm.) | | 75.0 | | |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 57: Pavimento – Alternativa N° 01 – Sector 02.

| Estructura del Pavimento | Espesor (cm.) |
|---------------------------------|---------------|
| Imprimación Asfáltica | — |
| Base A-2-4(0), CBR = 13% | 30.0 |
| Sub – Base, A-2-4(0), CBR = 13% | 45.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

De los cuadros se observa que para mantener la geometría de la vía se tendrá que cortar y eliminar 50cm. de la subrasante.

- Alternativa N° 02: No se realiza ningún tratamiento a la subrasante y se utiliza el material de cantera de arena limosa y grava traída de Aguaytia - Pucallpa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia.

Tabla 58: Número estructural – Alternativa N° 02 – Sector 01.

| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL} | | |
|---|---|--|
| Proyecto | Estudio de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes. | |
| Carretera | Contamana - Aguas Calientes(18Km.) | |
| Sector | 01 | |
| INGRESO DE DATOS | | |
| Proyección | 5 años | |
| W18 : | 53,348 | |
| ZR : | -1.037 | |
| So : | 0.35 | |
| Po : | 4.0 | |
| Pt : | 2.0 | |

| | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| CBR de diseño : | 4.20 | | | | |
| Mrsr (psi) : | 5121 | (Instituto de Aeronáutica de Brasil) | | | |
| DETERMINACIÓN DE CONSTANTES | | | | | |
| K1 | K2 | K3 | K1-K3 | | |
| 13.36006885 | -0.130333768 | 8.605758691 | 4.754310154 | | |
| ITERACIÓN | SN | J1 | J2 | J1+J2 | CONTROL |
| 1 | 2.252 | 4.7937 | -0.0465 | 4.7472 | 0.0071 |
| 2 | 2.253 | 4.7950 | -0.0465 | 4.7484 | 0.0059 |
| 3 | 2.254 | 4.7962 | -0.0466 | 4.7496 | 0.0047 |
| 4 | 2.255 | 4.7975 | -0.0467 | 4.7508 | 0.0035 |
| 5 | 2.256 | 4.7987 | -0.0467 | 4.7520 | 0.0023 |
| 6 | 2.257 | 4.8000 | -0.0468 | 4.7532 | 0.0011 |
| 7 | 2.258 | 4.8012 | -0.0469 | 4.7544 | -0.0001 |
| 8 | 2.259 | 4.8025 | -0.0469 | 4.7555 | -0.0012 |
| 9 | 2.260 | 4.8037 | -0.0470 | 4.7567 | -0.0024 |
| 10 | 2.261 | 4.8050 | -0.0471 | 4.7579 | -0.0036 |
| NUMERO ESTRUCTURAL (SN) | | | | | |
| Diseño | | Existente | | Requerido | |
| 2.258 | | 0.00 | | 2.258 | |
| ALTERNATIVA DE DISEÑO | | Coef./cm. | Espesor (cm.) | SN | Remanente |
| Mezcla Asfáltica | | 0.17 | 0.0 | 0 | 2.258 |
| Base Negra | | 0.082 | 0.0 | 0 | 2.258 |
| Base | | 0.06 | 10.0 | 0.6 | 1.658 |
| Sub - Base | | 0.06 | 30.0 | 1.8 | -0.142 |
| Espesor Total (cm.) | | | 40.0 | | |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 59: Pavimento – Alternativa N° 02 – Sector 01.

| Estructura del Pavimento | Espesor (cm.) |
|---------------------------------|----------------------|
| Imprimación Asfáltica | — |
| Base A-2-4(0), CBR = 80% | 10.0 |
| Sub – Base, A-2-4(0), CBR = 80% | 30.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

De los cuadros se observa que para mantener la geometría de la vía se tendrá que cortar y eliminar 15cm. de la subrasante.

Tabla 60: Número estructural – Alternativa N° 02 – Sector 02.

| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL} | | | | | |
|---|---|--------------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Proyecto | Estudio de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes. | | | | |
| Carretera | Contamana - Aguas Calientes(18Km.) | | | | |
| Sector | 02 | | | | |
| INGRESO DE DATOS | | | | | |
| Proyección | 5 años | | | | |
| W18 : | 53,348 | | | | |
| ZR : | -1.037 | | | | |
| So : | 0.35 | | | | |
| Po : | 4.0 | | | | |
| Pt : | 2.0 | | | | |
| CBR de diseño : | 4.50 | | | | |
| Mrsr (psi) : | 5431 | (Instituto de Aeronáutica de Brasil) | | | |
| DETERMINACIÓN DE CONSTANTES | | | | | |
| K1 | K2 | K3 | K1-K3 | | |
| 13.36006885 | -0.130333768 | 8.664869812 | 4.695199033 | | |
| ITERACIÓN | SN | J1 | J2 | J1+J2 | CONTROL |
| 1 | 2.201 | 4.7295 | -0.0433 | 4.6862 | 0.0090 |
| 2 | 2.202 | 4.7307 | -0.0434 | 4.6874 | 0.0078 |
| 3 | 2.203 | 4.7320 | -0.0434 | 4.6886 | 0.0066 |
| 4 | 2.204 | 4.7333 | -0.0435 | 4.6898 | 0.0054 |
| 5 | 2.205 | 4.7346 | -0.0435 | 4.6910 | 0.0042 |
| 6 | 2.206 | 4.7358 | -0.0436 | 4.6922 | 0.0030 |
| 7 | 2.207 | 4.7371 | -0.0437 | 4.6934 | 0.0018 |
| 8 | 2.208 | 4.7384 | -0.0437 | 4.6946 | 0.0006 |
| 9 | 2.209 | 4.7396 | -0.0438 | 4.6958 | -0.0006 |
| 10 | 2.210 | 4.7409 | -0.0439 | 4.6970 | -0.0018 |
| NUMERO ESTRUCTURAL (SN) | | | | | |

| Diseño | Existente | | Requerido | |
|----------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| 2.208 | 0.00 | | 2.208 | |
| ALTERNATIVA DE DISEÑO | Coef./cm. | Espesor (cm.) | SN | Remanente |
| Mezcla Asfáltica | 0.17 | 0.0 | 0 | 2.208 |
| Base Negra | 0.082 | 0.0 | 0 | 2.208 |
| Base | 0.06 | 10.0 | 0.6 | 1.608 |
| Sub - Base | 0.06 | 30.0 | 1.8 | -0.192 |
| Espesor Total (cm.) | | 40.0 | | |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 61: Pavimento – Alternativa N° 02 – Sector 02.

| Estructura del Pavimento | Espesor (cm.) |
|---------------------------------|---------------|
| Imprimación Asfáltica | --- |
| Base A-2-4(0), CBR = 80% | 10.0 |
| Sub – Base, A-2-4(0), CBR = 80% | 30.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

De los cuadros se observa que para mantener la geometría de la vía se tendrá que cortar y eliminar 15cm. de la subrasante.

- Alternativa N° 03: Se realiza tratamiento con aditivo estabilizador a la subrasante y se utiliza el material de cantera de arena limosa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia.

Tabla 62: Número estructural – Alternativa N° 03 – Sectores 01 y 02.

| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL} | | |
|---|---|--|
| Proyecto | Estudio de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes. | |
| Carretera | Contamana - Aguas Calientes(18Km.) | |
| Sector | 01 y 02 | |
| INGRESO DE DATOS | | |
| Proyección | 5 años | |
| W18 : | 53,348 | |
| ZR : | -1.037 | |

| | | | | | |
|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| So : | 0.35 | | | | |
| Po : | 4.0 | | | | |
| Pt : | 2.0 | | | | |
| CBR de diseño : | 40.00 | | | | |
| Mrsr (psi) : | 34810 | (Instituto de Aeronáutica de Brasil). | | | |
| DETERMINACIÓN DE CONSTANTES | | | | | |
| K1 | K2 | K3 | K1-K3 | | |
| 13.36006885 | -0.130333768 | 10.53674579 | 2.823323057 | | |
| ITERACIÓN | SN | J1 | J2 | J1+J2 | CONTROL |
| 1 | 1.000 | 2.8176 | -0.0043 | 2.8133 | 0.0100 |
| 2 | 1.001 | 2.8197 | -0.0043 | 2.8154 | 0.0080 |
| 3 | 1.002 | 2.8217 | -0.0043 | 2.8174 | 0.0059 |
| 4 | 1.003 | 2.8237 | -0.0043 | 2.8194 | 0.0039 |
| 5 | 1.004 | 2.8258 | -0.0043 | 2.8214 | 0.0019 |
| 6 | 1.005 | 2.8278 | -0.0043 | 2.8234 | -0.0001 |
| 7 | 1.006 | 2.8298 | -0.0044 | 2.8255 | -0.0021 |
| 8 | 1.007 | 2.8318 | -0.0044 | 2.8275 | -0.0042 |
| 9 | 1.008 | 2.8339 | -0.0044 | 2.8295 | -0.0062 |
| 10 | 1.009 | 2.8359 | -0.0044 | 2.8315 | -0.0082 |
| NUMERO ESTRUCTURAL (SN) | | | | | |
| Diseño | | Existente | | Requerido | |
| 1.005 | | 0.00 | | 1.005 | |
| ALTERNATIVA DE DISEÑO | | Coef./cm. | Espesor (cm.) | SN | Remanente |
| Mezcla Asfáltica | | 0.17 | 0.0 | 0 | 1.005 |
| Base Negra | | 0.082 | 0.0 | 0 | 1.005 |
| Base | | 0.03 | 10.0 | 0.3 | 0.705 |
| Sub - Base | | 0.03 | 25.0 | 0.75 | -0.045 |
| Espesor Total (cm.) | | | 35.0 | | |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 63: Pavimento – Alternativa N° 03 – Sectores 01 y 02.

| Estructura del Pavimento | Espesor (cm.) |
|---------------------------------|---------------|
| Imprimación Asfáltica | — |
| Base A-2-4(0), CBR = 13% | 10.0 |
| Sub – Base, A-2-4(0), CBR = 13% | 25.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

De los cuadros se observa que para mantener la geometría de la vía se tendrá que cortar y eliminar 10cm. de la subrasante.

- Alternativa N° 04: Se realiza tratamiento con aditivo estabilizador a la subrasante y se utiliza material de cantera de arena limosa y grava traída de Aguaytia – Pucallpa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia.

Tabla 64: Número estructural – Alternativa N° 04 – Sectores 01 y 02.

| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL} | | | | | |
|---|---|--------------------------------------|-------------|--------|---------|
| Proyecto | Estudio de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes. | | | | |
| Carretera | Contamana - Aguas Calientes(18Km.) | | | | |
| Sector | 01 y 02 | | | | |
| INGRESO DE DATOS | | | | | |
| Proyección | 5 años | | | | |
| W18 : | 53,348 | | | | |
| ZR : | -1.037 | | | | |
| So : | 0.35 | | | | |
| Po : | 4.0 | | | | |
| Pt : | 2.0 | | | | |
| CBR de diseño : | 40.00 | | | | |
| Mrsr (psi) : | 34810 | (Instituto de Aeronáutica de Brasil) | | | |
| DETERMINACIÓN DE CONSTANTES | | | | | |
| K1 | K2 | K3 | K1-K3 | | |
| 13.36006885 | -0.130333768 | 10.53674579 | 2.823323057 | | |
| ITERACIÓN | SN | J1 | J2 | J1+J2 | CONTROL |
| 1 | 1.000 | 2.8176 | -0.0043 | 2.8133 | 0.0100 |

| | | | | | |
|--------------------------------|-------|------------------|----------------------|------------------|------------------|
| 2 | 1.001 | 2.8197 | -0.0043 | 2.8154 | 0.0080 |
| 3 | 1.002 | 2.8217 | -0.0043 | 2.8174 | 0.0059 |
| 4 | 1.003 | 2.8237 | -0.0043 | 2.8194 | 0.0039 |
| 5 | 1.004 | 2.8258 | -0.0043 | 2.8214 | 0.0019 |
| 6 | 1.005 | 2.8278 | -0.0043 | 2.8234 | -0.0001 |
| 7 | 1.006 | 2.8298 | -0.0044 | 2.8255 | -0.0021 |
| 8 | 1.007 | 2.8318 | -0.0044 | 2.8275 | -0.0042 |
| 9 | 1.008 | 2.8339 | -0.0044 | 2.8295 | -0.0062 |
| 10 | 1.009 | 2.8359 | -0.0044 | 2.8315 | -0.0082 |
| NUMERO ESTRUCTURAL (SN) | | | | | |
| Diseño | | Existente | | Requerido | |
| 1.005 | | 0.00 | | 1.005 | |
| ALTERNATIVA DE DISEÑO | | Coef./cm. | Espesor (cm.) | SN | Remanente |
| Mezcla Asfáltica | | 0.17 | 0.0 | 0 | 1.005 |
| Base Negra | | 0.082 | 0.0 | 0 | 1.005 |
| Base | | 0.06 | 5.0 | 0.3 | 0.705 |
| Sub - Base | | 0.06 | 10.0 | 0.6 | 0.105 |
| Espesor Total (cm.) | | | 15.0 | | |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 65: Pavimento – Alternativa N° 04 – Sectores 01 y 02.

| Estructura del Pavimento | Espesor (cm.) |
|---------------------------------|---------------|
| Imprimación Asfáltica | --- |
| Base A-2-4(0), CBR = 80% | 5.0 |
| Sub – Base, A-2-4(0), CBR = 80% | 10.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

No se necesita realizar ningún corte al material subrasante.

- Alternativa N° 05: Se realiza tratamiento con aditivo estabilizador a la subrasante, recubriéndola con geomalla y/o geotextil. Además se emplea el material de cantera de arena limosa, estabilizada con aditivo. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia.

Tabla 66: Número estructural – Alternativa N° 05 – Sectores 01 y 02.

| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 93 ^{WGL} | | | | | |
|---|---|--------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Proyecto | Estudio de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes. | | | | |
| Carretera | Contamana - Aguas Calientes(18Km.) | | | | |
| Sector | 01 y 02 | | | | |
| INGRESO DE DATOS | | | | | |
| Proyección | 3.5 años | | | | |
| W18 : | 39,415 | | | | |
| ZR : | -1.037 | | | | |
| So : | 0.35 | | | | |
| Po : | 4.0 | | | | |
| Pt : | 2.0 | | | | |
| CBR de diseño : | 40.00 | | | | |
| Mrsr (psi) : | 34810 | (Instituto de Aeronáutica de Brasil) | | | |
| DETERMINACIÓN DE CONSTANTES | | | | | |
| K1 | K2 | K3 | K1-K3 | | |
| 13.22861279 | -0.130333768 | 10.53674579 | 2.691867006 | | |
| ITERACIÓN | SN | J1 | J2 | J1+J2 | CONTROL |
| 1 | 0.936 | 2.6854 | -0.0036 | 2.6818 | 0.0101 |
| 2 | 0.937 | 2.6875 | -0.0036 | 2.6839 | 0.0080 |
| 3 | 0.938 | 2.6896 | -0.0037 | 2.6860 | 0.0059 |
| 4 | 0.939 | 2.6917 | -0.0037 | 2.6881 | 0.0038 |
| 5 | 0.940 | 2.6938 | -0.0037 | 2.6902 | 0.0017 |
| 6 | 0.941 | 2.6959 | -0.0037 | 2.6922 | -0.0004 |
| 7 | 0.942 | 2.6980 | -0.0037 | 2.6943 | -0.0025 |
| 8 | 0.943 | 2.7001 | -0.0037 | 2.6964 | -0.0045 |
| 9 | 0.944 | 2.7022 | -0.0037 | 2.6985 | -0.0066 |
| 10 | 0.945 | 2.7043 | -0.0037 | 2.7006 | -0.0087 |
| NUMERO ESTRUCTURAL (SN) | | | | | |
| Diseño | | Existente | | Requerido | |
| 0.941 | | 0.00 | | 0.941 | |
| ALTERNATIVA DE DISEÑO | | Coef./cm. | Espesor (cm.) | SN | Remanente |

| | | | | |
|----------------------------|-------|------|-----|--------|
| Mezcla Asfáltica | 0.17 | 0.0 | 0 | 0.941 |
| Base Negra | 0.082 | 0.0 | 0 | 0.941 |
| Base | 0.04 | 10.0 | 0.4 | 0.541 |
| Sub - Base | 0.04 | 15.0 | 0.6 | -0.059 |
| Espesor Total (cm.) | | 25.0 | | |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Tabla 67: Pavimento – Alternativa N° 05 – Sectores 01 y 02.

| Estructura del Pavimento | Espesor (cm.) |
|---------------------------------|---------------|
| Imprimación Asfáltica | — |
| Base A-2-4(0), CBR = 26% | 10.0 |
| Sub – Base, A-2-4(0), CBR = 26% | 15.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

No se necesita realizar ningún corte al material subrasante.

Método NAASRA

El método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities) es recomendado por el Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

De acuerdo a este manual, la vía es un camino con superficie estabilizada con materiales industriales y por el tipo de suelo natural a emplear será el de tipo 2.

Por lo obtenido en el anteriormente el tráfico de la carretera será del tipo T1. Además por el resultado obtenido del valor de CBR para cada sector, la categoría del suelo subrasante será S1.

Entonces de acuerdo al método NAASRA el espesor del revestimiento granular afirmado estará en función del CBR de la subrasante y del Número de Ejes Equivalentes proyectado para la carretera.

$$e = [219 - 211 * (\log_{10} \text{CBR}) + 58 * (\log_{10} \text{CBR})^2] * \log_{10} * (\text{Nrep} / 120)$$

Donde: e : Espesor de afirmado en mm.
CBR : Valor de CBR de la subrasante.
Nrep : Numero de Ejes Equivalentes.

Por tanto, el espesor de la estructura del pavimento para las alternativas que contemplan el empleo de material granular será la que se muestra en la tabla.

Tabla 68: Espesor de material granular – Método NAASRA.

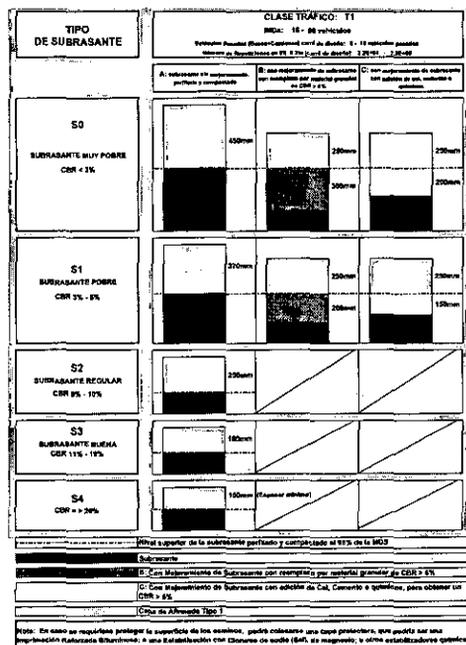
| Alternativa | Valores | | |
|-------------|---------|-------|--------|
| | CBR (%) | Nrep, | e(cm.) |
| 02 | 4.5 | 53348 | 30.000 |
| 04 | 40 | 53348 | 10.000 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

El material del revestimiento corresponderá al de tipo granular, con índice de plasticidad menor o igual a 9

Además la estructura del pavimento estará en función a lo indicado en el gráfico.

Figura 21: Catálogo de capas de revestimiento granular.



Fuente: Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito – MTC, 2006.

Tabla 69: Pavimento – Método NAASRA.

| Estructura del Pavimento | Alternativa | |
|--------------------------|-------------|------|
| | 02 | 04 |
| Imprimación Asfáltica | --- | --- |
| Base Granular (cm.) | 30.0 | 10.0 |
| Sub-Base Mejorada (cm.) | 15.0 | 15.0 |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

De la estructura de pavimento obtenida para cada método y alternativa, tenemos el siguiente cuadro de resumen.

Tabla 70: Comparación de metodologías de diseño.

| Estructura del Pavimento | Método | Alternativa | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-------------|------|--------|------|--------|------|--------|-----|--------|-----|
| | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | 05 | |
| | | Sector | | Sector | | Sector | | Sector | | Sector | |
| | | 01 | 02 | 01 | 02 | 01 | 02 | 01 | 02 | 01 | 02 |
| Imprimación Asfáltica (cm.) | AASHTO | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | NAASRA | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Base (cm.) | AASHTO | 30.0 | 30.0 | 10.0 | 10.0 | 5.0 | 10.0 | --- | --- | --- | --- |
| | NAASRA | --- | --- | 30.0 | --- | 10.0 | --- | --- | --- | --- | --- |
| Sub – Base (cm.) | AASHTO | 50.0 | 45.0 | 30.0 | 25.0 | 10.0 | 15.0 | --- | --- | --- | --- |
| | NAASRA | --- | --- | 15.0 | --- | 15.0 | --- | --- | --- | --- | --- |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

Una vez planteado las alternativas del diseño de pavimentos se opta por la alternativa 5 debido a que es la más económica, como se verá en el capítulo 5, Además de ser la que constructivamente será más simple y de un control rutinario, los requisitos de resistencia se plantean en la tabla 67.

3.8.6. EVALUACIÓN DE FUENTES DE AGUA.

El control de calidad estará en función del uso que se le va dar al agua. Para el proyecto se emplearán dos tipos de obras: estabilización y concreto hidráulico.

Las especificaciones a emplear son las establecidas por el Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

- **Estabilización:**

Tabla 71: Especificaciones técnicas de estabilización para el agua.

| Ensayo | Parámetro |
|--------------------------------------|-----------|
| Materia Orgánica (ppm.) | 0.00 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 5.5 – 8.0 |
| Sulfatos (SO ₄) (gr/lit) | 1.00. |

Fuente: Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito – MTC, 2006.

- **Concreto Hidráulico**

Tabla 72: Especificaciones técnicas de concreto hidráulico para el agua.

| Ensayo | Parámetro |
|------------------------------------|-----------|
| Cloruros (ppm.) | 300.0 |
| Sulfatos (SO ₄) (ppm.) | 200.0 |
| Sólidos en Suspensión (ppm.) | 10 |
| Materia Orgánica (ppm.) | 0.001 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 6.0 – 8.0 |

Fuente: ACI – Perú.

De los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para las fuentes de agua se procede a verificar con las especificaciones técnicas establecidas en las normas.

Tabla 73: Verificación de la calidad de las fuentes de agua.

| Fuentes de Agua | Análisis Químico | | | | | |
|-----------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
| | Sólidos en Suspensión (ppm.) | Materia Orgánica (ppm.) | Alcalinidad (ppm.) | Sulfatos (ppm.) | Potencial de Hidrogeno (pH) | Cloruros (ppm.) |
| F - 01 | 33.50 | 0.00 | 77.00 | 33.00 | 6.79 | 14.00 |
| F - 02 | 43.00 | 0.00 | 79.00 | 40.10 | 6.85 | 16.50 |
| F - 03 | 24.00 | 0.00 | 81.00 | 18.30 | 7.01 | 8.10 |
| F - 04 | 26.00 | 0.00 | 83.00 | 21.70 | 7.03 | 8.50 |
| Cumple | NO | SI | — | SI | SI | SI |

*Fuente Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana.

3.9. ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE.

La sub rasante está conformada por 2 sectores bien definidos el primero va desde el Km 0+000 al Km 14+400, con un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH) y un CBR de 4.20 y el segundo desde el Km 14+400 al Km 18+200, con un suelo arenoso limoso (SM) y un CBR de 4.50, como se indica en la tabla 50.

Sin embargo existen sectores en los que el valor del CBR es menor que el CBR de diseño, en estos sectores se plantea el empleo de una geomalla como refuerzo y un geotextil con el fin de impedir la migración de finos entre las capas.

Tabla 74: Sectores de refuerzo de subrasante.

| Ubicación (Km.) | CBR (%) | CBR Diseño (%) | Longitud (m) |
|-----------------|---------|----------------|--------------|
| 00+600 | 3.8 | 4.2 | 196.26 |
| 02+100 | 3.82 | 4.2 | 124.92 |
| 04+300 | 3.93 | 4.2 | 68.98 |
| 10+000 | 3.59 | 4.2 | 31.66 |
| 12+800 | 3.87 | 4.2 | 51.86 |
| 15+200 | 4.03 | 4.5 | 47.72 |
| 15+800 | 4.38 | 4.5 | 74.83 |
| 16+200 | 3.9 | 4.5 | - |
| 16+300 | 4.38 | 4.5 | 163.34 |

*Fuente elaboración propia.

En total estos sectores comprenden 760m.

3.10. ESTABILIZACIÓN DE LA SUB BASE Y BASE.

Las fuentes de materiales existentes en la carretera son dos una cantera de arena y la otra de arcilla, con las que se debe de conformar la sub base y base, por tal motivo se hace necesario el empleo de agentes estabilizadores como la cal, cemento o asfalto según convenga de acuerdo con sus características de resistencia y facilidades en sus procesos constructivos.

Para el nivel de sub base se planteo el uso de cal y cemento como agentes estabilizadores, dejando al asfalto para su empleo en la base debido a su color negro quedaría una impresión de una superficie asfaltada.

3.10.1. ESTABILIZACIÓN CON CAL.

Como primer paso se seleccionara la cantera a usar, de acuerdo con las propiedades físicas obtenidas en el laboratorio de cada una de las canteras y de los requisitos de aplicabilidad de cal en el capítulo 2.

Tabla 75: Selección de cantera.

| Cantera | Progresiva (Km.) | Clasificación | | Propiedades físicas | | Requisitos de la cal | |
|---------|---------------------|---------------|-----------|---------------------|--------|----------------------|-----------|
| | | SUCS | AASHTO | Pasa No 200 | IP (%) | Pasa No 200 (35%<) | IP (15%<) |
| Arena | 11 + 200 | SM | A-2-4(0) | 24 | NP | no | no |
| Arcilla | 8 + 900 | CH | A-7-6(17) | 94 | 31 | si | si |

*Fuente, elaboración propia.

De la tabla anterior se establece que la cantera más apropiada para la estabilización con cal es la cantera de arcilla (Km 8+900).

Una vez establecida la cantera a usar se procede a la pre dosificación como se indica en el capítulo 2, ingresando en el ábaco de Mc Dowell con el IP (31 para esta cantera) y el porcentaje que pasa la malla n° 40 (98.5%)

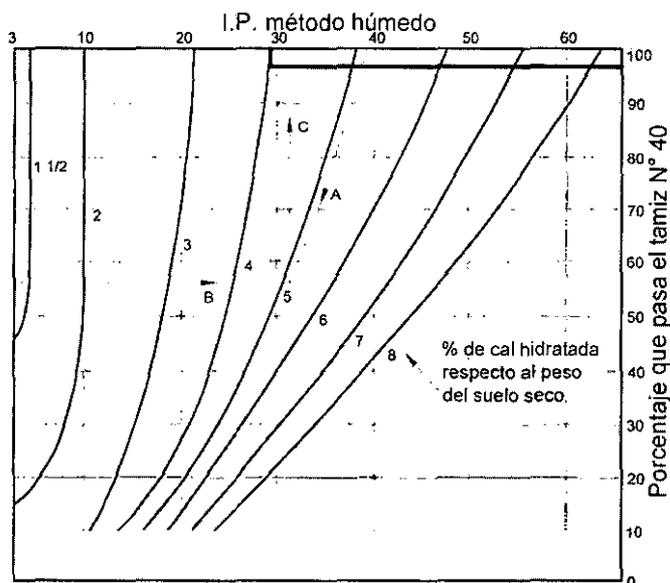


Figura 22: Pre dosificación de cal.

Del grafico anterior se establece que la pre dosificación de cal es de 4% en peso.

Con la pre dosificación establecida se procede a establecer un rango de valores que para nuestro caso serán 2, 4 y 6% en peso del suelo.

Como se indico en la tabla 3, se realizaron todos los ensayos planteados en esta.

Granulometría, Límites y Clasificación.

Se procedieron a realizar estos ensayos con 2, 4 y 6 % en peso de cal hidratada, mezclada con el óptimo contenido de humedad y luego secadas en horno a 60°C para el desarrollo de las granulometrías y límites.

Proctor modificado y Capacidad de soporte de california (CBR).

Debido a la poca cantidad de muestra extraídas de las canteras debido a la lejanía del la carretera, se omitió el ensayo de Proctor modificado, para todos los casos se consideraron que la máxima densidad y el optimo contenido de humedad permanecen constantes.

Esto además nos lleva a factores de seguridad mayores debido que al compactar las muestras a una menor densidad de la que puede lograr la resistencia a la compresión no confinada, así como la capacidad de soporte aumentan.



Foto N° 13: Moldeo de ensayo para el ensayo CBR.

Para el ensayo del CBR se procedió a seguir lo establecido en la norma MTC E 132-200.

- Se conformo solo un molde por cada una de las proporciones planteadas (debido a la cantidad de muestra), el molde conformado es de 56 golpes.
- Se saturó la muestra por un periodo de 4 días en los cuales se registro su grado de compactación.

- Finalmente se registro el grado de resistencia a la penetración en la prensa CBR.

Compresión no confinada.

Para el ensayo de compresión se planteo inicialmente el moldeado en cilindros pequeños de 4cm de alto por 2 de diámetro los cuales al ser sumergidos se deterioraron rápidamente al estar mal compactados. Al ser muy pequeños la compactación no se puede controlar de manera adecuada.

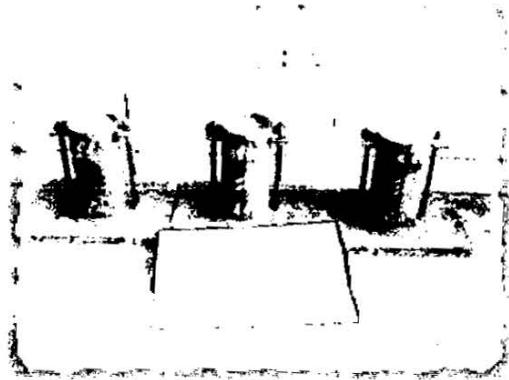


Foto N° 14: Probetas para compresión simple.

Al tener estos resultados se optó por ejecutar las probetas para compresión simple en los moldes de Proctor modificado método A y extrayéndolos del mismo mediante un procedimiento mecánico, la cual se dejo curara por 7 días, estos fueron ensayados usando el equipo de compresión no confinada del laboratorio de mecánica de suelos de la UNI.



Foto N° 15: Probetas para compresión simple con 6% de Cal Hidratada, extraída con gata.

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 4.0plg. de diámetro y de 4.5plg de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1.15.

Tabla 76: Resumen de Material de Cantera más % de cal.

| Progresiva | % de Cal | L.L. | L.P. | I.P. | Clasificación | | Proctor Modific. | | Compresión (Mpa) | CBR 100% | Expansión (%) |
|------------|----------|------|------|------|---------------|-----------|------------------------------|------------|------------------|----------|---------------|
| | | | | | SUCS | AASHTO | M.D.S. (gr/cm ³) | O.C.H. (%) | | | |
| 08+900 | 0.0 | 60 | 29 | 31 | CH | A-7-6(17) | 1.789 | 15.2 | - | 8.0 | 6.3 |
| 08+900 | 2 % | 51 | 36 | 15 | MH | A-7-5(4) | - | - | 1.1 | 12.9 | 4.8 |
| 08+900 | 4 % | 49 | 41 | 8 | ML | A-5(9) | - | - | 1.4 | 19.4 | 1.5 |
| 08+900 | 6 % | 51 | 44 | 7 | MH | A-5(6) | - | - | 1.6 | 28.5 | 0.1 |

*Fuente elaboración propia.

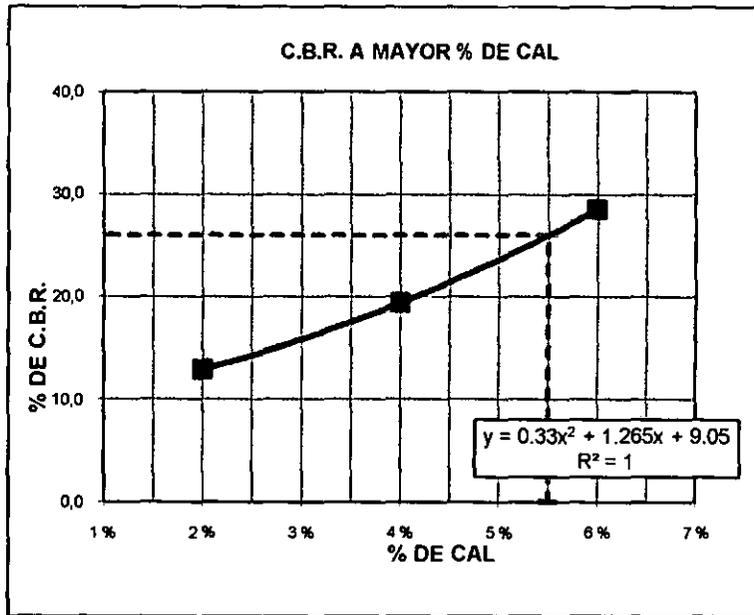


Figura 23: CBR a mayor % de Cal Hidratada.

Los requerimientos del diseño de pavimento dice que para el nivel de sub base se requiere de un CBR mayor al 26%, del grafico anterior se obtiene que para este porcentaje el porcentaje de cal hidratada es de 5.5%, como recomendación se plantea que para evitar problemas constructivos se debe agregar un 0.5% mas, por lo tanto se calcula que el óptimo contenido de cal hidratada es 6%.

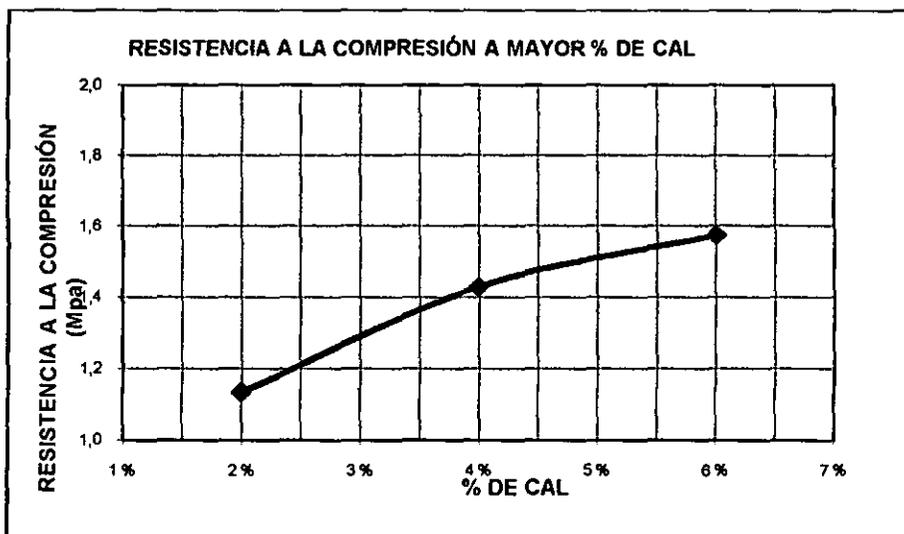


Figura 24: Resistencia a la compresión a mayor % de Cal Hidratada.

Se aprecia que para un 6% de cal, la resistencia obtenida es de 1.5Mpa.

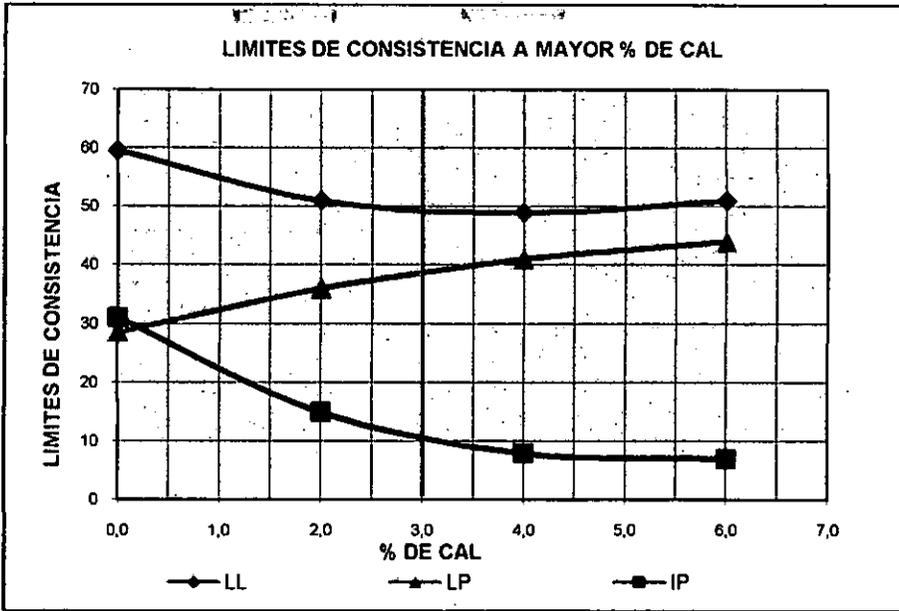


Figura 25: Límites de Consistencia a mayor % de Cal Hidratada.

En la figura anterior se confirma lo anunciado por la teoría.

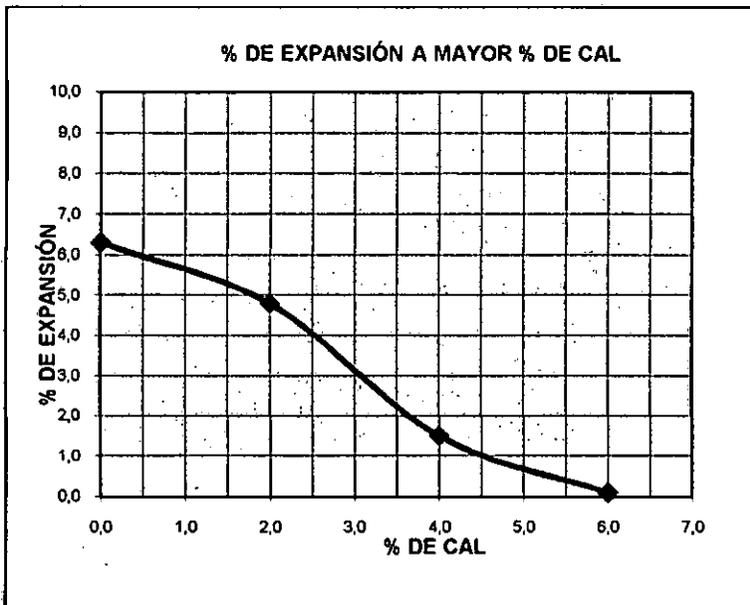


Figura 26: % de Expansión a mayor % de Cal Hidratada.

En la figura anterior se aprecia que el valor de la expansión disminuye hasta llegar a cero con un 6%, después de 4 días de fraguado.

3.10.2. ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO PORTLAND.

El diseño de estabilización de suelos mediante cemento tipo portland se puede realizar por resistencia o por durabilidad, esta ultima hace que tenga mayor contenido de cemento y por ende mayor resistencia y rigidez pero menor flexibilidad que la hace poco aplicable en esta zonas debido a la naturaleza de la sub rasante, además cuando mayor es el contenido de cemento este tiene a fisurarse.

Por tal motivo esta investigación se centra al diseño de mezcla por resistencia.

Como primer paso se seleccionara la cantera a usar, de acuerdo con las propiedades físicas obtenidas en el laboratorio de cada una de las canteras y de los requisitos de aplicabilidad del cemento en el capítulo 2.

Tabla 77: Selección de cantera.

| Cantera | Progresiva (Km.) | Clasificación | | Análisis Físico | | | | Análisis Químico | | | Requisitos del Cemento | | | |
|---------|------------------|---------------|-----------|-----------------|-------------|--------|--------|------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|--------------------|----------|----------|
| | | SUCS | AASHTO | Pasa No 04 | Pasa No 200 | LL (%) | IP (%) | Cloruros (ppm.) | Sulfatos (ppm.) | Sales solubles (ppm.) | Pasa No 4 (50-100) | Pasa No 200 (5-35) | LL (<40) | IP (<15) |
| Arena | 11 + 200 | SM | A-2-4(0) | 100 | 24 | --- | NP | 16.5 | 170.3 | 365.0 | si | si | si | si |
| Arcilla | 8 + 900 | CH | A-7-6(17) | 100 | 94 | 60 | 31 | 13.2 | 195.91 | 255.75 | si | no | no | no |

*Fuente, elaboración propia.

De la tabla anterior se establece que la cantera más apropiada para la estabilización con cemento es la cantera de arena (Km 11+200).

Una vez establecida la cantera a usar se procede a la pre dosificación como se indica en el capítulo 2, se seguirán las recomendaciones indicadas por diversas instituciones en función del tipo de suelo.

Tabla 78: Pre dosificación de % de Cemento.

| Tipo de Suelo | Método PCA | Usace | España | Instituto Mexicano del Transporte | Manual de Carreteras de Bajo Tránsito del Perú |
|---------------|------------|-------|--------|-----------------------------------|--|
| SM, A-2-4(0) | 7 | 7 | 3 | 7-11 | 5-9 |

*Fuente elaboración propia.

Tanto en el Salvador como en Colombia, no existe en su normativa un porcentaje mínimo para el diseño de suelo cemento, así como en España todo tipo de suelo se debe de iniciar con 3 por ciento.

De la tabla anterior se establece que la pre dosificación del cemento será de 7%.

Con la pre dosificación establecida se procede a establecer un rango de valores que para nuestro caso serán 5, 10 y 15% en peso del suelo, se escogió un intervalo amplio con el fin de tener un mayor espectro de valores.

Como se indico en la tabla 8, se realizaron todos los ensayos planteados en esta.

Proctor modificado y Capacidad de soporte de california (CBR).

Debido a la poca cantidad de muestra extraídas de las canteras debido a la lejanía del la carretera, se omitió el ensayo de Proctor modificado, para todos los casos se consideraron que la máxima densidad y el optimo contenido de humedad permanecen constantes.

Esto además nos lleva a factores de seguridad mayores debido que al compactar las muestras a una menor densidad de la que puede lograr la resistencia a la compresión no confinada, así como la capacidad de soporte aumentan.

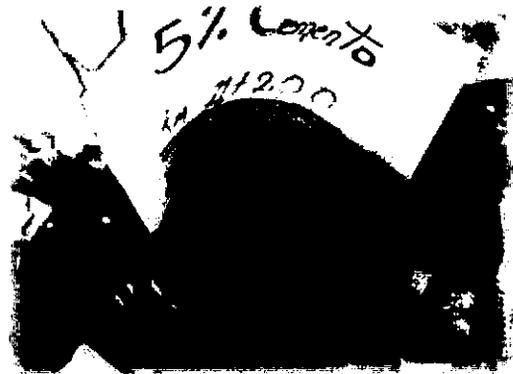


Foto N° 16: Moldeo de ensayo para el ensayo CBR.

Para el ensayo del CBR se procedió a seguir lo establecido en la norma MTC E 132-200.

- Se conformo solo un molde por cada una de las proporciones planteadas (debido a la cantidad de muestra), el molde conformado es de 56 golpes.

- Se saturo la muestra por un periodo de 4 días en los cuales se registro su grado de compactación.
- Finalmente se registro el grado de resistencia a la penetración en la prensa CBR.

Compresión no confinada.

Las probetas para compresión simple en los moldes de Proctor modificado método A y extrayéndolos del mismo mediante un procedimiento mecánico, la cual se dejo curara por 7 días, estos fueron ensayados usando el equipo de compresión no confinada del laboratorio de mecánica de suelos de la UNI, este ensayo se realizo siguiendo proporcionalmente a lo indicado en la norma MTC E 1103-2000.

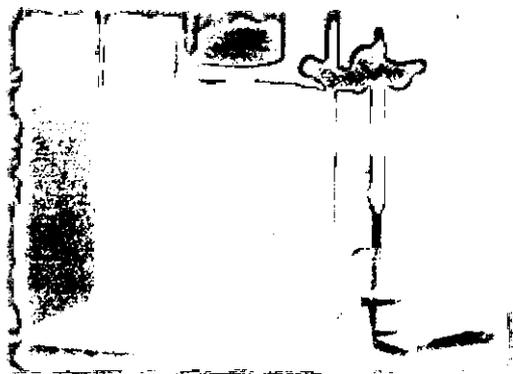


Foto N° 17: Probetas para compresión simple con 10% de Cemento.

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 4.0plg. de diámetro y de 4.5plg de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1.15.

Tabla 79: Resumen de Material de Cantera más % de Cemento.

| Progresiva | % de Cemento | L.L. | L.P. | I.P. | Clasificación | | Proctor Modific. | | Compresión (Mpa) | CBR 100% | Expansión (%) |
|------------|--------------|------|------|------|---------------|----------|--|------------|------------------|----------|---------------|
| | | | | | SUCS | AASHTO | M.D.S ₃ (gr/cm ³) | O.C.H. (%) | | | |
| 11+200 | 0.0 | - | NP | NP | SM | A-2-4(0) | 1.771 | 17.0 | - | 18.1 | 0.0 |
| 11+200 | 5 % | - | - | - | - | - | - | - | 2.3 | 100.0 | 0.0 |
| 11+200 | 10 % | - | - | - | - | - | - | - | 2.4 | 100.0 | 0.0 |
| 11+200 | 15 % | - | - | - | - | - | - | - | 3.1 | 100.0 | 0.0 |

*Fuente elaboración propia.

Como se puede apreciar el valor de CBR para todos los porcentajes de cemento, es de 100%, esto es debido a que el cemento dada su naturaleza cristalina tiene mucha resistencia a la deformación axial lo cual hace que el CBR se incremente.

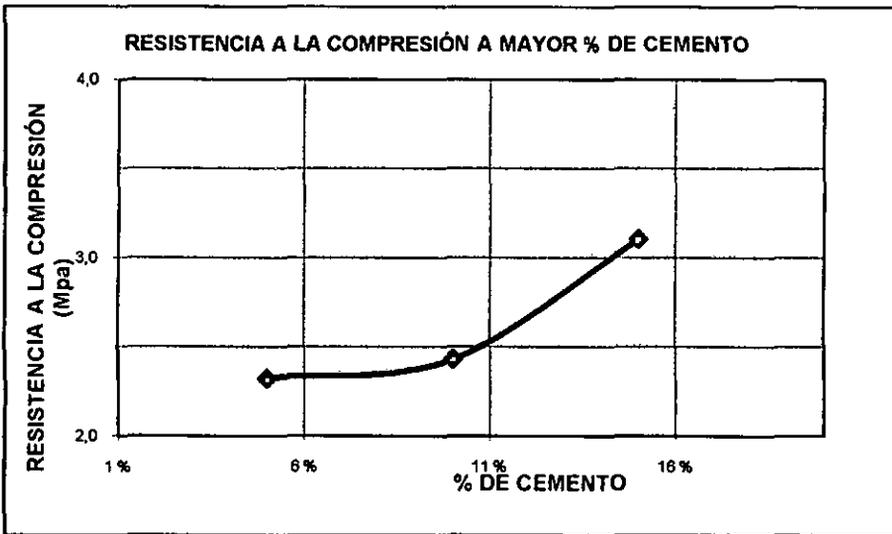


Figura 27: Resistencia a la compresión a mayor % de Cemento.

Como se aprecia que para un 5% de cemento, la resistencia obtenida es de 2.4Mpa.

3.10.3. ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO RC-250.

Como primer paso se seleccionara la cantera a usar, de acuerdo con las propiedades físicas obtenidas en el laboratorio de cada una de las canteras y de los requisitos de aplicabilidad del cemento en el capítulo 2.

Tabla 80: Selección de cantera.

| Progresiva (Km.) | Clasificación | | Análisis Físico | | | | | | Requisitos del Cemento | | | | |
|---------------------|---------------|-----------|-----------------|------------|-------------|--------|--------|--------|------------------------|---------------------|---------------------|----------|----------|
| | SUCS | AASHTO | Pasa No 04 | Pasa No 40 | Pasa No 200 | LL (%) | LP (%) | IP (%) | Pasa No 4 (50-100) | Pasa No 40 (35-100) | Pasa No 200 (10-35) | LL (<35) | IP (<15) |
| 11 + 200 | SM | A-2-4(0) | 100 | 99.7 | 24 | — | NP | NP | si | si | si | si | si |
| 8 + 900 | CH | A-7-6(17) | 100 | 98.5 | 94 | 60 | 29 | 31 | si | no | no | no | no |

*Fuente, elaboración propia.

De la tabla anterior se establece que la cantera más apropiada para la estabilización con asfalto RC-250 es la cantera de arena (Km 11+200).

Una vez establecida la cantera a usar se procede a la pre dosificación como se indica en el capítulo 2, se seguirán las recomendaciones indicadas por diversas instituciones en función del tipo de suelo.

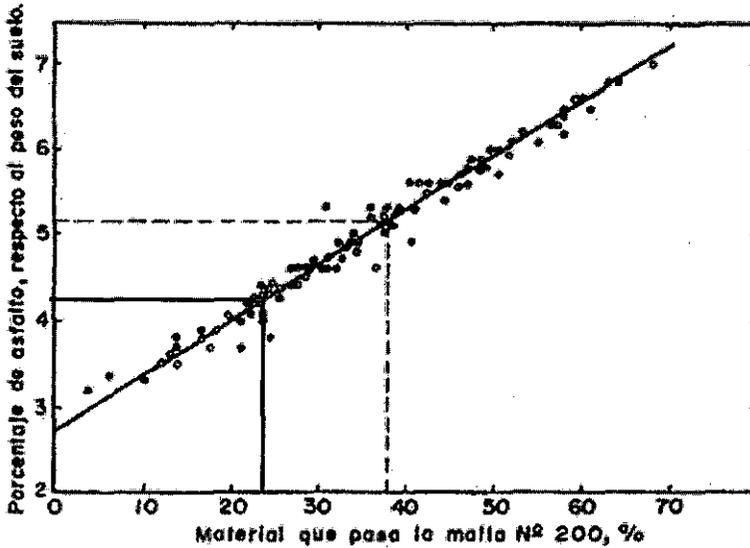


Figura 28: Estimación del porcentaje de Asfalto.

De la figura anterior se establece que la pre dosificación de asfalto es de 4.2%.

Aun cuando en la pre dosificación indicada por la bibliografía, se establece que el porcentaje de asfalto recomendado es de 4.2, se escogió un rango de valores inferior a esta debido principalmente a factores económicos, ya que se debe de disminuir el agente estabilizador debido a la lejanía de la carretera.

Timándose, el siguiente rango de valores: 1, 2 y 3% en peso del suelo, se escogió este intervalo con el fin de tener una estabilización más económica.

Así mismo se escogió como diluyente del asfalto, kerosene al 20%, calentándola a 60° C, como si fuera una imprimación.

Como se indicó en la tabla 10, se realizaron todos los ensayos planteados en esta.

Proctor modificado y Capacidad de soporte de california (CBR).

Para el ensayo del CBR se tomo molde solo el punto con 56 golpes del martillo, para luego ser curada durante 4 días, durante el cual se tomo lecturas de su expansión.

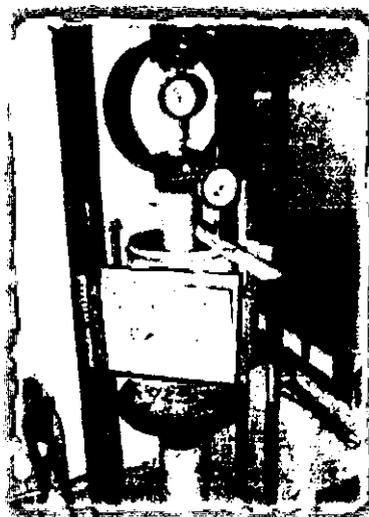


Foto N° 18: Ensayo de CBR con 3% de asfalto.

Cuando se estuvo ejecutando el ensayo se vio que el asfalto mejora la capacidad de soporte, y también disminuye la expansión.

Compresión no confinada.

De moldearon probetas para compresión simple en los moldes de Proctor modificado método A.

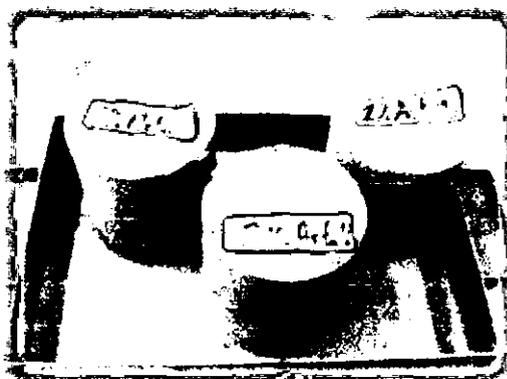


Foto N° 19: Probetas para compresión simple con Asfalto.

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 4.0plg. de diámetro y de 4.5plg de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1.15.

Tabla 81: Resumen de Material de Cantera más % de Asfalto.

| Progresiva | % de Asfalto | L.L. | L.P. | I.P. | Clasificación | | Proctor Modific. | | Compresión (Mpa) | CBR | Expansión (%) |
|------------|--------------|------|------|------|---------------|----------|------------------------------|------------|------------------|------|---------------|
| | | | | | SUCS | AASHTO | M.D.S. (gr/cm ³) | O.C.H. (%) | | 100% | |
| 11+200 | 0.0 | - | NP | NP | SM | A-2-4(0) | 1.771 | 17.0 | - | 18.1 | 0.0 |
| 11+200 | 1 % | - | - | - | - | - | - | - | 8.6 | 31.7 | 0.0 |
| 11+200 | 2 % | - | - | - | - | - | - | - | 11.7 | 35.4 | 0.0 |
| 11+200 | 3 % | - | - | - | - | - | - | - | 14.7 | 44.0 | 0.0 |

*Fuente elaboración propia.

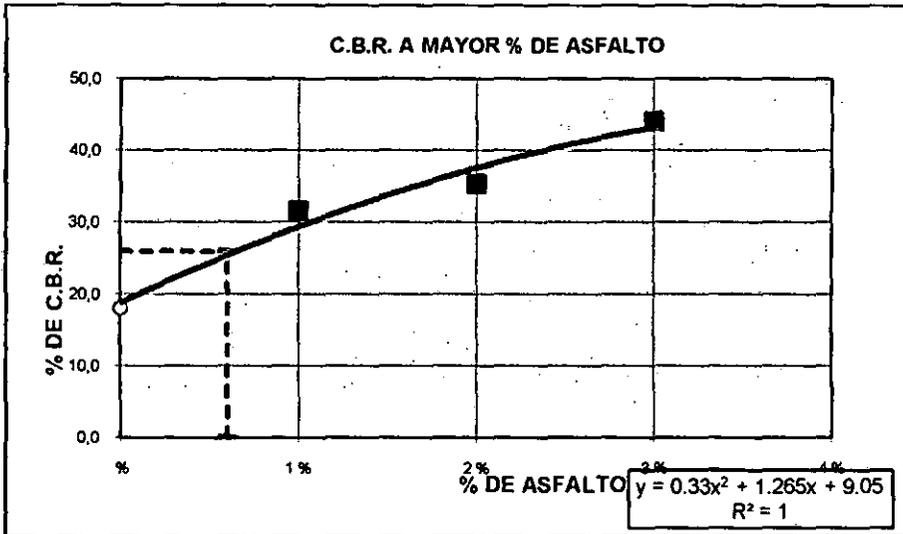


Figura 29: CBR a mayor % de Asfalto.

Los requerimientos del diseño de pavimento dice que para el nivel de sub base y base, se requiere de un CBR mayor al 26%, del grafico anterior se obtiene que para un porcentaje de asfalto es de 0.6%, como recomendación se plantea que para evitar problemas constructivos se debe agregar un 1% mas, por lo tanto se calcula que el óptimo contenido de asfalto es 2%.

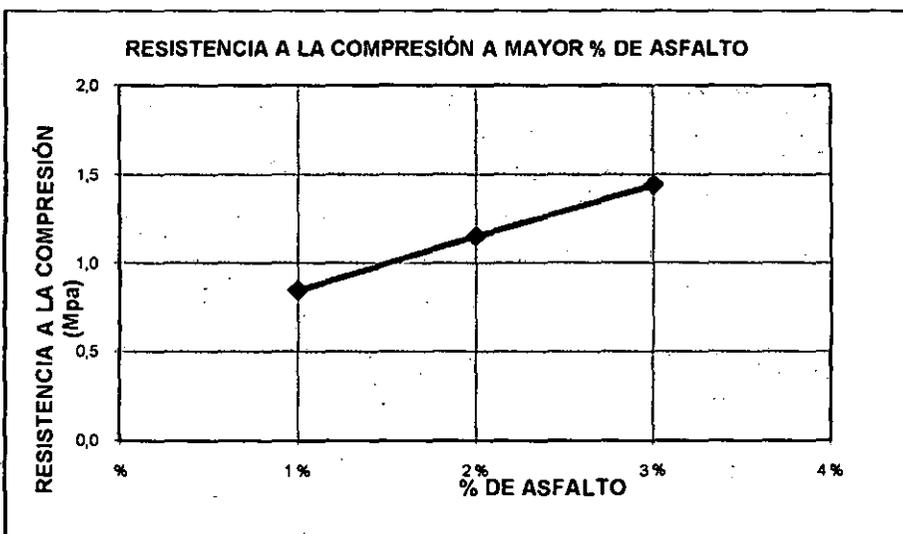


Figura 30: Resistencia a la compresión a mayor % de Asfalto.

Se aprecia que para un 1% de cal, la resistencia obtenida es de 0.9Mpa.

3.11. SUPERFICIE DE RODADURA.

Para la superficie de rodadura se escogió el empleo de un método llamado imprimación reforzada debido a que se ha visto buenos resultados en otros tramos carreteros como por ejemplo en la carretera Tarapoto Juanjui, Tramo Picota – Caspizapa, aun cuando esta carretera presenta un tráfico mucho mayor a la de Contamana Aguas Calientes.

Se denomina “Imprimación Reforzada Bituminosa”, al tratamiento superficial a “penetración directa” sobre la plataforma, la que previamente ha sido desagregada y acondicionada para facilitar un mayor descenso del líquido asfáltico de curado medio que se aplica en dos etapas, procediendo entre ambos riegos a la compactación de la capa superficial con o sin humedecimiento previo, según se considere necesario.

Se obtiene una capa de rodadura sumamente estable y donde el líquido asfáltico penetra más de media pulgada, resistiendo a las sollicitaciones de tránsito y conformando una superficie altamente impermeable.

La superficie asfáltica resulta altamente flexible y como tal se acomoda mejor a las deformaciones de la plataforma que cubre. No obstante, es necesario que el camino tenga adecuadas condiciones de drenaje superficial y sub drenaje, puesto que la inestabilidad que se origine también afectará a la superficie de rodadura³¹.

3.12. ANÁLISIS DE PAVIMENTO.

Una vez establecidos los espesores del pavimento así como los métodos de estabilización y los porcentajes de mezcla, se debe de verificar la resistencia a la flexión del conjunto debido a que la subrasante es un material predominantemente arcilloso, plástico y expansivo.

Con este fin se planifico un ensayo de laboratorio que permita recrear las condiciones de carga en su vida de útil.

³¹ (MTC, 2005)

3.12.1. ENSAYO DE FLEXIÓN.

Objetivo.

Conocer la resistencia a la flexión que un suelo estabilizado con cemento y asfalto, en su conjunto.

Fundamentos.

La alternativa 5 del diseño de pavimentos establece un espesor de 15cm para la sub base y de 10cm para la base, un total de 25cm.

Mediante una equivalencia geométrica con el ensayo de flexión para vigas de concreto NTP 339.078:2001.

Por las limitaciones de material se planteó una similitud geométrica, por lo que se estableció el alto de la viga en la quinta parte del espesor del pavimento, y cuya longitud se estableció en 10 veces el espesor de la viga, quedando la muestra con las dimensiones de 500x50x50mm.

Equipo.

Para llevar a cabo este ensayo, se diseño un molde, un esparcidor, un soporte para ensayo de flexión, una rotula y un equipo de compactación para moldear el espécimen a ser ensayado.

- Molde, consta de una base de 9mm, con 4 paredes metálicas de 5mm de espesor y 60mm de altura, que se unen entre sí con pernos en las esquinas, y se fija en la base con dos mariposas.

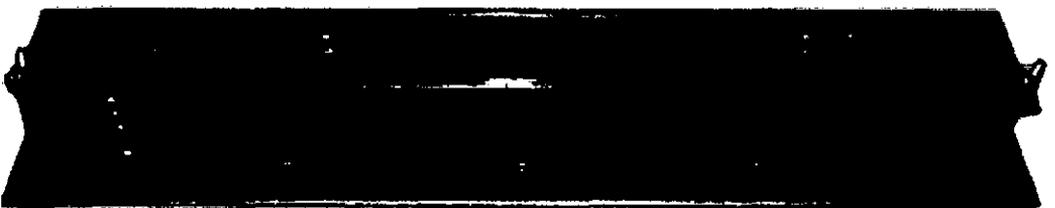


Foto N° 20: Molde.

- Esparcidor, mediante este equipo se esparce el material por capas de 1cm de espesor, de manera que la compactación sea uniforme.

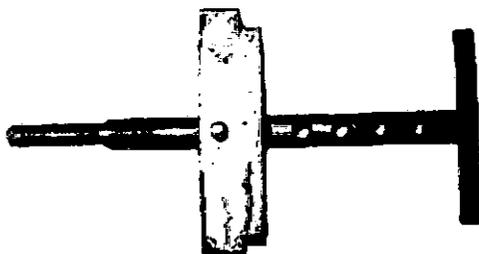


Foto N° 21: Esparcidor.

- Equipo de compactación, con el fin de simular el efecto de un rodillo vibratorio, este se conecta con el equipo CBR mediante una "Rotula", para así poder comprimir la muestra y logra compactarla.



Foto N° 22: Compactador.

- Soporte para flexión, está compuesta por una base con 2 apoyos distanciados 340mm y un punto de aplicación de la que se conecta con una "Rotula" en la máquina de compresión simple.



Foto N° 23: Soporte para ensayo de Flexión.

- Rotula, para asegurar que la carga se aplique en un punto y no con momentos, el contacto entre dos superficies una plana y la otra semi circular asegura este efecto.



Foto Nº 24: Rotula.

Los planos de todos los equipos de adjuntan en los anexos.

Procedimiento.

- Se verifica que todo el equipo esté completo y en orden antes de iniciar todos los trabajos.
- El molde debe de ser engrasado y unido mediante pernos.
- Se debe de pesar la muestra de suelo, cemento y asfalto (con 20% de kerosene), además el asfalto debe de calentarse a 60°C.
- Se debe mezclar el suelo con el cemento y agregar el agua hasta lograr el óptimo contenido de humedad.
- Se procede a colocar la primera capa de suelo con el estabilizante, y compactarla.

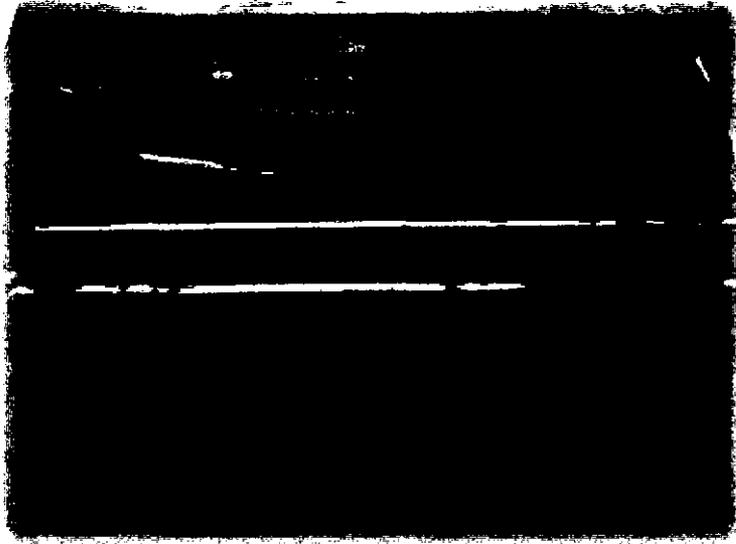


Foto N° 25: Primera capa del molde



Foto N° 26: Compactando.

- El procedimiento anterior se repite por cinco veces tres, para el suelo cemento y dos para el suelo asfalto.
- Luego se deja fraguar durante 24 horas.

- Se retira del molde y se coloca sobre el soporte para ensayo de flexión.

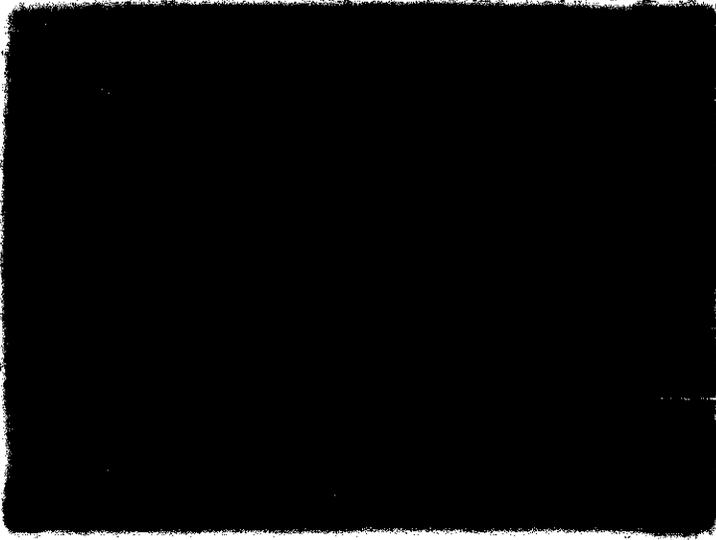


Foto N° 27: Espécimen prismático para ensayo de flexión

- Luego se coloca el conjunto en la máquina de compresión simple, y se coloca la rotula y el punto de contacto sobre la viga para poder ensayarla.

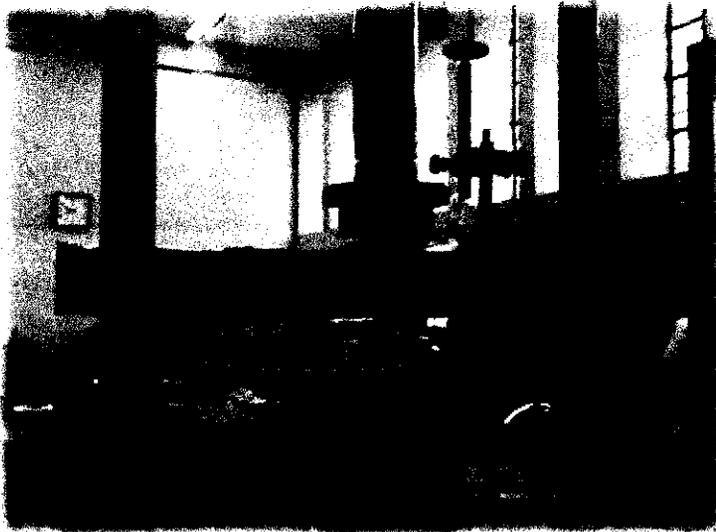


Foto N° 28: Compactando.

- Se procede a realizar la corrida de penetración hasta la falla.

Cálculos.

Se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

Donde:

R : Modulo de rotura, Mpa.

P : Máxima carga aplicada indicada por la maquina del ensayo, N.

l : Longitud de la luz, mm.

b : ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm.

d : altura promedio del espécimen el punto de la fractura, mm.

Resultados.

La deformación de rotura es de 5mm y la carga de rotura es de 28.68N, el modulo de rotura es 0.13Mpa.

Para vigas de concreto se sabe que la relación de resistencia a la compresión y carga de rotura en viga está en una relación de 10 a 1, en nuestro caso se verifico que esta se encuentra en un valor mayor de 12 a 1.

4.0 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Una vez que se cuenta con los espesores de pavimento, el tipo de aditivo estabilizador a usar y sus proporciones, para que sea traducido en una obra de ingeniería, se debe de plantear las especificaciones técnicas que regirán su construcción.

4.1. SUELO CEMENTO.

4.1.1. MATERIALES.

Suelos

El material por estabilizar con cemento deberá provenir de la cantera Km 11+200 o aquella con iguales propiedades físicas para lo cual deberá realizarse un nuevo diseño de mezcla.

Este material deberá cumplir los siguientes requisitos.

- (MTC E 118-2000) Contenido de Materia Orgánica menor a 2%.
- (MTC E 209-200) Resistencia a los sulfatos menor a 10%.
- (MTC E 110-200) Limite Liquido menor a 40
- (MTC E 111-200) Índice de plasticidad menor a 15.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasó la malla Nº 4 entre 50 y 100%.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 entre 5 y 35%.

Cemento.

El cemento para estabilización será del tipo Portland tipo I.

Agua.

El agua para estabilización deberá cumplir:

Tabla 82: Especificaciones técnicas de estabilización para el agua.

| Ensayo | Parámetro |
|-------------------------------------|-----------|
| Materia Orgánica (ppm.) | 0.00 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 5.5 – 8.0 |
| Sulfatos (SO ₄) (gr/lt) | 1.00. |

Fuente: Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito – MTC, 2006.

4.1.2. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Explotación de materiales.

Se limpiara la capa superior de la cantera hasta una profundidad de 0.20m para eliminar la capa vegetal.

La extracción de material se realizara con excavadora y se procederá a los controles de calidad para su colocación en pista.

Todos los trabajos de clasificación de estos materiales, deberán efectuarse en el sitio de explotación y no se permitirá ejecutarlos en la vía.

Puesto en pista.

Antes de aplicar el cemento, el suelo por tratar, se extenderá con motoniveladora en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los planos u ordenada por el Supervisor.

Durante la realización de este trabajo se tomaran las medidas para que el material particulado emitido a la atmósfera no pase el límite permisible. Con el fin de proteger la salud de las personas, estos realizarán el trabajo portando máscaras que protejan sus vías respiratorias.

Aplicación del cemento

El cemento podrá aplicarse en bolsas o a granel. En cualquier caso, se esparcirá sobre el suelo, de manera que se disperse la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar. 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.

Sobre el cemento esparcido sólo se permitirá el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el suelo.

El cemento sólo podrá extenderse en la superficie que pueda quedar terminada en la jornada de trabajo

Durante estas obras se tomará en cuenta que el cemento esparcido no pase del área de trabajo. Los residuos y excedentes se colocarán en lugares de disposición de desechos adecuados para este tipo de materiales.

Mezcla

Inmediatamente después de ser esparcido el cemento, se efectuará la mezcla, empleando motoniveladora, en todo el espesor establecido en los planos. El número de pasadas dependerá de lo establecido en el tramo de prueba y será el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se defina en una fase previa de prueba. En caso de que se requiera, se añadirá el agua faltante y se continuará mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La humedad de la mezcla deberá ser la óptima del ensayo Próctor Modificado, con una tolerancia de más o menos 1.5 por ciento.

Durante esta actividad se tendrá cuidado para evitar los derrames de material que pudieran contaminar fuentes de agua, suelos y flora cercana al lugar.

Compactación

Se empleara para la compactación un rodillo pata de cabra y un rodillo liso, se iniciara la compactación con el rodillo pata de cabra con el fin de llegar a un

adecuado nivel de compactación, inmediatamente después el rodillo liso iniciara el proceso de nivelado.

El proceso de compactación deberá ser tal, que evite la formación de una costra o capa superior delgada, débilmente adherida al resto del suelo estabilizado. En caso de que ella se produzca, deberá ser eliminada hasta obtener una capa uniforme y compacta, en todo el espesor proyectado.

Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de dos (2) horas desde el inicio de la mezcla. Si durante dicho plazo no se logran las condiciones de compactación exigidas más adelante (compactación) de esta especificación, el tramo se pondrá en observación y se considerará separadamente a los fines de los controles del Supervisor. La compactación deberá ser el 95% como mínimo, del ensayo Próctor Modificado.

Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de prueba, se compactarán con los medios que resulten adecuados para el caso, aprobados por el Supervisor, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos deberán cuidarse para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Al efecto, al término de la jornada de trabajo se formará una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Curado de la capa estabilizada

Terminada la conformación y compactación del suelo estabilizado con cemento, ésta deberá protegerse contra pérdidas de humedad por un periodo no menor de siete (3) días.

Apertura al tránsito

El suelo estabilizado con cemento sólo podrá abrirse al tránsito público y al de los equipos de construcción a los siete (3) días de su compactación.

Este se realizará con el fin de prefisurar el suelo cemento con el fin de no tener una estructura rígida sino una estructura flexible.

Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cemento sólo se podrán llevar a cabo cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella se produzca. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua de lluvia y como resultado de ello la humedad de la mezcla supere la tolerancia mencionada el Contratista deberá, a su costo, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del Supervisor.

4.1.3. ACEPTACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Los trabajos para su aceptación por el Supervisor estarán sujetos a lo siguiente:

Controles

Se deberá efectuar ensayos de control de mezcla-densidad y resistencia de la misma luego de compactada.

Calidad de los Materiales

(1) Calidad del cemento

Cada vez que lo considere necesario, el Supervisor efectuará los ensayos de control que permitan verificar la calidad del cemento, debiendo ser por lo menos a la llegada a obra de un lote y cada 50 bolsas de un apilamiento.

Por ningún motivo se permitirá el empleo del cemento endurecido o con fraguado prematuro o cuya fecha de vencimiento haya sido superada.

(2) Calidad del agua

Siempre se verificara la calidad del agua empleada, el Supervisor verificará su pH y su contenido de sulfatos.

(3) Calidad de los suelos.

Para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

La plasticidad de la fracción fina.

El contenido de sulfatos.

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los suelos y agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, o materia orgánica.

Además, podrá verificar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad de los suelos por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Calidad de la mezcla

(1) Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras diarias de la mezcla elaborada en la obra se moldearan probetas (tres por muestra) con la energía del ensayo de compactación para verificar en el laboratorio su resistencia a compresión simple luego de siete días de curado, de conformidad con el procedimiento realizado durante el diseño de la mezcla. La preparación de los testigos.

La resistencia media de las seis (6) o más probetas diarias (R_m) deben ser igual o superior al cien por ciento (100%) de la resistencia correspondiente al diseño presentado por el Contratista (R_d), conforme se describe en el aparte "Diseño Mezcla" de esta especificación.

$$R_m \geq R_d$$

A su vez, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o mayor al noventa y cinco por ciento (95%) del valor de diseño (R_d).

$$R_i \geq 0.95 R_d$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se rechazará el tramo al cual representan las muestras.

4.1.4. CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINANDO.

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se está construyendo, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Supervisor. La cota de cualquier punto de la capa compactada, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, el Supervisor deberá realizar los siguientes controles:

(1) Compactación

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se efectuarán con la frecuencia que se indica en la siguiente tabla y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se escogerán al azar.

Tabla 83: Frecuencias de Ensayos.

| Material o Producto | Propiedad y Características | Método de Ensayo MTC | Frecuencia (1) | Lugar del Muestreo |
|---|-----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| Suelo Estabilizado con Cemento Portland | Granulometría | MTC E 107 | 750 m ³ | Cantera |
| | Índice Plástico | MTC E 111 | 750 m ³ | Cantera |
| | Compresión Simple | Según Diseño. | 2 Muestras por día | Pista |
| | Compactación | MTC E 117 MTC E 124 | Cada 250 m ² | Pista |

*Fuente, EG-2000.

(1) O antes, si por su génesis existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico - mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad y/o característica.

La densidad será como mínimo el noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad máxima obtenida en el ensayo de compactación del diseño.

La densidad de las capas compactadas se determinará por el método del Cono de Arena.

(2) Espesor

Sobre la base de las perforaciones efectuadas para el control de la compactación, el Supervisor determinará el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed).

$$em \geq ed$$

Además el espesor obtenido en cada determinación individual (ei) deberá ser, por lo menos, igual al noventa y cinco por ciento (95%) del espesor de diseño (ed).

$$ei \geq 0.95 ed$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos trae como consecuencia el rechazo del tramo.

(3) Lisura

La superficie acabada no podrá presentar, en ningún punto irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3m) colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que señala el Supervisor, los cuales no podrán estar afectados por cambios de pendiente.

Todas las áreas de base estabilizada con cemento donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor y a plena satisfacción de éste.

Medición

La unidad de medida será de m³, de material o mezcla suministrada, colocada y compactada, a satisfacción del Supervisor. El volumen se determinará por el sistema de áreas extremas, utilizando las secciones transversales y de longitud real, medida a lo largo del eje del Proyecto. No se medirán cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones de la subrasante por parte del Contratista³².

4.1.5. SUELO ASFALTO RC-250.

4.1.6. MATERIALES.

Suelos

El material por estabilizar con cemento deberá provenir de la cantera Km 11+200 o aquella con iguales propiedades físicas para lo cual deberá realizarse un nuevo diseño de mezcla.

Este material deberá cumplir los siguientes requisitos.

³² (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2000)

- (MTC E 209-200) Resistencia a los sulfatos menor a 12%.
- (MTC E 110-200) Limite Liquido menor a 35
- (MTC E 111-200) Índice de plasticidad menor a 15.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 4 entre 50 y 100%.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 40 entre 35 y 100%.
- (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 entre 10 y 35%.

Asfalto.

El Asfalto para estabilización será un asfalto diluido RC-250 con un 20% de Kerosene.

Agua.

El agua para estabilización deberá cumplir:

Tabla 84: Especificaciones técnicas de estabilización para el agua.

| Ensayo | Parámetro |
|---|-----------|
| Materia Orgánica (ppm.) | 0.00 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 5.5 – 8.0 |
| Sulfatos (SO ₄ ⁻) (gr/lit) | 1.00. |

Fuente: Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito – MTC, 2006.

4.1.7. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Explotación de materiales.

Se limpiara la capa superior de la cantera hasta una profundidad de 0.20m para eliminar la capa vegetal.

La extracción de material se realizara con excavadora y se procederá a los controles de calidad para su colocación en pista.

Todos los trabajos de clasificación de estos materiales, deberán efectuarse en el sitio de explotación y no se permitirá ejecutarlos en la vía.

Puesto en pista.

Antes de aplicar el Asfalto, el suelo por tratar, se extenderá con motoniveladora en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los planos u ordenada por el Supervisor.

Durante la realización de este trabajo se tomarán las medidas para que el material particulado emitido a la atmósfera no pase el límite permisible. Con el fin de proteger la salud de las personas, estos realizarán el trabajo portando máscaras que protejan sus vías respiratorias.

Aplicación del Asfalto

El Asfalto RC250 se aplicará con un camión imprimador sobre el suelo, de manera que se disperse la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar. Durante la aplicación del Asfalto, 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.

Sobre el Asfalto esparcido sólo se permitirá el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el suelo.

El cemento sólo podrá extenderse en la superficie que pueda quedar terminada en la jornada de trabajo

Durante estas obras se tomará en cuenta que el cemento esparcido no pase del área de trabajo. Los residuos y excedentes se colocarán en lugares de disposición de desechos adecuados para este tipo de materiales.

Mezcla

Inmediatamente después de ser esparcido el cemento, se efectuará la mezcla, empleando motoniveladora, en todo el espesor establecido en los planos. El número de pasadas dependerá de lo establecido en el tramo de prueba y será el

necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se defina en una fase previa de prueba. En caso de que se requiera, se añadirá el agua faltante y se continuará mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La humedad de la mezcla deberá ser la óptima del ensayo Próctor Modificado, con una tolerancia de más o menos 1.5 por ciento.

Durante esta actividad se tendrá cuidado para evitar los derrames de material que pudieran contaminar fuentes de agua, suelos y flora cercana al lugar.

Compactación

Se empleara para la compactación un rodillo pata de cabra y un rodillo liso, se iniciara la compactación con el rodillo pata de cabra con el fin de llegar a un adecuado nivel de compactación, inmediatamente después el rodillo liso iniciara el proceso de nivelado.

El proceso de compactación deberá ser tal, que evite la formación de una costra o capa superior delgada, débilmente adherida al resto del suelo estabilizado. En caso de que ella se produzca, deberá ser eliminada hasta obtener una capa uniforme y compacta, en todo el espesor proyectado.

Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de dos (2) horas desde el inicio de la mezcla. Si durante dicho plazo no se logran las condiciones de compactación exigidas más adelante (compactación) de esta especificación, el tramo se pondrá en observación y se considerará separadamente a los fines de los controles del Supervisor. La compactación deberá ser el 95% como mínimo, del ensayo Próctor Modificado.

Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de prueba, se compactarán con los medios que resulten adecuados para el caso, aprobados por el Supervisor, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos deberán cuidarse para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Al efecto, al término de la jornada de trabajo se formará una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Curado de la capa estabilizada

Terminada la conformación y compactación del suelo estabilizado con Asfalto, ésta deberá protegerse contra pérdidas de humedad por un periodo no menor de siete (7) días, para luego colocar una imprimación reforzada.

Apertura al tránsito

El suelo estabilizado con cemento sólo podrá abrirse al tránsito público y al de los equipos de construcción a los siete (7) días de su compactación.

Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con Asfalto sólo se podrán llevar a cabo cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella se produzca. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua de lluvia y como resultado de ello la humedad de la mezcla supere la tolerancia mencionada el Contratista deberá, a su costo, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del Supervisor.

4.1.8. ACEPTACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Los trabajos para su aceptación por el Supervisor estarán sujetos a lo siguiente:

Controles

Se deberá efectuar ensayos de control de mezcla-densidad y resistencia de la misma luego de compactada.

Calidad de los Materiales

(1) Calidad del Asfalto

Cada tanque de asfalto deberá ingresar a obra con sus respectivos certificados de calidad emitidos por el fabricante.

(2) Calidad del agua

Siempre se verificara la calidad del agua empleada, el Supervisor verificará su pH y su contenido de sulfatos.

(3) Calidad de los suelos.

Para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

La plasticidad de la fracción fina.

El contenido de sulfatos.

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los suelos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, o materia orgánica.

Además, podrá verificar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad de los suelos por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Calidad de la mezcla

(1) Capacidad de soporte.

Con un mínimo de dos (2) muestras diarias de la mezcla elaborada en la obra se realizarán pruebas de capacidad de soporte (CBR)

El CBR media de las seis (6) o más pruebas diarias (CBRm) deben ser igual o superior al cien por ciento (100%) de la CBR de diseño presentado por el Contratista (CBRd), conforme se describe en el aparte "Diseño Mezcla" de esta especificación.

$$CBRm \geq CBRd$$

A su vez, CBR individual (CBRi) debe ser igual o mayor al noventa y cinco por ciento (95%) del valor de diseño (CBRd).

$$CBRi \geq 0.95 CBRd$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se rechazará el tramo al cual representan las muestras.

4.1.9. CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINANDO.

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se está construyendo, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Supervisor. La cota de cualquier punto de la capa compactada, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, el Supervisor deberá realizar los siguientes controles:

(1) Compactación

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se efectuarán con la frecuencia que se indica en la siguiente tabla y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se escogerán al azar.

Tabla 85: Frecuencias de Ensayos.

| Material o Producto | Propiedad y Características | Método de Ensayo MTC | Frecuencia (1) | Lugar del Muestreo |
|---|-----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| Suelo Estabilizado con Cemento Portland | Granulometría | MTC E 107 | 750 m ³ | Cantera |
| | Índice Plástico | MTC E 111 | 750 m ³ | Cantera |
| | Compresión Simple | Según Diseño. | 2 Muestras por día | Pista |
| | Compactación | MTC E 117 MTC E 124 | Cada 250 m ² | Pista |

*Fuente, EG-2000.

(1) O antes, si por su génesis existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico - mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad y/o característica.

La densidad será como mínimo el noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad máxima obtenida en el ensayo de compactación del diseño.

La densidad de las capas compactadas se determinará por el método del Cono de Arena.

(2) Espesor

Sobre la base de las perforaciones efectuadas para el control de la compactación, el Supervisor determinará el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed).

$$em \geq ed$$

Además el espesor obtenido en cada determinación individual (ei) deberá ser, por lo menos, igual al noventa y cinco por ciento (95%) del espesor de diseño (ed).

$$e_i \geq 0.95 e_d$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos trae como consecuencia el rechazo del tramo.

(3) Lisura

La superficie acabada no podrá presentar, en ningún punto irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3m) colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que señala el Supervisor, los cuales no podrán estar afectados por cambios de pendiente.

Todas las áreas de base estabilizada con cemento donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor y a plena satisfacción de éste.

Medición

La unidad de medida será de m³, de material o mezcla suministrada, colocada y compactada, a satisfacción del Supervisor. El volumen se determinará por el sistema de áreas extremas, utilizando las secciones transversales y de longitud real, medida a lo largo del eje del Proyecto. No se medirán cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones de la subrasante por parte del Contratista³³.

³³ (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2000)

5.0 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

De las alternativas planteadas en el diseño de pavimentos y de la selección de los métodos de estabilización de la subrasante y de la capas de base y sub base e imprimación.

| | Sector (Km) | Alternativa | Base | | Sub Base | | Observación |
|---|-------------|-------------|------|--------------|----------|--------------|---|
| | | | CBR | Espesor (cm) | CBR | Espesor (cm) | |
| 1 | 00+000 | 14+400 | 13 | 30 | 13 | 50 | No se realiza ningún tratamiento a la subrasante y se utiliza el material de cantera de arena |
| 2 | 14+400 | 18+200 | 13 | 30 | 13 | 45 | limosa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia. |
| 1 | 00+000 | 14+400 | 80 | 10 | 80 | 30 | No se realiza ningún tratamiento a la subrasante y se utiliza el material de cantera de arena |
| 2 | 14+400 | 18+200 | 80 | 10 | 80 | 30 | limosa y grava traída de Aguaytia - Pucallpa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia |
| 1 | 00+000 | 14+400 | 13 | 10 | 13 | 25 | Se realiza tratamiento con aditivo estabilizador a la subrasante y se utiliza el material de cantera de |
| 2 | 14+400 | 18+200 | 13 | 10 | 13 | 25 | arena limosa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia. |
| 1 | 00+000 | 14+400 | 80 | 5 | 80 | 10 | Se realiza tratamiento con aditivo estabilizador a la subrasante y se utiliza material de cantera de |
| 2 | 14+400 | 18+200 | 80 | 5 | 80 | 10 | arena limosa y grava traída de Aguaytia – Pucallpa. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia. |
| 1 | 00+000 | 14+400 | 26 | 10 | 26 | 15 | Se realiza tratamiento con aditivo estabilizador a la subrasante, recubriéndola con geomalla y/o geotextil. Además se emplea el |
| 2 | 14+400 | 18+200 | 26 | 10 | 26 | 15 | material de cantera de arena limosa, estabilizada con aditivo. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia. |

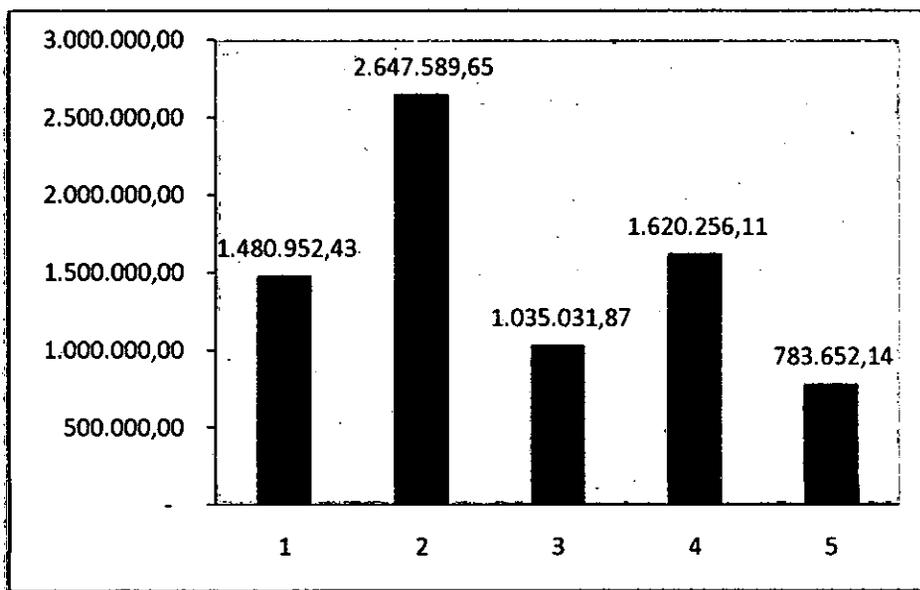
Realizando un proceso de análisis de precios unitarios a costo directo, sin tomar en cuenta los gastos generales ni de movilización y desmovilización, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 86: Costo Directo de Alternativas.

| Alternativa | Costo Directo (S/.) |
|-------------|---------------------|
| 1 | 1,480,952.43 |
| 2 | 2,647,589.65 |
| 3 | 1,035,031.87 |
| 4 | 1,620,256.11 |
| 5 | 783,652.14 |

*Fuente elaboración propia.

Figura 31: Alternativa Vs Costo Directo.



*Fuente elaboración propia.

Como se aprecia en el cuadro anterior y gráfico, la alternativa cinco es la que menor costo directo presenta.

Por lo anterior se prefiere la alternativa cinco, la cual considera un tratamiento con aditivo estabilizador a la subrasante, recubriéndola con geomalla y/o geotextil. Además se emplea el material de cantera de arena limosa, estabilizada con aditivo. Se imprimirá posteriormente para protegerlo de la lluvia.

CONCLUSIONES

- De los métodos estabilizadores vistos, se concluye que los de mejor comportamiento en selva baja son los métodos químicos, entre ellos la cal, cemento y asfalto.
- La estabilización con cal hidratada se comporta de mejor manera con suelos arcillosos, debido a su interacción química con estas.
- Para que la cal pueda estabilizar algún suelo como mínimo se debe de adicionar un mínimo de 3% en peso, para asegurar el incremento de resistencia.
- Para un adecuado diseño de mezcla suelo – cal, el suelo debe de cumplir las siguientes condiciones:
 - (MTC E 118-2000) Contenido de Materia Orgánica menor a 3%.
 - (MTC E 111-200) Índice de plasticidad mayor a 15.
 - (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 mayor a 35%.
- Para nuestro caso en particular, el óptimo contenido cal hidratada se determino en 6%, el cual asegura que el CBR de diseño de espesores fue de 26%.
- El empleo de la cal para la realidad de selva peruana es la más adecuada, aunque para carreteras de este nivel es un tanto imprácticas pues durante el proceso constructivo se requiere de maquinaria especial.
- La estabilización con cemento portland se comporta mejor con suelos arenosos y gravosos.
- El diseño de la mezcla de la estabilización con cemento es mejor realizarla con por resistencia, con ensayos de compresión simple y no con el ensayo de capacidad de soporte, esta se ajusta mejor para la estabilización cal y asfalto.
- Para un adecuado diseño de mezcla suelo – cemento, el suelo debe de cumplir las siguientes condiciones.
 - (MTC E 118-2000) Contenido de Materia Orgánica menor a 2%.
 - (MTC E 209-200) Resistencia a los sulfatos menor a 10%.
 - (MTC E 110-200) Limite Liquido menor a 40

- (MTC E 111-200) Índice de plasticidad menor a 15.
 - (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 4 entre 50 y 100%.
 - (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 entre 5 y 35%.
- Para nuestro caso en particular, el óptimo contenido cemento portland se determino en 5% en peso del suelo seco.
 - El Asfalto tiene mayor afinidad con los suelos arenosos.
 - Para un adecuado diseño de mezcla suelo – Asfalto, el suelo debe de cumplir las siguientes condiciones:
 - (MTC E 209-200) Resistencia a los sulfatos menor a 12%.
 - (MTC E 110-200) Limite Liquido menor a 35
 - (MTC E 111-200) Índice de plasticidad menor a 15.
 - (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 4 entre 50 y 100%.
 - (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla N° 40 entre 35 y 100%.
 - (MTC E 107-200) Porcentaje que pasa la malla 200 entre 10 y 35%.
 - Se recomienda usar en suelos A-1-b y A-2-4.
- Para nuestro caso en particular, el óptimo contenido asfalto se determino en 2%, el cual asegura que el CBR de diseño de espesores fue de 26%.
 - Con base al ensayo de flexión realizado concluye que aun cuando es esbelta el espécimen del ensayo esta produjo un modulo de rotura de 0.13Mpa que es un 1/12 de la resistencia a la compresión.
 - Los procedimientos de estabilización son una excelente alternativa para la factibilidad de carreteras vecinales para que se puedan hacer viables.

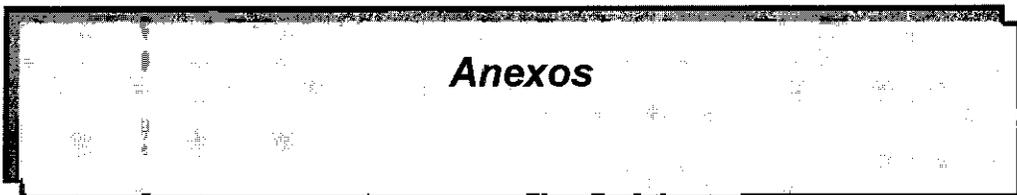
RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una investigación sobre una correlación de CBR vs Compresión Simple.
- Para el diseño suelo – cemento, se recomienda una investigación con el fin de aprovechar las fisuras inherentes a este tipo de tratamientos.
- Como complemento se recomienda el monitoreo de la obra durante su construcción y en operación.
- Desarrollar un ensayo a escala natural que refleje el ensayo a flexión que solo se presento a escala en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Artifexbalear, Las Calzadas Romanas, www.artifexbalear.org/romanos1.htm, agosto 2009.
2. Bowles Joseph, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Mc Graw-Hill, Bogotá Colombia 1980.
3. Cedex, Mejoramiento del Terreno, www.cedex.es/lq/asesora/mejora.html, agosto 2009.
4. Dal-Re Tenreiro Rafael, Caminos Rurales, MP, Madrid España 1994.
5. Dirección General de Caminos, Especificaciones Técnicas Generales EG2000, Lima, Perú, 2000.
6. Galabru Paul, Cimentaciones y Túneles, Editorial Reverte, Madrid, España 2008.
7. Gutiérrez Wilfredo, Estudio de Factibilidad "Mejoramiento de la carretera Contamana – Aguas Caliente", Lima, Perú, 2009.
8. Instituto de la Construcción y Gerencia, Carreteras, ICG, Lima Perú 2007.
9. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm, agosto 2009.
10. Instituto Nacional de Vías, Especificaciones Técnicas Generales INV 2007, Bogotá, Colombia, 2007.
11. Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto, Suelo Cemento, www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm, agosto 2009.
12. La Rosa Orbezo, Nohelia Thais, Aplicación del Aditivo QUIM KD 40 para Estabilización en Caminos no Pavimentados, Tesis UNI - FIC, Lima, Perú, 2006.

13. Márquez Santiago, Estabilización de Suelos, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Comodoro Rivadavia, Argentina 2005.
14. Michelena Roberto, Mecánica de Suelos Aplicada, Consejo departamental de Lima, Lima Perú, 1991.
15. Ministerio de Fomento, Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras, Dirección General de Carreteras, Madrid, España 2002.
16. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito, MTC, Lima, 2005.
17. Montejó Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos, Edición 3, Editorial Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2006
18. Natonal Lime Association, Manual de Estabilización de Suelos Tratado con Cal, LIME, México, 2004.
19. PAVCO, Refuerzo en vías con Geotextil, PAVCO, Bogotá, Colombia.
20. Rico Rodriguez y Del Castillo Mejía Hermilio, La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Tomo 2, Edición 1, Editorial Limusa, D.F. México, 1999.
21. Secsa, Perma Zyme, www.secsasa.com, agosto 2009.
22. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Manual de Construcción Geotécnica, Sociedad Mexicana de Suelos, México, 2002.
23. Sotelo Aedo, Curso de Geotextiles, Cesel SA, Lima Perú, 2004.
24. Torrejon Julio, Asfalto: Un Material con Multiples Aplicaciones, BIT, 40-43, Chile, agosto 2003.
25. Vasconcelos Barros Rodrigo, El Pavimento de Suelo Cemento en el Tramo III de la Vía Interoceánica SUR, 2008.



Anexo 1: Ensayos en Vía.

PROYECTO : Estudio de Factibilidad: "Mejoramiento de la Carretera Contamana – Aguas Calientes" (18 Km)

REALIZADO : MDVC

REVISADO : ING. WGL

FECHA : AGOSTO - 2009

MATERIAL : MUESTRAS DE CALICATAS

PROGRESIVA : KM. 00+000 AL 18+200

RESUMEN DE CALICATAS

| FECHA DE ENSAYO | CALICATA | KM. | LADO | MUESTRA | PROF. | % MATERIAL QUE PASA | | | | LIMITE LIQUIDO | INDICE PLASTICO | CLASIFICACION | | HUMEDAD CAMPO % | OPTIMO HUMEDAD % | MAXIMA DENSIDAD g/cm3 | C.B.R | | |
|-----------------|----------|--------|------|---------|-------------|---------------------|--------|--------|--------|----------------|-----------------|---------------|-----------|-----------------|------------------|-----------------------|-------|------|--------|
| | | | | | | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 200 | | | SUCS | AASHTO | | | | 95% | 100% | EXP. % |
| 19/04/2009 | C - 00 | 0+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.40 | 100.00 | 98.65 | 93.72 | 64.74 | 26 | 18 | CL | A-6(8) | 14.9 | 14.4 | 1.790 | 1.6 | 2.5 | 6.7 |
| | | | | M - 02 | 0.40 - 0.90 | 98.48 | 96.94 | 94.12 | 81.83 | 33 | 15 | CL | A-6(11) | 15.5 | | | | | |
| | | | | M - 03 | 0.90 - 1.50 | 98.02 | 97.01 | 78.12 | 37.09 | - | NP | SM | A-4(0) | 15.9 | | | | | |
| 19/04/2009 | C - 01 | 1+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 0.60 | 98.99 | 98.36 | 97.49 | 95.98 | 55 | 40 | CH | A-7-6(20) | 23.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.60 - 1.50 | 99.59 | 98.96 | 98.09 | 97.04 | 58 | 38 | CH | A-7-6(20) | 28.1 | | | | | |
| 19/04/2009 | C - 02 | 2+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 1.50 | 98.96 | 97.77 | 96.31 | 85.74 | 38 | 18 | CL | A-6(15) | 23.0 | | | | | |
| 19/04/2009 | C - 03 | 3+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 1.50 | 100.00 | 99.80 | 99.38 | 88.98 | 54 | 27 | CH | A-7-6(15) | 23.0 | | | | | |
| 19/04/2009 | C - 04 | 4+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.40 | 94.42 | 93.70 | 92.56 | 76.40 | 28 | 13 | CL | A-6(8) | 25.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.40 - 1.50 | 99.42 | 98.68 | 95.34 | 83.72 | 52 | 29 | CH | A-7-6(15) | 25.0 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 05 | 5+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 1.50 | 99.81 | 99.23 | 97.83 | 65.07 | 36 | 14 | CL | A-6(7) | 28.0 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 06 | 6+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.80 | 100.00 | 99.64 | 98.98 | 46.02 | 23 | NP | SM | A-4(0) | 28.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.80 - 1.50 | 100.00 | 99.80 | 99.26 | 90.12 | 64 | 31 | MH | A-7-5(15) | 25.0 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 07 | 7+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 0.60 | 99.79 | 99.49 | 98.09 | 57.61 | 24 | NP | ML | A-4(0) | 23.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.60 - 1.50 | 98.27 | 97.31 | 96.00 | 66.48 | 25 | 11 | CL | A-6(4) | 28.0 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 08 | 8+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 1.10 | 99.75 | 99.36 | 98.40 | 34.75 | 22 | NP | SM | A-2-4(0) | 19.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 1.10 - 1.50 | 99.70 | 99.55 | 99.03 | 66.58 | 29 | 14 | CL | A-6(7) | 21.0 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 09 | 9+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 0.40 | 98.76 | 98.48 | 97.50 | 74.65 | 32 | 16 | CL | A-6(10) | 18.7 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.40 - 1.50 | 98.02 | 95.79 | 93.38 | 82.25 | 34 | 18 | CL | A-6(13) | 20.2 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 10 | 10+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.30 | 96.98 | 96.43 | 95.38 | 49.71 | 27 | NP | SM | A-4(0) | 21.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.30 - 1.50 | 100.00 | 99.99 | 99.73 | 98.99 | 57 | 29 | CH | A-7-6(16) | 30.8 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 11 | 11+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 1.50 | 99.62 | 99.56 | 99.23 | 77.97 | 89 | NP | MH | A-5(12) | 22.2 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 12 | 12+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.40 | 99.95 | 99.74 | 99.16 | 68.32 | 28 | 10 | CL | A-4(5) | 26.7 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.40 - 1.50 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 97.97 | 58 | 45 | CH | A-7-6(20) | 25.0 | | | | | |
| 20/04/2009 | C - 13 | 13+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 0.30 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 97.97 | 60 | 43 | CH | A-7-6(20) | 23.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.30 - 1.50 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 99.16 | 67 | 28 | MH | A-7-5(15) | 37.5 | | | | | |
| 21/04/2009 | C - 14 | 14+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.70 | 100.00 | 99.80 | 98.78 | 85.63 | 42 | 21 | CL | A-7-6(7) | 23.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.70 - 1.50 | 100.00 | 99.90 | 98.47 | 93.25 | 44 | 19 | CL | A-7-6(7) | 21.0 | | | | | |

PROYECTO : Estudio de Factibilidad: "Mejoramiento de la Carretera Contamana – Aguas Calientes" (18 Km)

REALIZADO : MDVC

REVISADO : ING. WGL

FECHA : AGOSTO - 2009

MATERIAL : MUESTRAS DE CALICATAS

PROGRESIVA : KM. 00+000 AL 18+200

RESUMEN DE CALICATAS

| FECHA DE ENSAYO | CALICATA | KM. | LADO | MUESTRA | PROF. | % MATERIAL QUE PASA | | | | LIMITE LIQUIDO | INDICE PLASTICO | CLASIFICACION | | HUMEDAD CAMPO % | OPTIMO HUMEDAD % | MAXIMA DENSIDAD g/cm ³ | C.B.R | | |
|-----------------|----------|--------|------|---------|-------------|---------------------|-------|-------|--------|----------------|-----------------|---------------|----------|-----------------|------------------|-----------------------------------|-------|------|--------|
| | | | | | | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 200 | | | SUCS | AASTHO | | | | 95% | 100% | EXP. % |
| 21/04/2009 | C - 15 | 15+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 0.20 | 99.94 | 98.98 | 93.81 | 78.94 | 42 | 21 | CL | A-7-6(7) | 25.0 | 9.3 | 2.0 | - | 23.1 | 0.0 |
| | | | | M - 02 | 0.20 - 0.70 | 100.00 | 99.72 | 85.88 | 28.91 | 18 | 3 | SC | A-2-4(0) | 23.0 | | | | | |
| | | | | M - 03 | 0.70 - 1.50 | 100.00 | 99.26 | 85.54 | 38.72 | 17 | 1 | SC | A-4(0) | 28.0 | | | | | |
| 21/04/2009 | C - 16 | 16+000 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.50 | 100.00 | 99.10 | 77.50 | 17.65 | - | NP | SM | A-2-4(0) | 23.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.50 - 1.50 | 99.08 | 95.83 | 59.07 | 1.95 | - | NP | SP | A-3(0) | 28.0 | | | | | |
| 21/04/2009 | C - 17 | 17+000 | DER. | M - 01 | 0.00 - 0.40 | 99.95 | 97.95 | 86.92 | 59.35 | 28 | 11 | CL | A-6(4) | 23.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.40 - 1.20 | 100.00 | 99.32 | 97.33 | 89.69 | 37 | 21 | CL | A-6(12) | 21.0 | | | | | |
| | | | | M - 03 | 1.20 - 1.50 | 100.00 | 99.64 | 98.72 | 96.10 | 43 | 21 | CL | A-7-6(9) | 25.0 | | | | | |
| 21/04/2009 | C - 18 | 18+200 | IZQ. | M - 01 | 0.00 - 0.30 | 100.00 | 99.92 | 92.55 | 56.57 | 17 | NP | ML | A-4(0) | 16.0 | | | | | |
| | | | | M - 02 | 0.30 - 0.90 | 100.00 | 99.87 | 93.39 | 69.16 | 27 | 13 | CL | A-6(6) | 18.0 | | | | | |
| | | | | M - 03 | 0.90 - 1.50 | 100.00 | 99.90 | 88.21 | 26.69 | 17 | NP | SM | A-2-4(0) | 28.0 | | | | | |

* Se realizo solo un punto.

Anexo 2: Canteras y Fuentes de Agua.

FICHA DE CANTERAS

CANTERA : Material de Arcilla **CODIGO** :
DEPARTAMENTO : Loreto **PROVINCIA** : Ucayali
CARRETERA : Contamana - Aguas Calientes
KM. : 8 + 900 **LADO** : Derecho **DISTANCIA AL EJE** : 10 m.
ACCESO : SI NO **EN EXPLOTACIÓN** **EN RESERVA** **AGOTADA**
AREA : 100000 m2 **PROFUNDIDAD** : 5.00 m. **VOLUMEN** : 50000 m3
PROPIETARIO :

| TAMIZ | ANÁLISIS NATURAL | | AGREGADO GRUESO | | AGREGADO FINO | |
|--|---------------------|-----------|---|-----------|---------------|-----------|
| | % RETENIDO | % PASANTE | % RETENIDO | % PASANTE | % RETENIDO | % PASANTE |
| 3" | 76.200 | | | | | |
| 2" | 50.800 | | | | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | | |
| 3/4" | 19.050 | | | | | |
| 1/2" | 12.700 | | | | | |
| 3/8" | 9.525 | | | 100.0 | | |
| 1/4" | 6.350 | 0.1 | | 99.9 | | |
| No 4 | 4.760 | 0.2 | | 99.8 | | |
| No 6 | 3.360 | 0.2 | | 99.8 | | |
| No 8 | 2.380 | 0.2 | | 99.8 | | |
| No 10 | 2.000 | 0.6 | | 99.4 | | |
| No 16 | 1.190 | 0.6 | | 99.4 | | |
| No 20 | 0.840 | 1.1 | | 98.9 | | |
| No 30 | 0.590 | 1.3 | | 98.8 | | |
| No 40 | 0.426 | 1.5 | | 98.5 | | |
| No 50 | 0.297 | 1.5 | | 98.5 | | |
| No 80 | 0.177 | 2.4 | | 97.6 | | |
| No 100 | 0.149 | 4.9 | | 95.1 | | |
| No 200 | 0.074 | 5.5 | | 94.5 | | |
| -200 | --- | 94.5 | | | | |
| HUMEDAD NATURAL (%) | | 24 | GRAVEDAD ESPECÍFICA | | 2.671 | |
| LÍMITE LÍQUIDO (%) | | 60 | PESO UNITARIO (kg./m ³) | | 1.103 | |
| ÍNDICE PLÁSTICO (%) | | 31 | P.E BULK (BASE SECA) (gr./cm ³) | | --- | |
| EQUIVALENTE DE ARENA (%) | | --- | P.E BULK (BASE SATURADA) (gr./cm ³) | | --- | |
| CLASIFICACION SUCS | | CH | P.E APARENTE (BASE SECA) (gr./cm ³) | | --- | |
| CLASIFICACION AASTHO | | A-7-6(17) | ABSORCIÓN (%) | | --- | |
| MÁXIMA DENSIDAD (gr./cm ³) | | 1.789 | MÓDULO DE FINEZA | | --- | |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | | 15.2 | SALES SOLUBLES (ppm) | | 255.75 | |
| C.B.R (%) | | 6.9 | DURABILIDAD (%) | | --- | |
| ABRASIÓN (%) | | --- | PARTÍCULAS ADHERIDAS (%) | | --- | |
| IMPUREZAS ORGÁNICAS (ppm) | | --- | CARAS DE FRACTURA (%) | | --- | |
| CARBÓN Y LIGNITO (ppm) | | --- | DUREZA | | --- | |
| PARTÍCULAS FRIABLES (%) | | --- | COLOR | | Beige | |
| MATERIAL | FORMA | | | | | |
| ESTADO | TEXTURA SUPERFICIAL | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | |

FICHA DE CANTERAS

CANTERA : Material de Arena **CODIGO** :
DEPARTAMENTO : Loreto **PROVINCIA** : Ucayali
CARRETERA : Contamana - Aguas Calientes
KM. : 11 + 200 **LADO** : Izquierdo **DISTANCIA AL EJE** : 20 m.
ACCESO : SI NO **EN EXPLOTACIÓN** **EN RESERVA** **AGOTADA**
AREA : 15000 m2 **PROFUNDIDAD** : 9.00 m. **VOLUMEN** : 135000 m3
PROPIETARIO :

| TAMIZ | ANÁLISIS NATURAL | | AGREGADO GRUESO | | AGREGADO FINO | |
|---------------------------------|------------------|-----------|------------------------------------|-----------|---------------|-----------|
| | % RETENIDO | % PASANTE | % RETENIDO | % PASANTE | % RETENIDO | % PASANTE |
| 3" | 76.200 | | | | | |
| 2" | 50.800 | | | | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | | |
| 3/4" | 19.050 | | | | | |
| 1/2" | 12.700 | | | | | |
| 3/8" | 9.525 | | | | | |
| 1/4" | 6.350 | | | | | |
| No 4 | 4.760 | | | | | |
| No 6 | 3.360 | | | | | |
| No 8 | 2.380 | | 100.0 | | | |
| No 10 | 2.000 | 0.0 | 100.0 | | | |
| No 16 | 1.190 | 0.0 | 100.0 | | | |
| No 20 | 0.840 | 0.1 | 99.9 | | | |
| No 30 | 0.590 | 0.1 | 99.9 | | | |
| No 40 | 0.426 | 0.3 | 99.7 | | | |
| No 50 | 0.297 | 0.3 | 99.7 | | | |
| No 80 | 0.177 | 40.0 | 60.0 | | | |
| No 100 | 0.149 | 67.4 | 32.6 | | | |
| No 200 | 0.074 | 75.7 | 24.3 | | | |
| -200 | --- | 24.3 | | | | |
| HUMEDAD NATURAL (%) | | 12 | GRAVEDAD ESPECÍFICA | | 2.614 | |
| LÍMITE LIQUIDO (%) | | --- | PESO UNITARIO (kg./m3) | | 1.350 | |
| ÍNDICE PLÁSTICO (%) | | N.P | P.E BULK (BASE SECA) (gr./cm3) | | --- | |
| EQUIVALENTE DE ARENA (%) | | 70 | P.E BULK (BASE SATURADA) (gr./cm3) | | --- | |
| CLASIFICACIÓN SUCS | | SM | P.E APARENTE (BASE SECA) (gr./cm3) | | --- | |
| CLASIFICACIÓN AASHTO | | A-2-4(0) | ABSORCIÓN (%) | | --- | |
| MAXIMA DENSIDAD (gr./cm3) | | 1.771 | MODULO DE FINEZA | | --- | |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | | 17.0 | SALES SOLUBLES (ppm) | | 356.00 | |
| C.B.R (%) | | 13.0 | DURABILIDAD (%) | | --- | |
| ABRASIÓN (%) | | --- | PARTÍCULAS ADHERIDAS (%) | | --- | |
| IMPUREZAS ORGÁNICAS (ppm) | | --- | CARAS DE FRACTURA (%) | | --- | |
| CARBÓN Y LIGNITO (ppm) | | --- | DUREZA | | --- | |
| PARTÍCULAS FRIABLES (%) | | --- | COLOR | | Marrón | |
| MATERIAL | | | FORMA | | | |
| ESTADO | | | TEXTURA SUPERFICIAL | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | |

ANÁLISIS QUÍMICO

| ENSAYOS | Fuentes de Agua | | | |
|---|-----------------|--------|--------|--------|
| | 03+300 | 06+900 | 12+300 | 15+000 |
| Alcalinidad NaHCO_3 (ppm) | 77.0 | 79.0 | 81.0 | 83.0 |
| Cloruros como ión Cl^- (ppm) | 14.0 | 16.5 | 8.1 | 8.5 |
| Materia Orgánica (ppm) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| pH | 6.8 | 6.9 | 7.0 | 7.0 |
| Sólidos en Suspensión (ppm) | 33.5 | 43.0 | 24.0 | 26.0 |
| Sulfatos como ión SO_4^- (ppm) | 33.0 | 40.1 | 18.3 | 21.7 |

Anexo 3: Diseño de Mezcla.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana - Aguas Calientes (18 Km.)
 UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
 FECHA : Mayo, 2009

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Material de Arcilla
 Muestra : M - 01
 Progresiva : B + 800

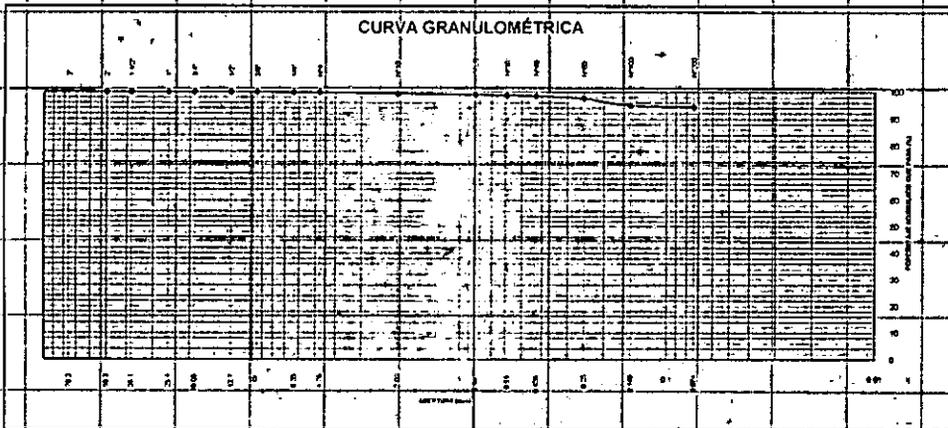
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

| Tamiz | Abertura (mm) | (% Parcial Retenido | (% Acumulado | |
|--------|---------------|---------------------------|--------------|-------|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | - |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | 0.1 | 0.1 | 99.9 |
| N°4 | 4.750 | 0.1 | 0.2 | 99.8 |
| N°10 | 2.000 | 0.4 | 0.6 | 99.4 |
| N°20 | 0.840 | 0.4 | 1.1 | 98.9 |
| N°30 | 0.590 | 0.2 | 1.2 | 98.8 |
| N°40 | 0.426 | 0.2 | 1.5 | 98.5 |
| N°60 | 0.250 | 0.9 | 2.4 | 97.6 |
| N°100 | 0.149 | 2.5 | 4.9 | 95.1 |
| N°200 | 0.074 | 0.6 | 5.5 | 94.5 |
| N°200 | | 94.5 | | |

| | |
|---------|------|
| % grava | 0.2 |
| % arena | 5.3 |
| % finos | 94.5 |

| LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | |
|---------------------------------------|----|
| LÍMITE LÍQUIDO (%) | 60 |
| LÍMITE PLÁSTICO (%) | 29 |
| ÍNDICE PLÁSTICO (%) | 31 |

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : CH
 Clasificación AASHTO M-145 : A-7-6(17)
 Contenido de humedad : 24



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Bach. Darío Vasquez

N°8° JOSÉ WILFREDO GUTIERREZ LAZARES

ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana - Aguas Calientes (18 Km.)
 UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
 FECHA : Mayo, 2009

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Material de Arcilla %Cal : 2
 Muestra : M - 01
 Progresiva : 8 + 900

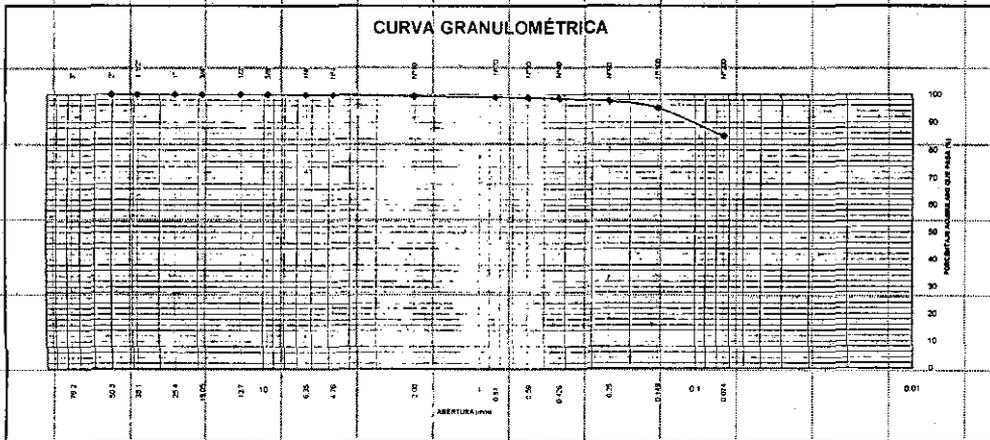
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

| Tamiz | Abertura (mm) | (% Parcial Retenido | (% Acumulado | |
|---------|---------------|---------------------------|-----------------|-------|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | - |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | 0.1 | 0.1 | 99.9 |
| N°4 | 4.760 | 0.1 | 0.2 | 99.8 |
| N°10 | 2.000 | 0.4 | 0.6 | 99.4 |
| N°20 | 0.840 | 0.4 | 1.1 | 98.9 |
| N°30 | 0.590 | 0.2 | 1.2 | 98.8 |
| N°40 | 0.426 | 0.2 | 1.5 | 98.5 |
| N°60 | 0.250 | 0.9 | 2.4 | 97.6 |
| N°100 | 0.149 | 2.5 | 4.9 | 95.1 |
| N°200 | 0.074 | 10.1 | 15.0 | 85.0 |
| - N°200 | | 85.0 | | |

| | |
|---------|------|
| % grava | 0.2 |
| % arena | 14.8 |
| % finos | 85.0 |

| LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | |
|---------------------------------------|----|
| LÍMITE LÍQUIDO (%) | 51 |
| LÍMITE PLÁSTICO (%) | 36 |
| ÍNDICE PLÁSTICO (%) | 15 |

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : MH
 Clasificación AASHTO M-145 : A-7-5(4)
 Contenido de humedad : 24



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante
 Ejecución : Bsch. Darío Vasquez

VºBº JOSÉ WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana - Aguas Calientes (18 Km.)
 UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
 FECHA : Mayo, 2009

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Material de Arcilla %Cal : 4
 Muestra : M - 01
 Progresiva : 8 + 900

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

| Tamiz | Abertura (mm) | Parcial Retenido (%) | (% Acumulado) | |
|---------|---------------|----------------------|---------------|-------|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | - |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | 0.1 | 0.1 | 99.9 |
| N°4 | 4.760 | 0.1 | 0.2 | 99.8 |
| N°10 | 2.000 | 0.4 | 0.6 | 99.4 |
| N°20 | 0.840 | 0.4 | 1.1 | 98.9 |
| N°30 | 0.590 | 0.2 | 1.2 | 98.8 |
| N°40 | 0.426 | 0.2 | 1.5 | 98.5 |
| N°60 | 0.250 | 0.9 | 2.4 | 97.6 |
| N°100 | 0.149 | 2.5 | 4.9 | 95.1 |
| N°200 | 0.074 | 19.5 | 24.4 | 75.6 |
| - N°200 | | 75.6 | | |

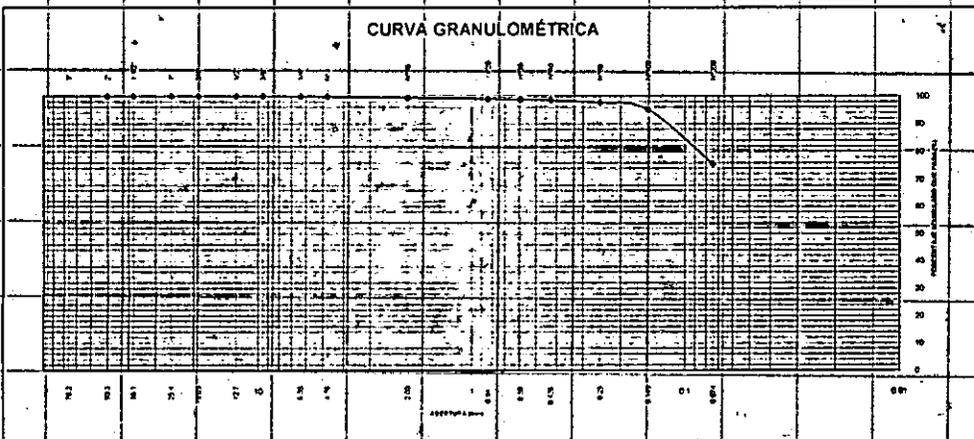
| | |
|---------|------|
| % grava | 0.2 |
| % arena | 24.2 |
| % finos | 75.6 |

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

| | |
|---------------------|----|
| LIMITE LIQUIDO (%) | 49 |
| LIMITE PLASTICO (%) | 41 |
| INDICE PLASTICO (%) | 8 |

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : ML
 Clasificación AASHTO M-145 : A-5(9)
 Contenido de humedad : 24

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante
 Ejecución : Bch. Darío Vasquez

VºBº JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana - Aguas Calientes (18 Km.)
 UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Region Loreto
 FECHA : Mayo, 2009

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Material de Arcilla %Cal : 6
 Muestra : M - 01
 Progresiva : 8 + 900

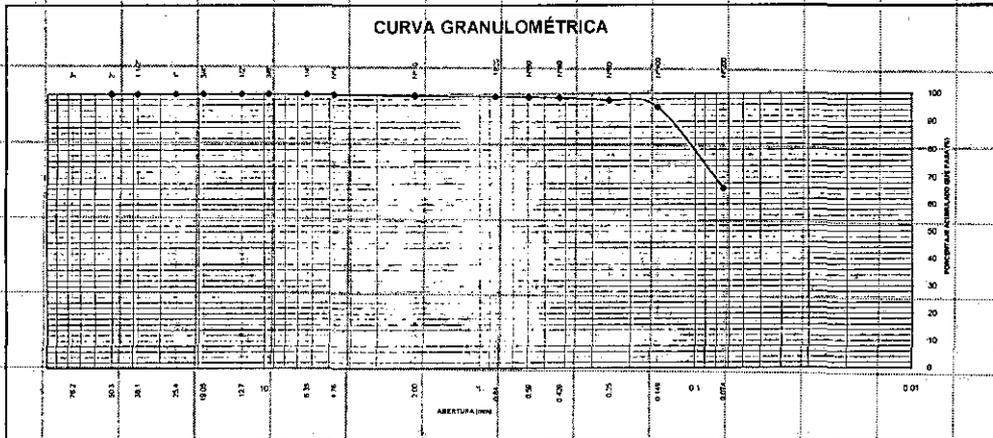
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

| Tamiz | Abertura (mm) | (% Parcial Retenido | (% Acumulado | |
|---------|---------------|---------------------------|-----------------|-------|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | 0.1 | 0.1 | 99.9 |
| N°4 | 4.760 | 0.1 | 0.2 | 99.8 |
| N°10 | 2.000 | 0.4 | 0.6 | 99.4 |
| N°20 | 0.840 | 0.4 | 1.1 | 98.9 |
| N°30 | 0.590 | 0.2 | 1.2 | 98.8 |
| N°40 | 0.426 | 0.2 | 1.5 | 98.5 |
| N°60 | 0.250 | 0.9 | 2.4 | 97.6 |
| N°100 | 0.149 | 2.5 | 4.9 | 95.1 |
| N°200 | 0.074 | 29.0 | 33.9 | 66.1 |
| - N°200 | | 66.1 | | |

| | |
|---------|------|
| % grava | 0.2 |
| % arena | 33.7 |
| % finos | 66.1 |

| LIMITE DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | |
|--------------------------------------|----|
| LIMITE LIQUIDO (%) | 51 |
| LIMITE PLASTICO (%) | 44 |
| INDICE PLÁSTICO (%) | 7 |

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : MH
 Clasificación AASHTO M-145 : A-5(6)
 Contenido de humedad : 24



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante
 Ejecución : Bach. Darío Vasquez

VºBº JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)

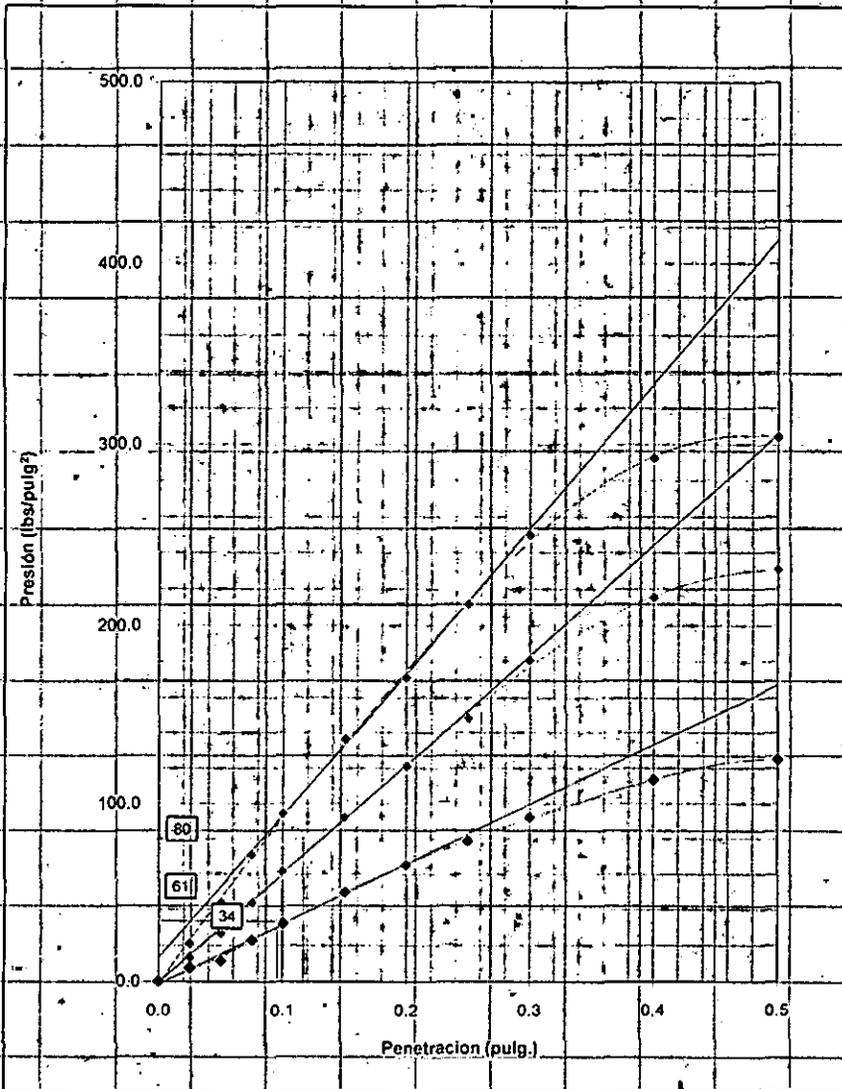
UBICACIÓN : Lóreto - Perú

FECHA : Mayo del 2009

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D 1883 (A) - 91

Cantera : Material de Arcilla

Progresiva : 8 + 900



Ing. Wilfredo Gutiérrez-Lázares
C.I.P. 39549



PROYECTO
UBICACIÓN
FECHA

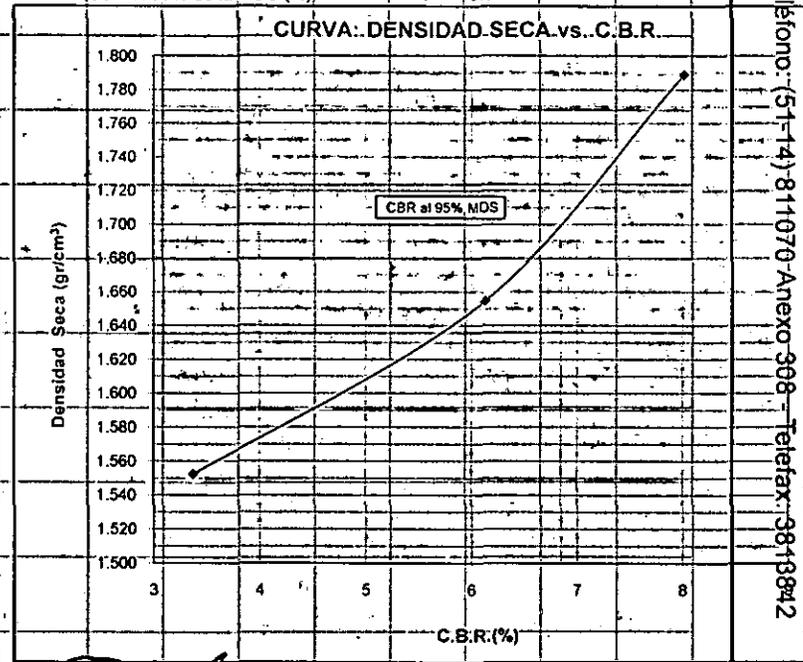
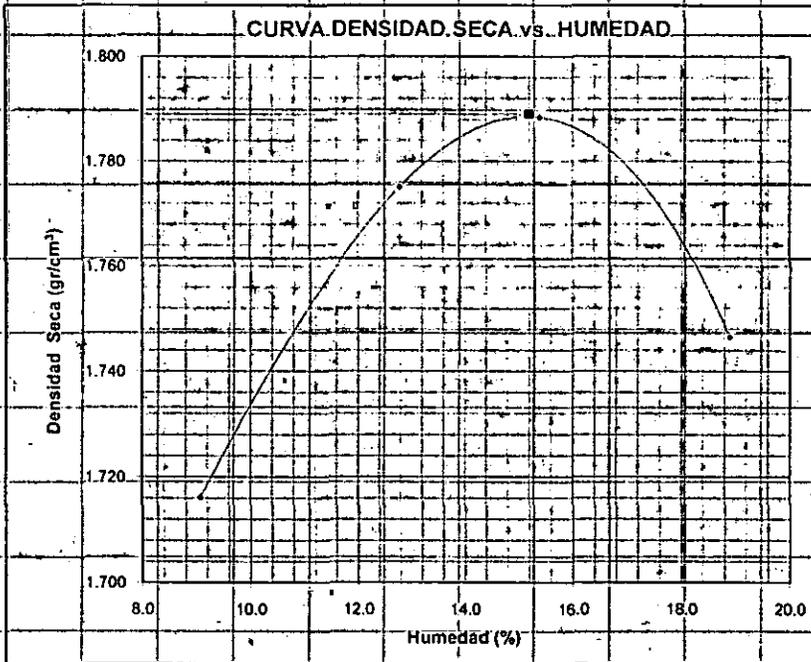
Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
Loreto - Perú
Mayo del 2009

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 (A) - 91

Cantera
Muestra
Progresiva

Material de Arcilla
M - 1
8 + 900

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.789
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 15.2
CBR al 100% de la MDS (%) : 6.0
CBR al 95% de la MDS (%) : 6.9



Ing. Wilfredo Gutiérrez
Lázares



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
 UBICACIÓN : Loreto - Perú
 FECHA : Mayo del 2009

RÉSULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arcilla
 Progresiva : 8 + 900

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557 (A)-91
 Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) : 1.789
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 15.2

b).- Compactación de moldes

| MOLDE N° | I | II | III |
|---|-------|-------|-------|
| N° de capas | 5 | 5 | 5 |
| Número de golpes/capa | 56 | 25 | 10 |
| Densidad Seca (gr/cm^3) | 1.789 | 1.655 | 1.552 |
| Contenido de Humedad | 15.2 | 16.3 | 14.3 |

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg^2) | Presión Patrón (Lb/pulg^2) | C.B.R. (%) |
|----------|--------------------|--|--|------------|
| I | 0.1 | 80 | 1000 | 8.0 |
| II | 0.1 | 61 | 1000 | 6.1 |
| III | 0.1 | 34 | 1000 | 3.4 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S : 8.0 %

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S : 6.9 %

d).- Expansión(%) : 6.3

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arcilla
Progresiva : 8 + 900
% Cal : 2.0

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557 (A)-91

Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) : 1.789

Optimo Contenido de Humedad (%) : 15.2

b).- Compactación de moldes

| | |
|---|-------|
| MOLDE N° | I |
| N° de capas | 5 |
| Numero de golpes/capa | 56 |
| Densidad Seca (gr/cm^3) | 1.789 |
| Contenido de Humedad | 15.2 |

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|-------------------------|---|---|---------------|
| I | 0.1 | 129 | 1000 | 12.9 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 12.9 %

d).- Expansión(%) : 4.8

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arcilla
Progresiva : 8 + 900
% Cal : 4.0

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557 (A)-91

Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) : 1.789
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 15.2

b).- Compactación de moldes

| | |
|------------------------------------|-------|
| MOLDE N° | I |
| N° de capas | 5 |
| Numero de golpes/capa | 56 |
| Densidad Seca (gr/cm^3) | 1.789 |
| Contenido de Humedad | 15.2 |

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg^2) | Presión Patrón (Lb/pulg^2) | C.B.R. (%) |
|----------|--------------------|---|---------------------------------------|------------|
| I | 0.1 | 194 | 1000 | 19.4 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 19.4 %

d).- Expansión(%) : 1.5

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arcilla
Progresiva : 8 + 900
% Cal : 6.0

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557 (A)-91
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.789
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 15.2

b).- Compactación de moldes

| | |
|-------------------------------------|-------|
| MOLDE N° | 1 |
| N° de capas | 5 |
| Numero de golpes/capa | 56 |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | 1.789 |
| Contenido de Humedad | 15.2 |

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|----------------------|--|--|------------|
| | 0.1 | 285 | 1000 | 28.5 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S : 28.5 %

d).- Expansión(%) : 0.1

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

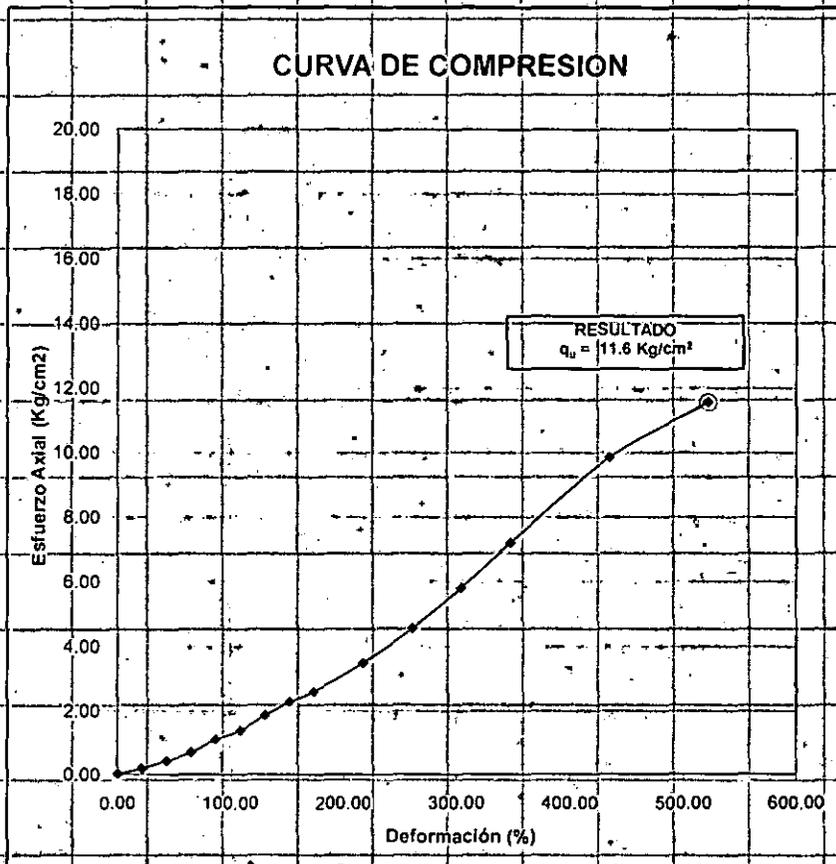
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA NTP 399.1677 ASTM D2166

PROYECTO: Mejoramiento de la Carretera de Contamana -
Aguas Calientes (18 Km.)
UBICACIÓN: Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
MUESTRA: Material de Arcilla
% Cal: 2%

ESPECIMEN 01 - 2% Cal

| Deformación (%) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------------------|
| 21.74 | 0.19 |
| 43.48 | 0.42 |
| 65.22 | 0.70 |
| 86.96 | 1.12 |
| 108.70 | 1.39 |
| 130.43 | 1.86 |
| 152.17 | 2.28 |
| 173.91 | 2.60 |
| 217.39 | 3.49 |
| 260.87 | 4.55 |
| 304.35 | 5.81 |
| 347.83 | 7.20 |
| 434.78 | 9.85 |
| 521.74 | 11.57 |



| RESULTADOS |
|-------------------------------------|
| Qult. (kg/cm ²) = 11.57 |

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

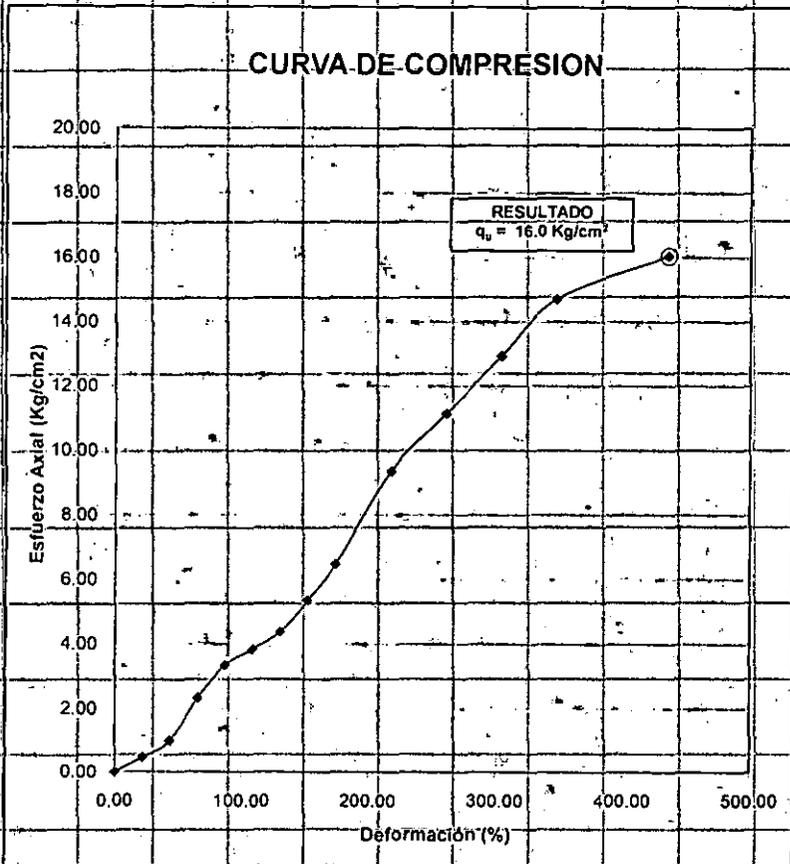
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA NTP 339.167 / ASTM D 2166

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana -
Aguas Calientes (18 Km.)
UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
MUESTRA : Material de Arcilla
% Cal : 6%

ESPECIMEN 03 - 6% cal

| Deformación (%) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------------------|
| 21.74 | 0.45 |
| 43.48 | 0.98 |
| 65.22 | 2.32 |
| 86.96 | 3.35 |
| 108.70 | 3.84 |
| 130.43 | 4.37 |
| 152.17 | 5.35 |
| 173.91 | 6.47 |
| 217.39 | 9.37 |
| 260.87 | 11.15 |
| 304.35 | 12.94 |
| 347.83 | 14.72 |
| 434.78 | 16.06 |



RESULTADOS

Qult. (kg/cm²) = 16.06

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana - Aguas Calientes (18 Km.)
 UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
 FECHA : Mayo, 2009

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Material de Arena Limosa
 Muestra : M - 01
 Progresiva : 11 + 200

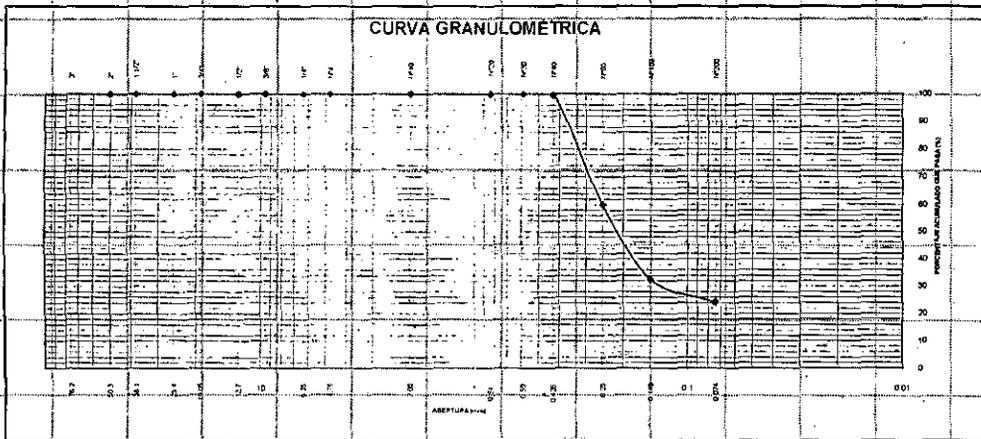
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

| Tamiz | Abertura (mm) | (% Parcial Retenido) | (% Acumulado | |
|---------|---------------|----------------------------|-----------------|-------|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | 100.0 |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | - | - | 100.0 |
| N°4 | 4.760 | - | - | 100.0 |
| N°10 | 2.000 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| N°20 | 0.840 | 0.0 | 0.1 | 99.9 |
| N°30 | 0.590 | 0.0 | 0.1 | 99.9 |
| N°40 | 0.426 | 0.2 | 0.3 | 99.7 |
| N°60 | 0.250 | 39.7 | 40.0 | 60.0 |
| N°100 | 0.149 | 27.4 | 67.4 | 32.6 |
| N°200 | 0.074 | 8.3 | 75.7 | 24.3 |
| - N°200 | | 24.3 | | |

| | |
|---------|------|
| % grava | 0.0 |
| % arena | 75.7 |
| % finos | 24.3 |

| LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | |
|---------------------------------------|----|
| LÍMITE LÍQUIDO (%) | - |
| LÍMITE PLÁSTICO (%) | NP |
| ÍNDICE PLÁSTICO (%) | NP |

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : SM
 Clasificación AASHTO M-145 : A-2-4(0)
 Contenido de humedad : 12



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución: Bach. Darío Vasquez

VºBº JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES

ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
 UBICACIÓN : Loreto - Perú
 FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 (A

Cántera : Material de Arena Limosa
 Progresiva : 11 + 200

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557 (A)-91
 Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) : 1.771
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 17.0

b).- Compactación de moldes

| MOLDE N° | I | II | III |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| N° de capas | 5 | 5 | 5 |
| Numero de golpes/capa | 56 | 25 | 10 |
| Densidad Seca (gr/cm^3) | 1.771 | 1.674 | 1.546 |
| Contenido de Humedad | 17.0 | 16.7 | 17.9 |

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1-pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|--------------------|--|--|------------|
| I | 0.1 | 181 | 1000 | 18.1 |
| II | 0.1 | 126 | 1000 | 12.6 |
| III | 0.1 | 92 | 1000 | 9.2 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 18.1 %

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 13.0 %

d).- Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

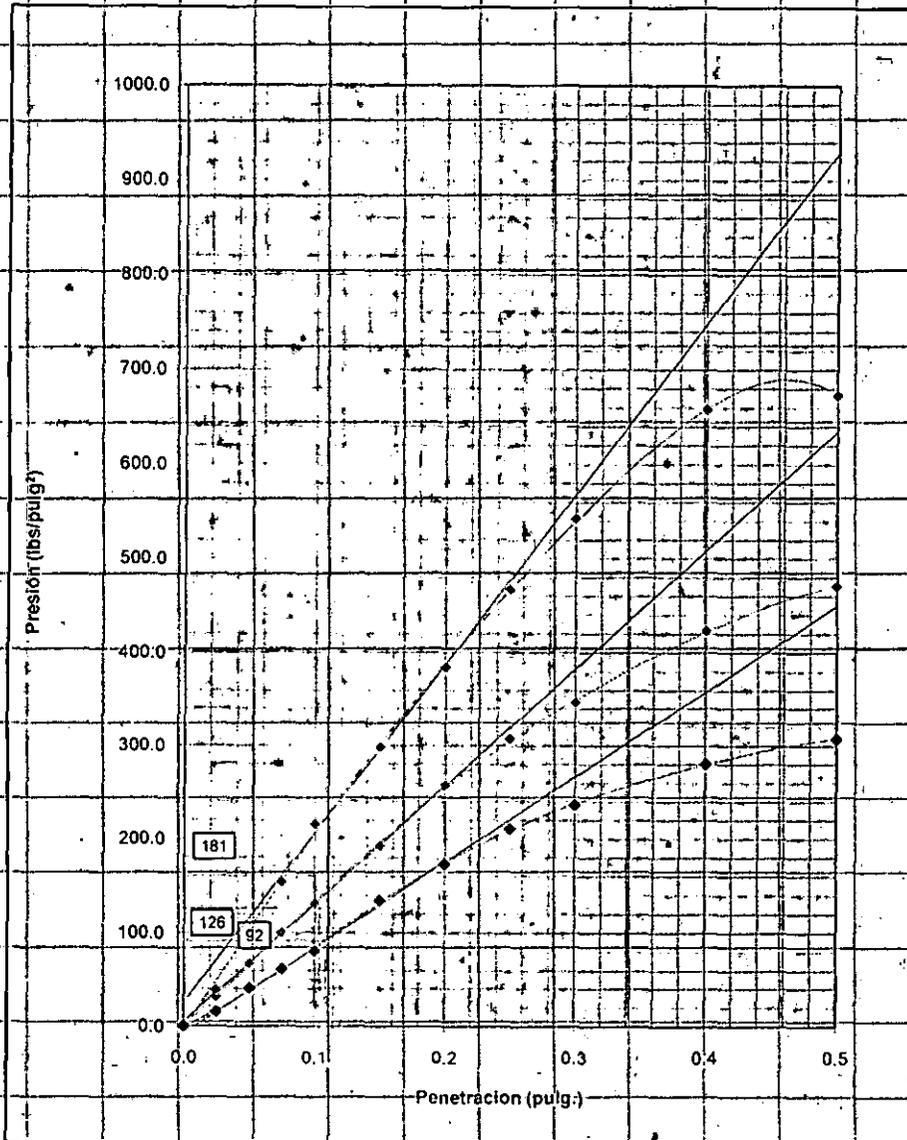
Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D 1883 (A) - 91

Cantera : Material de Arena Limosa
Progresiva : 11 + 200



Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549

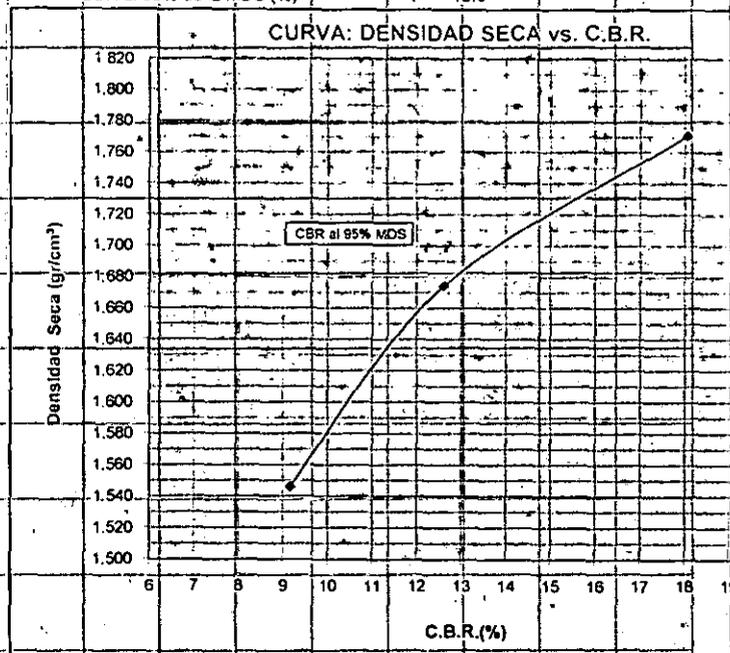
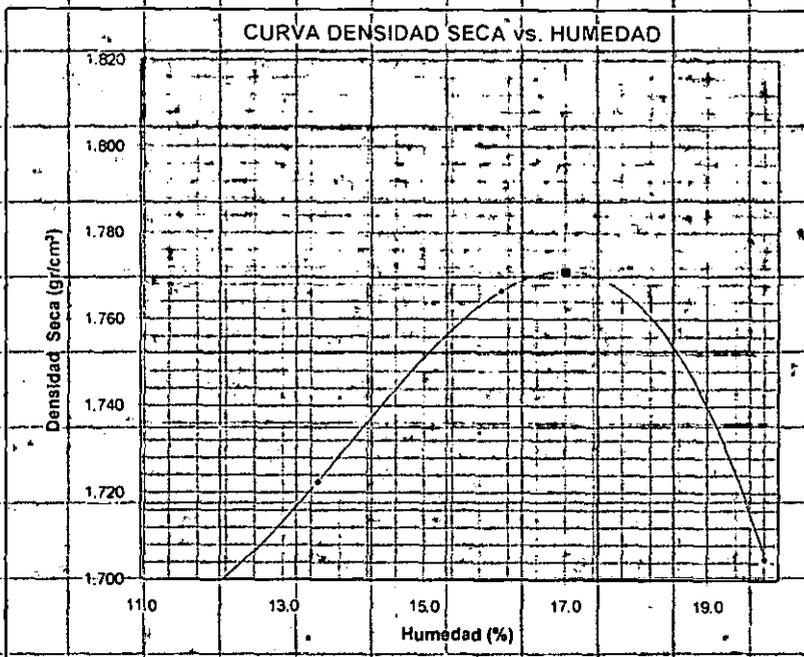


PROYECTO: Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN: Loreto - Perú
FECHA: Mayo del 2009

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 (A) - 91

Cantera: Material de Arena Limosa
Muestra: M - 01
Progresiva: 11 + 200

Máxima Densidad Seca (gr/cm³): 1.771
Óptimo Contenido de Humedad (%): 17.0
CBR al 100% de la MDS (%): 18.1
CBR al 95% de la MDS (%): 13.0



Ing. Wilfredo Gutiérrez
Ingeniero

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842



PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RÉSULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arena
Progresiva : 11+200
% Cemento : 5.0

a)- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|-----------------------|---|---|---------------|
| | 0.1 | 1021 | 1000 | 102.1 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S : 102.1 %

b)- Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arena
Progresiva : 11+200
% Cemento : 10

a)- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (-pulg-) | Presión Aplicada (lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|-------------------------|---|---|---------------|
| I | 0.1 | 1173 | 1000 | 117.3 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 117.3 %

b)- Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.


Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arena
Progresiva : 11+200
% Cemento : 15

a).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (- pulg.) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|--------------------------|---|---|---------------|
| I | 0.1 | 1274 | 1000 | 127.4 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. 127.4 %

b).- Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

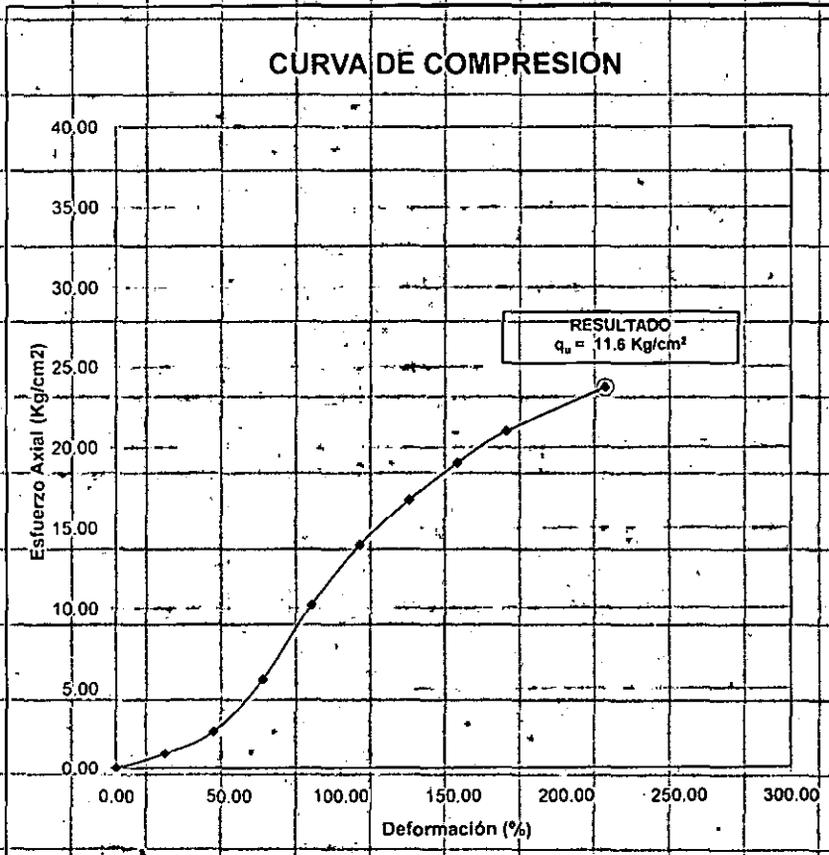
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA NTP 339,1677 ASTM D 2166

PROYECTO: Mejoramiento de la Carretera de Contamana -
Aguas Calientes (18-Km.)
UBICACIÓN: Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
MUESTRA: Material de Arena
% Cemento: 5%

ESPECIMEN 01 - 5% Cemento

| Deformación (%) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------------------|
| 21.74 | 0.93 |
| 43.48 | 2.32 |
| 65.22 | 5.58 |
| 86.96 | 10.23 |
| 108.70 | 13.94 |
| 130.43 | 16.73 |
| 152.17 | 19.06 |
| 173.91 | 21.01 |
| 217.39 | 23.70 |



| RESULTADOS | |
|-----------------------------|---------|
| Quil. (kg/cm ²) | = 23.70 |

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA

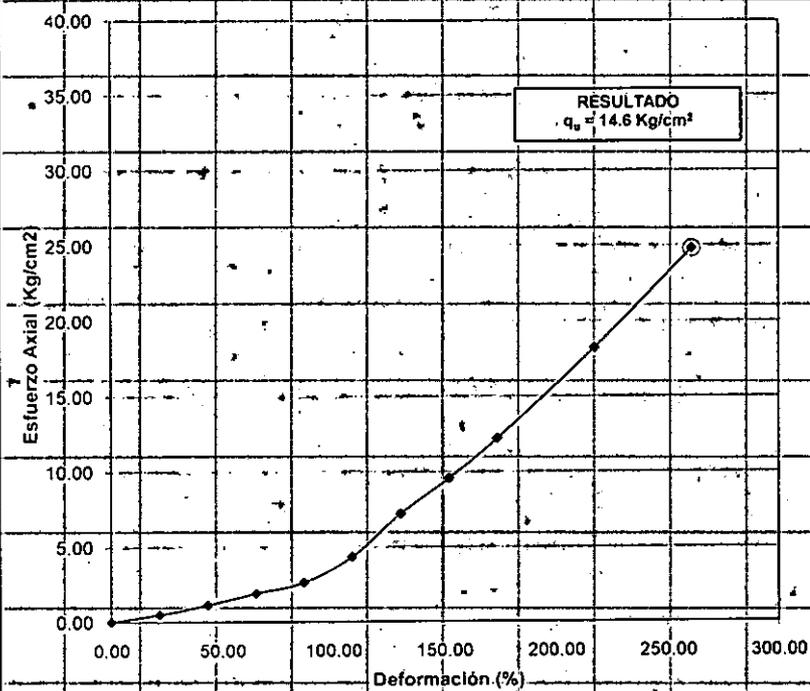
NTP 339/1677 ASTM D 2166

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana -
Aguas Calientes (18-Km.)
UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
MUESTRA : Material de Arena
% Cemento : 10%

ESPECIMEN 02 - 10% Cemento

| Deformación (%) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------------------|
| 21.74 | 0.50 |
| 43.48 | 1.14 |
| 65.22 | 1.91 |
| 86.96 | 2.64 |
| 108.70 | 4.33 |
| 130.43 | 7.19 |
| 152.17 | 9.56 |
| 173.91 | 12.20 |
| 217.39 | 18.21 |
| 260.87 | 24.82 |

CURVA DE COMPRESION



RESULTADOS

Q_{ult.} (kg/cm²) = 24.82

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana - Aguas Calientes (18 Km.)
 UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
 FECHA : Mayo, 2009

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Material de Arena Limosa
 Muestra : M - 01
 Progresiva : 11 + 200

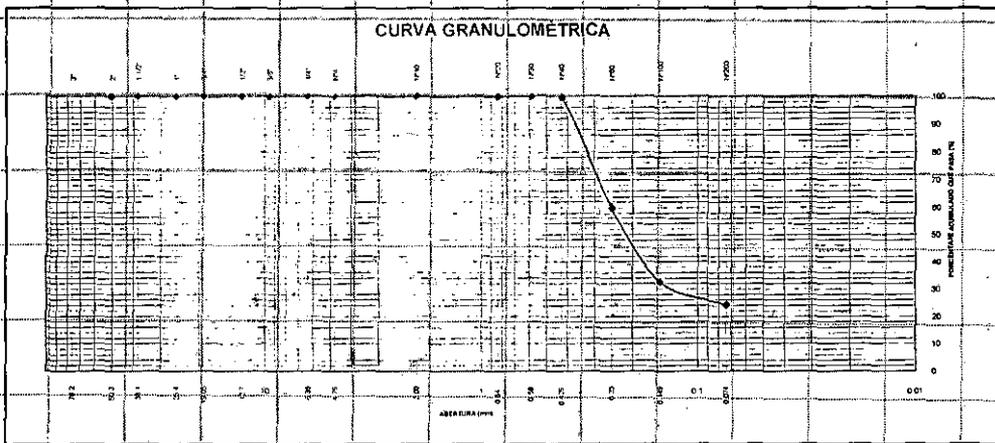
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

| Tamiz | Abertura (mm) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) | |
|---------|---------------|----------------------|---------------|-------|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | - |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | - | - | 100.0 |
| N°4 | 4.760 | - | - | 100.0 |
| N°10 | 2.000 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| N°20 | 0.840 | 0.0 | 0.1 | 99.9 |
| N°30 | 0.590 | 0.0 | 0.1 | 99.9 |
| N°40 | 0.426 | 0.2 | 0.3 | 99.7 |
| N°60 | 0.250 | 39.7 | 40.0 | 60.0 |
| N°100 | 0.149 | 27.4 | 67.4 | 32.6 |
| N°200 | 0.074 | 8.3 | 75.7 | 24.3 |
| - N°200 | | 24.3 | | |

| | |
|---------|--------|
| % grava | : 0.0 |
| % arena | : 75.7 |
| % finos | : 24.3 |

| LIMITE DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | |
|--------------------------------------|------|
| LIMITE LIQUIDO (%) | : - |
| LIMITE PLASTICO (%) | : NP |
| INDICE PLASTICO (%) | : NP |

Clasificación SUCS ASTM D-2487 : SM
 Clasificación AASHTO M-145 : A-2-4(0)
 Contenido de humedad : 12



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución: Bach. Darío Vasquez

VºBº JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 (A

Cantera : Material de Arena Limosa
Progresiva : 11 + 200

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557 (A)-91

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.771

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 17.0

b).- Compactación de moldes

| MOLDE N° | I | II | III |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| N° de capas | 5 | 5 | 5 |
| Número de golpes/capa | 56 | 25 | 10 |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | 1.771 | 1.674 | 1.546 |
| Contenido de Humedad | 17.0 | 16.7 | 17.9 |

c).- Cuadro C.B.R.- Para 0.1-pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|----------------------|--|--|------------|
| I | 0.1 | 181 | 1000 | 18.1 |
| II | 0.1 | 126 | 1000 | 12.6 |
| III | 0.1 | 92 | 1000 | 9.2 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 18.1 %

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 13.0 %

d).- Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

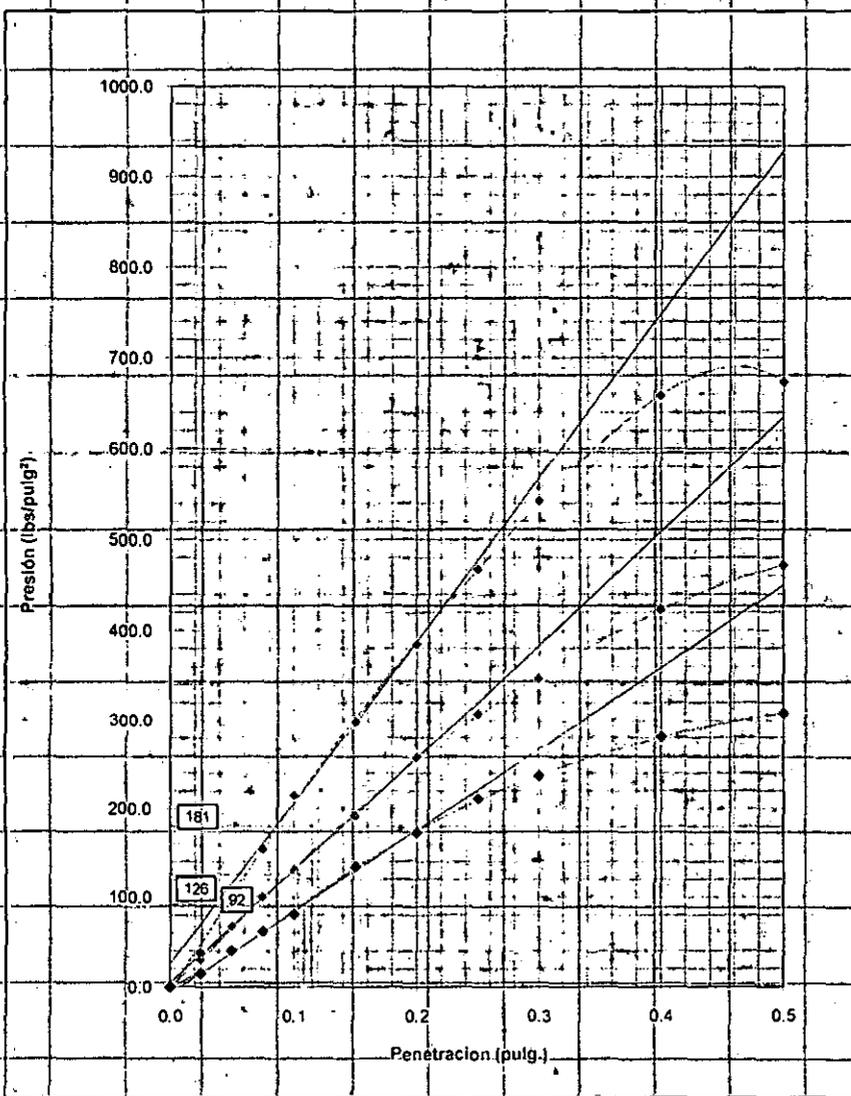
Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

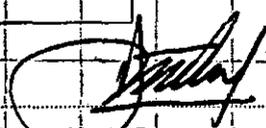
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D 1883 (A) - 91

Cantera : Material de Arena Limosa
Progresiva : 1 + 200




Ing. Wilfredo Gutiérrez-Lázares
C.I.P. 39549

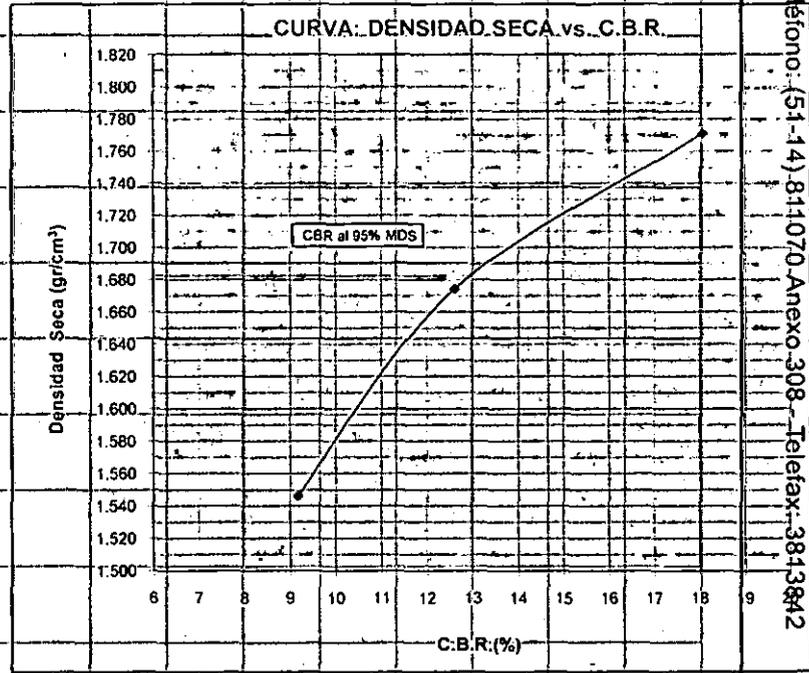
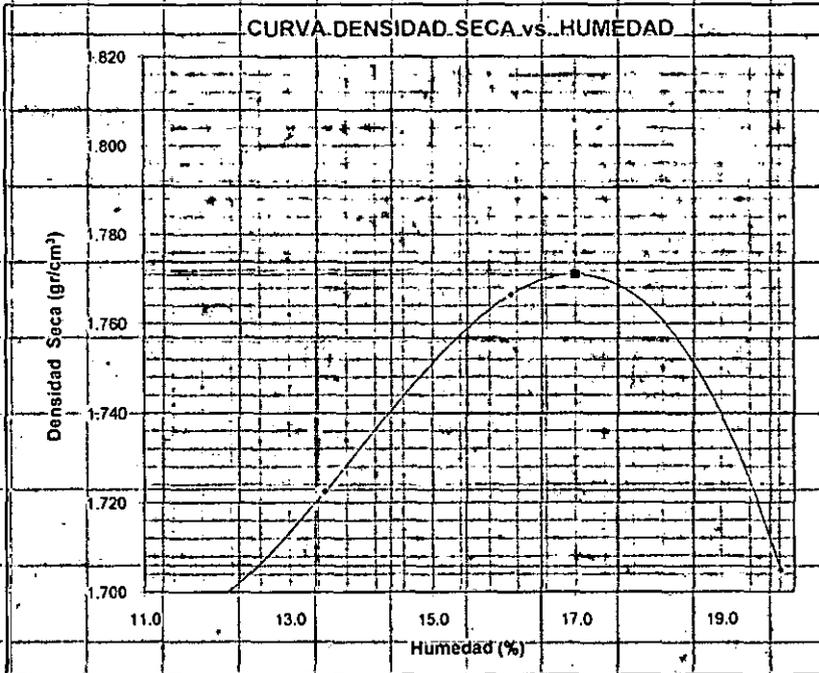


PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 (A) - 91

Cantera : Material de Arena Limosa
Muestra : M - 01
Progresiva : 11 + 200

Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) : 1.771
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 17.0
C.B.R al 100% de la MDS (%) : 18.1
C.B.R al 95% de la MDS (%) : 13.0





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

I. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arena
Progresiva : 11+200
% Asfalto : 1:0

a). Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (-pulg-) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|-------------------------|---|---|---------------|
| I | 0.1 | 317 | 1000 | 31.7 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. 31.7 %

b). Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arena
Progresiva : 11+200
% Asfalto : 2

a). Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (-pulg-) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|-------------------------|---|---|---------------|
| I | 0.1 | 354 | 1000 | 35.4 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 35.4 %

b). Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lazares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Contamana - Aguas Calientes (18Km)
UBICACIÓN : Loreto - Perú
FECHA : Mayo del 2009

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

1. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D1883-91 A

Cantera : Material de Arena
Progresiva : 11+200
% Asfalto : 3

a.)- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

| MOLDE N° | Penetración (pulg) | Presión Aplicada (Lb/pulg ²) | Presión Patrón (Lb/pulg ²) | C.B.R. (%) |
|----------|-------------------------|---|---|---------------|
| I | 0.1 | 440 | 1000 | 44.0 |

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 44.0 %

b.)- Expansión(%) : 0.0

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

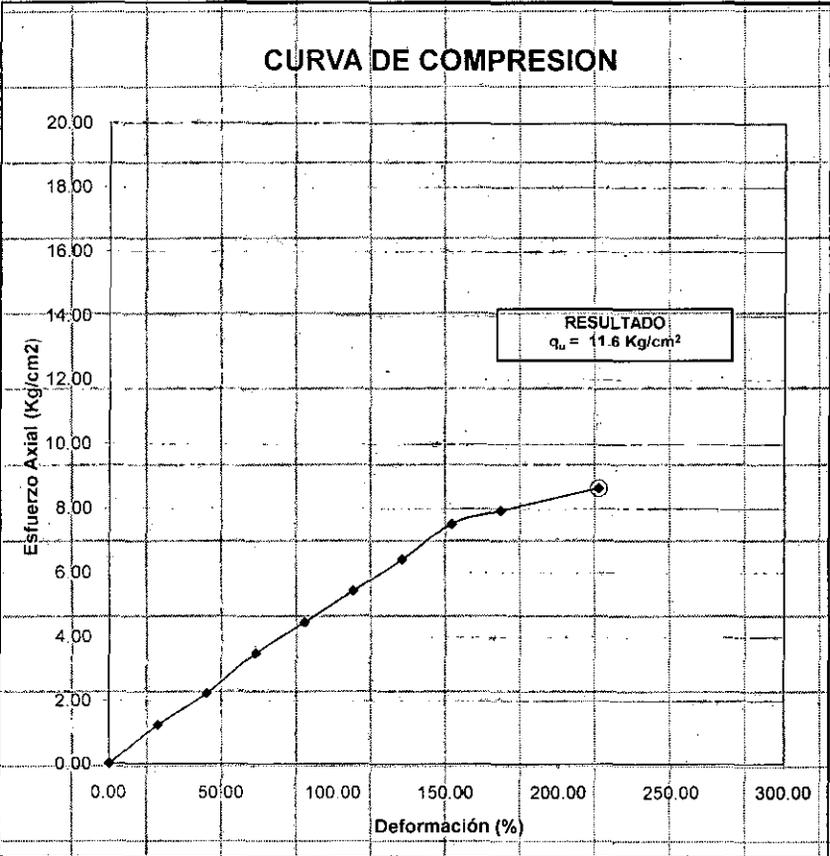
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA NTP 339,167 / ASTM D 2166

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana -
 Aguas Calientes (18 Km.)
 UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
 MUESTRA : Material de Arena
 % Asfalto : 1%

ESPECIMEN 01 - 1% Asfalto

| Deformación (%) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------------------|
| 21.74 | 1.25 |
| 43.48 | 2.23 |
| 65.22 | 3.49 |
| 86.96 | 4.46 |
| 108.70 | 5.44 |
| 130.43 | 6.41 |
| 152.17 | 7.53 |
| 173.91 | 7.95 |
| 217.39 | 8.64 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |



| RESULTADOS | |
|-------------------------------|------|
| Qult. (kg/cm ²) = | 8.64 |

[Signature]
 Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
 C.I.P. 39549



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

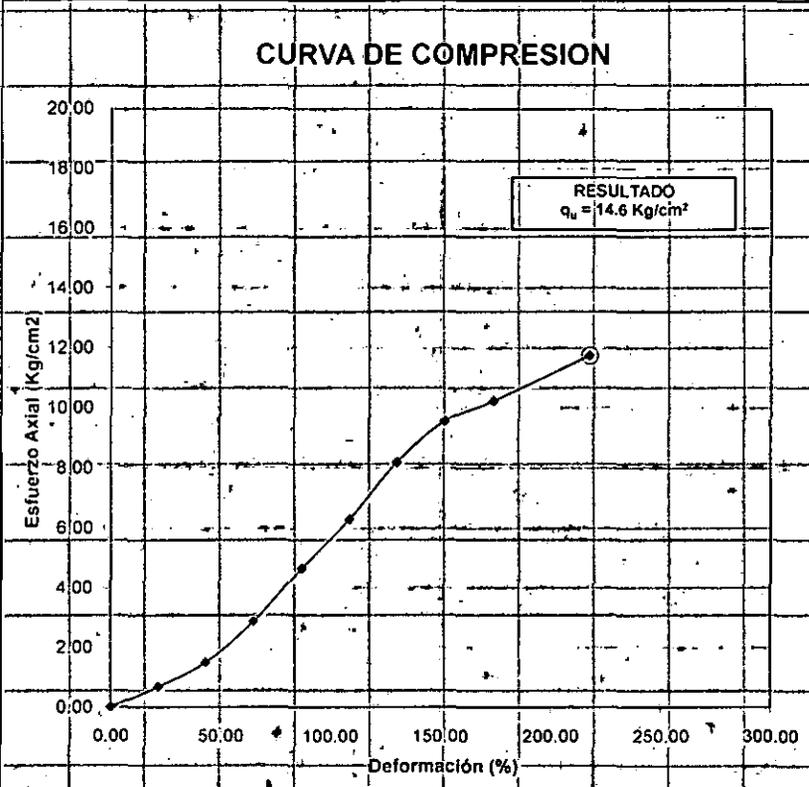
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA
NTP 339/1677/ASTM D 2166

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana -
Aguas Calientes (18 Km.)
UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
MUESTRA : Material de Arena
% Asfalto : 2%

ESPECIMEN 02 - 2% Asfalto

| Deformación (%) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------------------|
| 21.74 | 0.68 |
| 43.48 | 1.50 |
| 65.22 | 2.87 |
| 86.96 | 4.64 |
| 108.70 | 6.28 |
| 130.43 | 8.20 |
| 152.17 | 9.56 |
| 173.91 | 10.25 |
| 217.39 | 11.75 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |



| RESULTADOS | |
|-----------------------------|---------|
| Quit. (kg/cm ²) | = 11.75 |

[Handwritten Signature]

Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares
C.I.P. 39549

Anexo 4: Ensayos de Flexión.

ENSAYO DE FLEXIÓN

PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera de Contamana -
Aguas Calientes (18 Km.)
UBICACIÓN : Distrito de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto
MUESTRA : Material de Arena

ESPECIMEN

| ESTRATO | PORCENTAJE | ESTABILIZANTE | ESPESOR DE DISEÑO (mm) | ESPESOR EN EL ENSAYO (mm) |
|----------|------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| BASE | 2% | ASFALTO RC-250 | 100 | 20 |
| SUB BASE | 5% | CEMENTO | 150 | 30 |

$$R = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

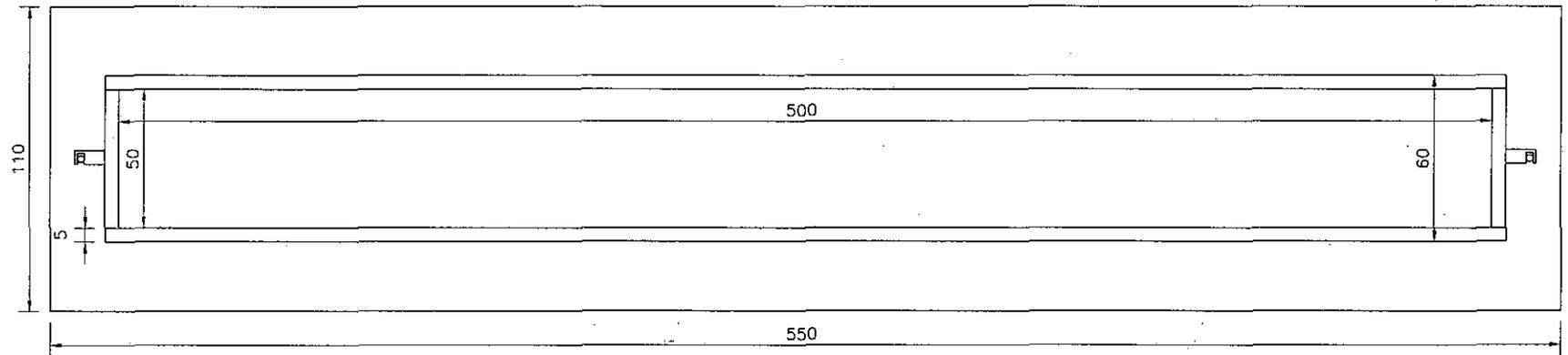
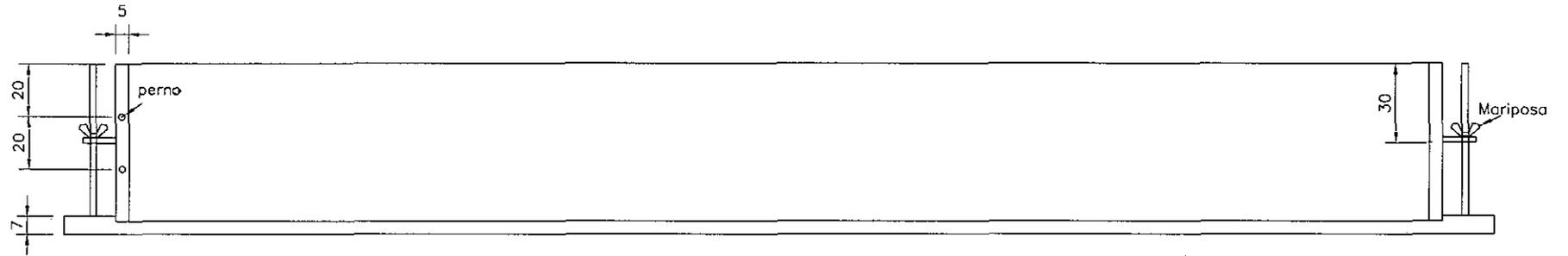
Donde:

- R : Modulo de rotura, Mpa.
P : Máxima carga aplicada indicada por la maquina del ensayo, N.
l : Longitud de la luz, mm.
b : ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm.
d : altura promedio del espécimen el punto de la fractura, mm.

| | | |
|---|---|--------|
| P | = | 28.68 |
| l | = | 340.00 |
| b | = | 50.00 |
| b | = | 50.00 |

| RESULTADOS | |
|------------|--------|
| R (Mpa) | = 0.12 |

MOLDE PARA ENSAYO DE FLEXIÓN.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

PROYECTISTA

DISEÑÓ: N. VARGAS
 DISEÑÓ: N. VARGAS
 VERIFICÓ: ING. YS. GUTIERREZ
 APROBÓ: N. VARGAS

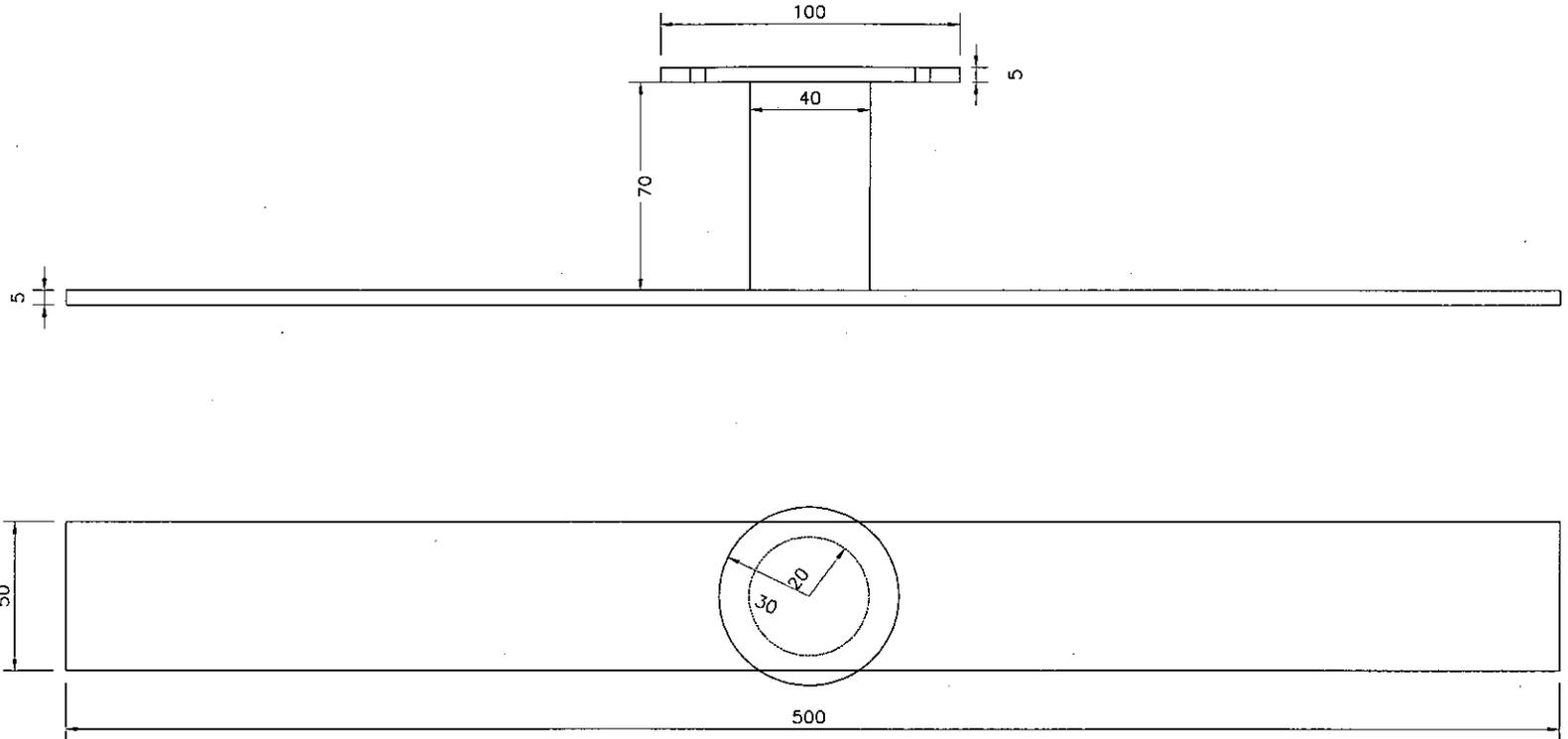
| REVISIONES | | |
|------------|-------|-------------|
| NO. | FECHA | DESCRIPCION |
| | | |
| | | |
| | | |

PAVIMENTOS NO TRADICIONALES PARA CARRETERAS DE SELVA
 BAJA CON BAJO VOLUMEN DE TRANSITO, APLICACIÓN:
 CARRETERA CONTAMANA - AGUAS CALIENTES, LORETO

PLANO: EQUIPO DE MOLDEO Y ENSAYO PARA DEFLEXION
 UBICACION: DEPARTAMENTO DE LORETO

ESCALA: INDICADA
 FECHA: JULIO 2009
 PLANO N°: REV. A
 EF-01

PLANCHA DE COMPACTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROYECTISTA:

Dibujó: H. VALBUENA
 Diseñó: H. YASQUEZ
 Verificó: DR. W. GUTIERREZ
 Presentó: H. VALBUENA

REVISIONES

| Nº | FECHA | DESCRIPCIÓN |
|----|-------|-------------|
| | | |
| | | |
| | | |

PAVIMENTOS NO TRADICIONALES PARA CARRETERAS DE SELVA
 BAJA CON BAJO VOLUMEN DE TRANSITO, APLICACIÓN:
 CARRETERA CONTAMANA - AGUAS CALIENTES, LORETO

PLANO:

EQUIPO DE MOLDEO Y ENSAYO PARA DEFLEXIÓN

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO DE LORETO

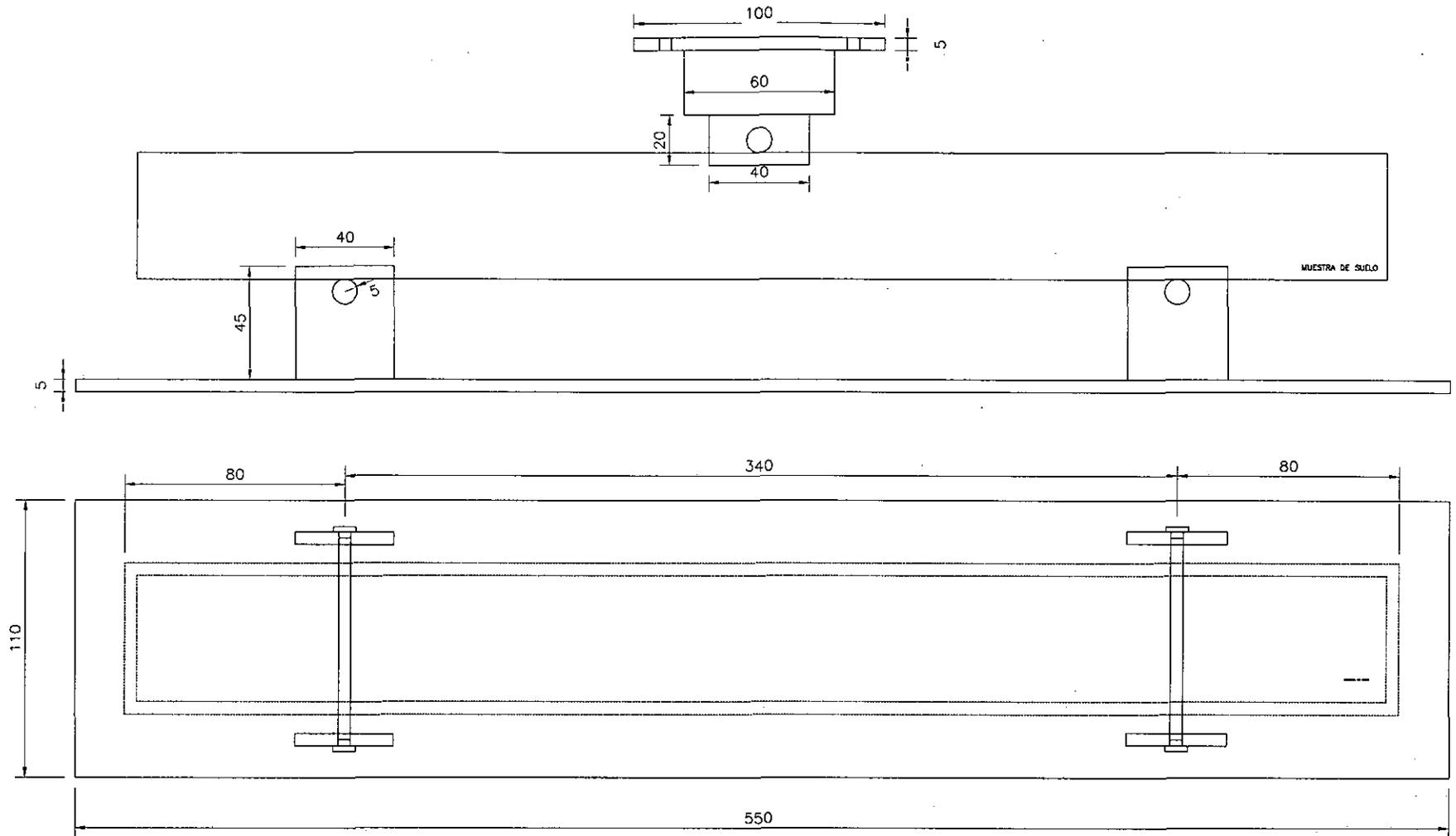
ESCALA: INDICADA

FECHA: JULIO 2009

PLANO N°:

REV. A
 EF-02

ENSAYO DE FLEXIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROYECTISTA:

DISEÑA: M. VARGAS
 DISEÑA: M. VARGAS
 VERIFICA: ING. M. GUTIERREZ
 PROYECTA: M. VARGAS

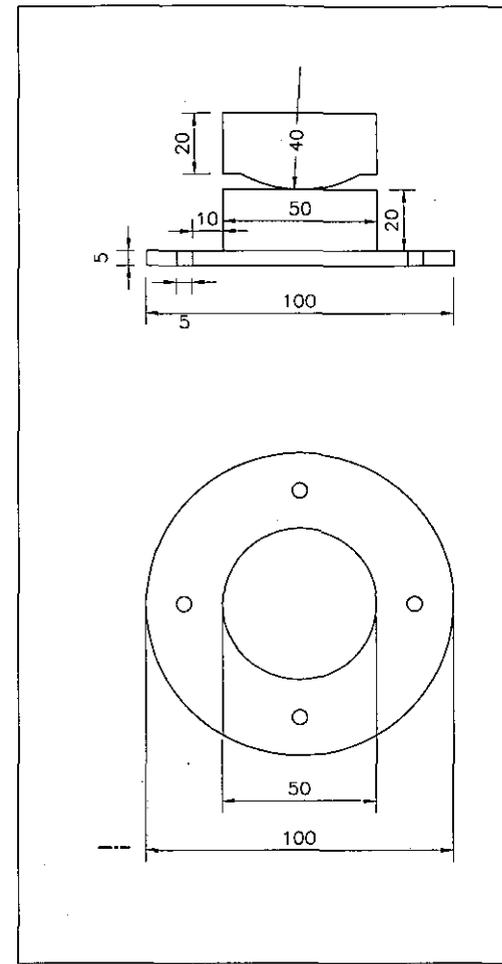
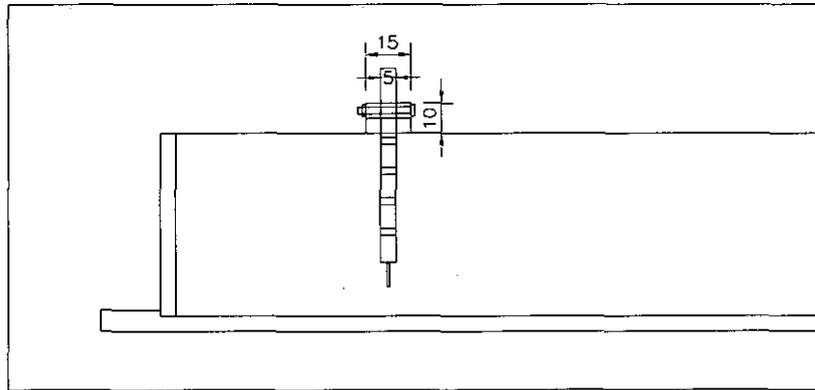
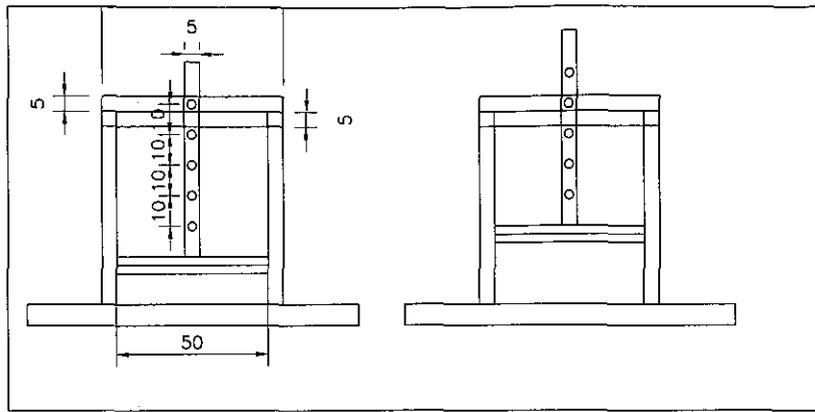
REVISIONES

| NO. | FECHA | DESCRIPCION |
|-----|-------|-------------|
| | | |
| | | |
| | | |

PAVIMENTOS NO TRADICIONALES PARA CARRETERAS DE SELVA
 BAJA CON BAJO VOLUMEN DE TRANSITO, APLICACION:
 CARRETERA CONTAMANA - AGUAS CALIENTES, LORETO

PLANO:
 EQUIPO DE MOLDEO Y ENSAYO PARA DEFLEXION
 UBICACION:
 DEPARTAMENTO DE LORETO

ESCALA: INDICADA
 FECHA: JULIO 2009
 PLANO N°:
 REV. A
 EF-03



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROYECTISTA

Diseño: M. VARGAS
 Dibujo: M. VARGAS
 Verifica: ING. M. GUTIERREZ
 Aprobado: M. VARGAS

| REVISIONES | |
|------------|-------------------|
| Nº | FECHA DESCRIPCIÓN |
| | |
| | |
| | |

PAVIMENTOS NO TRADICIONALES PARA CARRETERAS DE SELVA
 BAJA CON BAJO VOLUMEN DE TRANSITO, APLICACIÓN:
 CARRETERA CONTAMANA - AGUAS CALIENTES, LORETO

PLANO: EQUIPO DE MOLDEO Y ENSAYO PARA DEFLEXIÓN
 UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE LORETO

ESCALA: INDICADA
 FECHA: JULIO 2009
 PLANO Nº: REV. A
 EF-04

Anexo 5: Panel Fotográfico.



Foto N° 01: La ciudad de Contamana se encuentra a treinta minutos en avioneta desde la ciudad de Pucallpa, en la vista abordaje rumbo a la zona de trabajo.



Foto N° 02: Vista aérea de la ciudad de Contamana.



Foto N° 03: Arco de bienvenida a los viajeros a la ciudad de Contamana.



Foto N° 04: Km 0+000, Inicio de la Carretera Contamana – Aguas Calientes, Puente Maquilla.

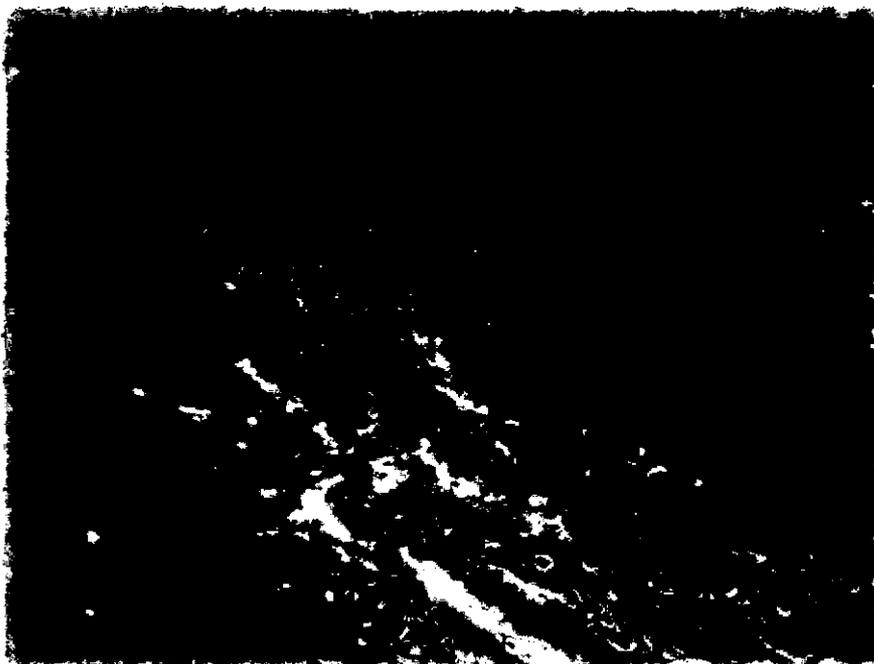


Foto N° 04: Km 3+100, Estado actual de la carretera, se aprecia que las arcillas que conforma la plataforma se encuentran completamente saturadas.



Foto N° 05: Km 16+400, Estado actual de la carretera, se aprecia que la carretera se encuentra completamente inundada.



Foto N° 06: Km 2+000, Ejecución del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), en la calicata ejecutada en esa misma progresiva.

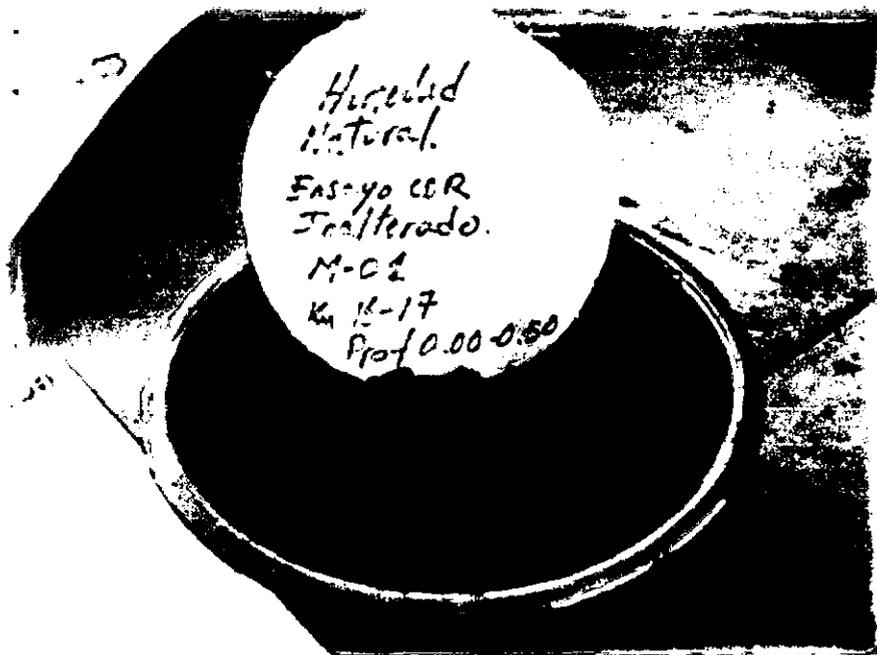


Foto N° 07: Ensayo de Humedad Natural Km 16 - 17, Ejecución del ensayo de humedad natural en muestra inalterada.



Foto N° 08: Ensayo CBR Km 16 - 17, Ejecución del ensayo CBR en muestra inalterada.

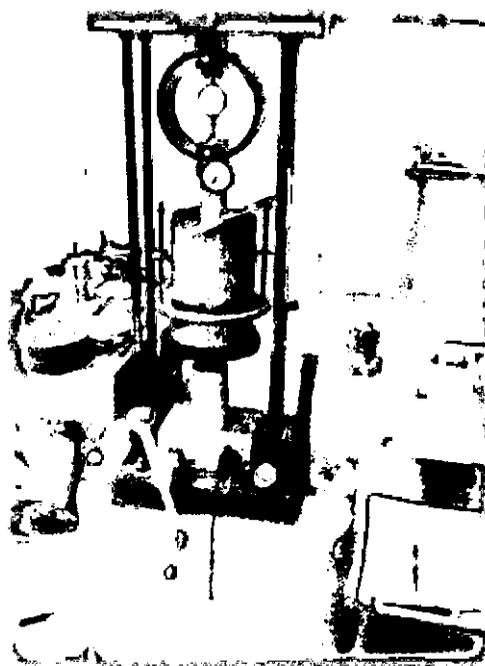


Foto N° 09: Ensayo CBR Km 16 - 17, Ejecución del ensayo CBR en muestra inalterada.



Foto N° 10: Ensayo CBR Km 16 - 17, Ejecución del ensayo CBR en muestra inalterada.



Foto N° 11: Suelo – Cal, Mezclado del Suelo con 2% de cal Hidratada, Ensayo CBR.



Foto N° 12: Suelo – Cal, Moldeo de suelo con 2% de cal Hidratada, Ensayo CBR.

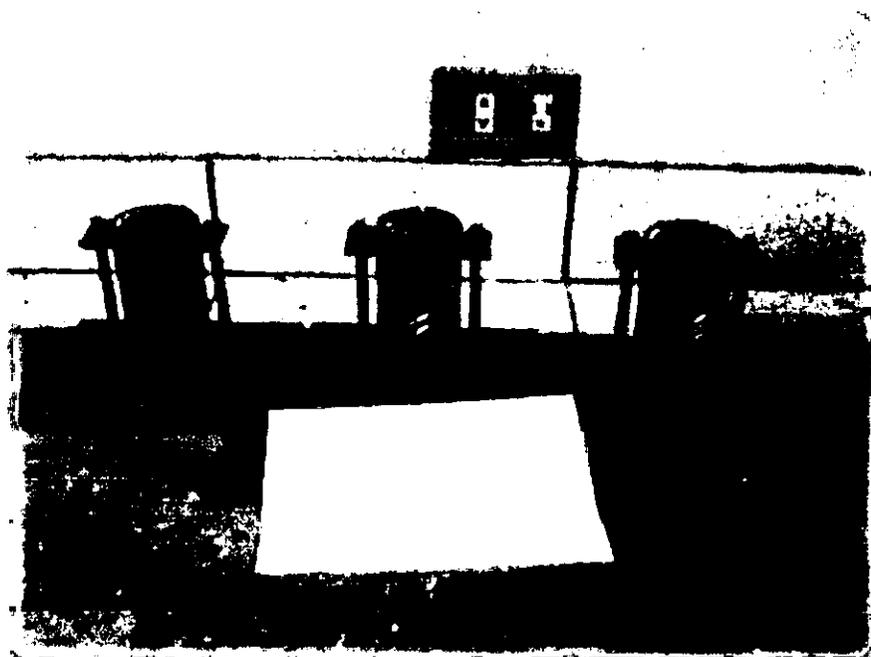


Foto N° 13: Suelo – Cal, Moldeo de suelo con 2% de cal Hidratada, se intento realizar probetas de 5cm de alto con un diámetro de 2cm pero no se pudo controlar el grado de compactación.



Foto N° 14: Suelo – Cal, Moldeo de suelo con 2% de cal Hidratada, como se aprecia en la vista estas probetas no soportaron el curado, foto tomada solo a 1 hora de colocada en curado, por lo que se desestimo este método.



Foto N° 15: Suelo – Cal, Mezclado del Suelo con 4% de cal Hidratada, Ensayo CBR.



Foto N° 16: Suelo – Cal, Moldeo de suelo con 4% de cal Hidratada, Ensayo CBR.



Foto N° 17: Suelo – Cal, Moldeo de suelo con 4% de cal Hidratada, enrase del molde CBR.



Foto N° 18: Suelo – Cal, Mezclado del Suelo con 6% de cal Hidratada, Ensayo CBR.



Foto N° 19: Suelo – Cal, Moldeo de suelo con 6% de cal Hidratada, enrase del molde CBR.

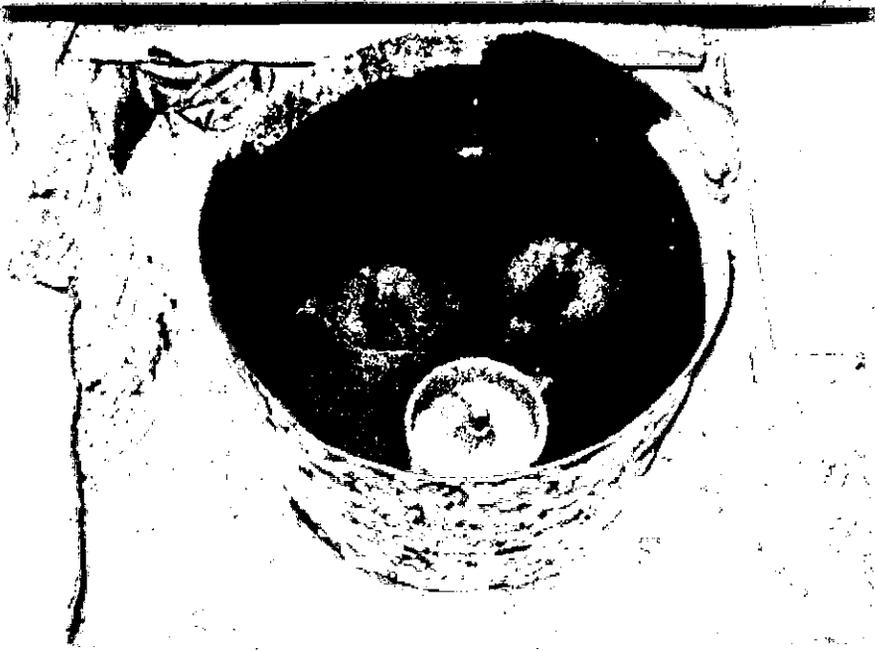


Foto N° 20: Suelo – Cal, inmersión de los especímenes, ensayo CBR.



Foto N° 21: Suelo – Cemento, Mezclado del Suelo con 5% de Cemento, Ensayo CBR.

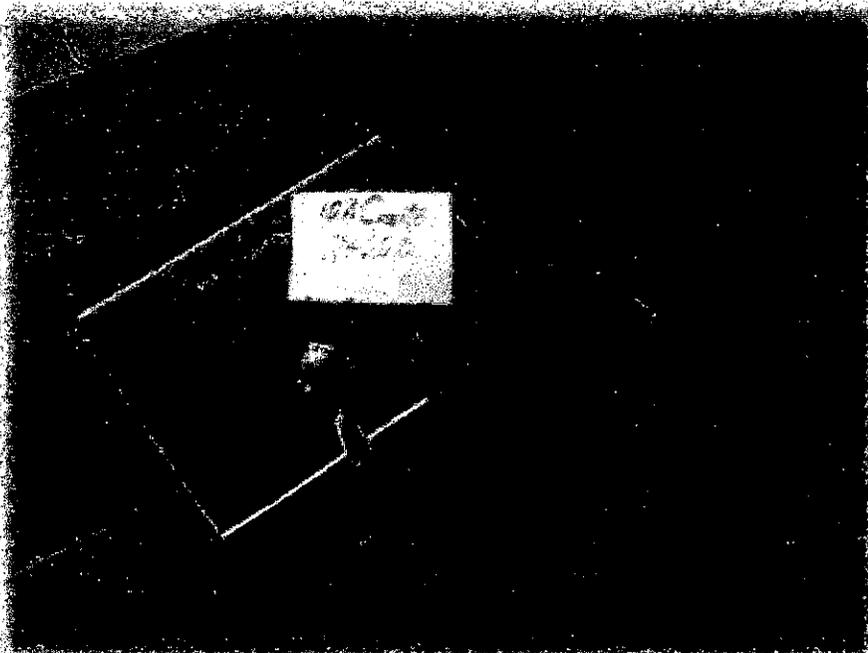


Foto N° 22: Suelo – Cemento, Mezclado del Suelo con 10% de Cemento, Ensayo CBR.



Foto N° 23: Suelo – Cemento, Mezclado del Suelo con 15% de Cemento, Ensayo CBR.



Foto N° 24: Suelo – Cemento, Mezclado del Suelo con 20% de Cemento, Ensayo CBR.



Foto N° 25: Suelo – Cemento, Moldes CBR listos para su inmersión en agua durante 4 días para el ensayo CBR.

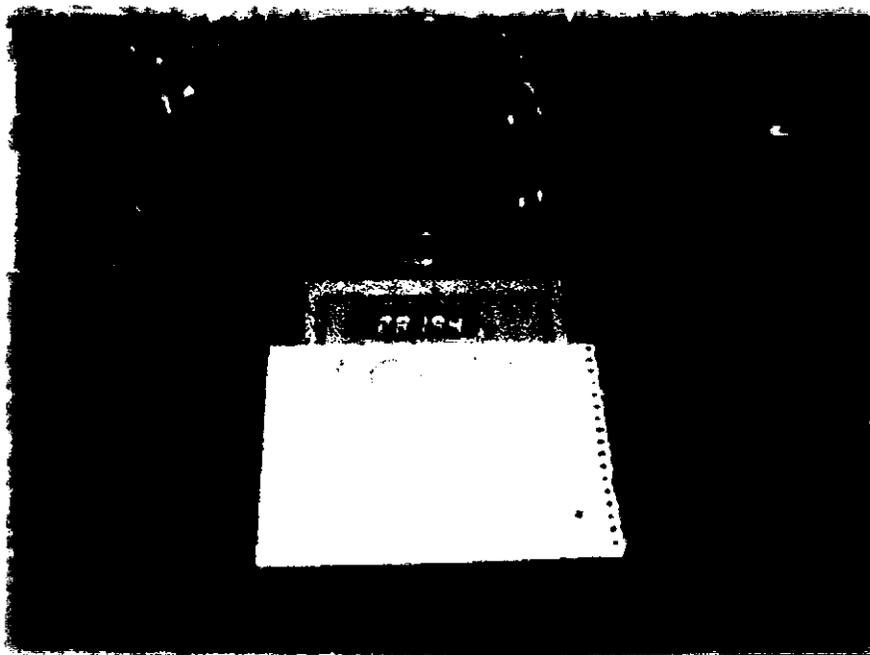


Foto N° 26: Suelo – Asfalto RC-250, Mezclado del RC-250 con 20% de Kerosene.

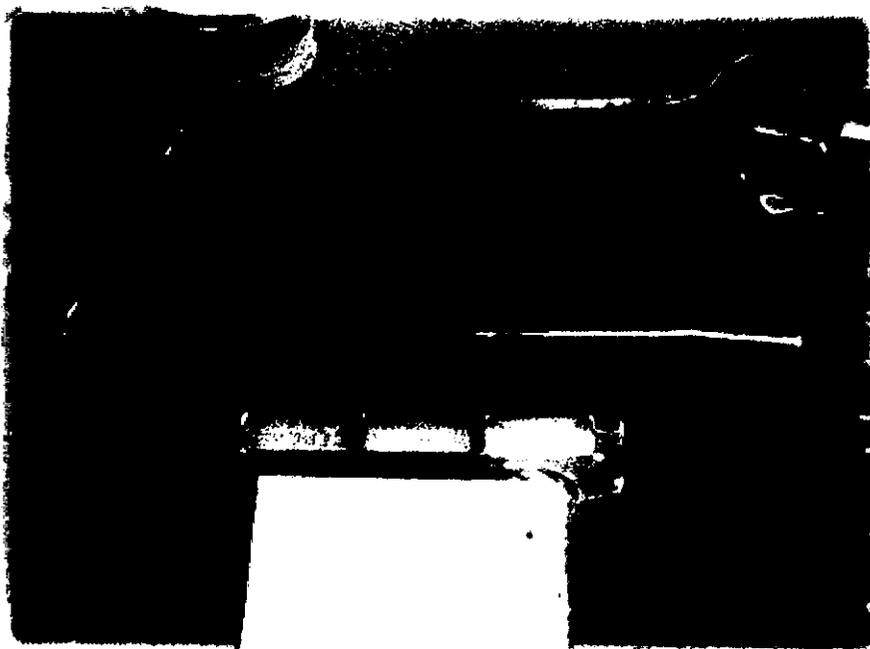


Foto N° 27: Suelo – Asfalto RC-250, Mezclado suelo con 1% de RC-250, ensayo CBR.



Foto N° 28: Suelo – Asfalto RC-250, Moldeo de espécimen para ensayo CBR de suelo con 1% de RC-250.

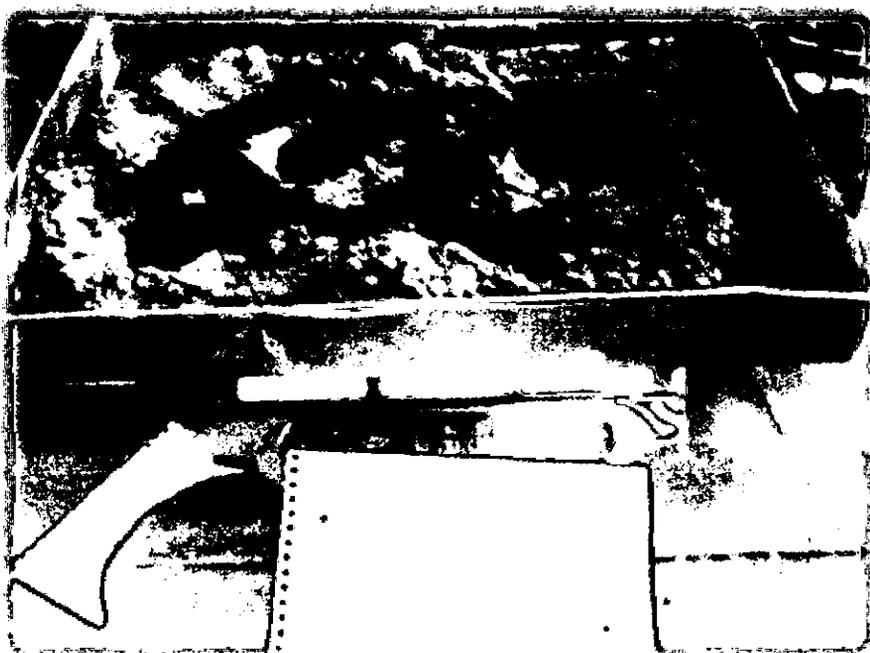


Foto N° 29: Suelo – Asfalto RC-250, Mezclado suelo con 2% de RC-250, ensayo CBR.

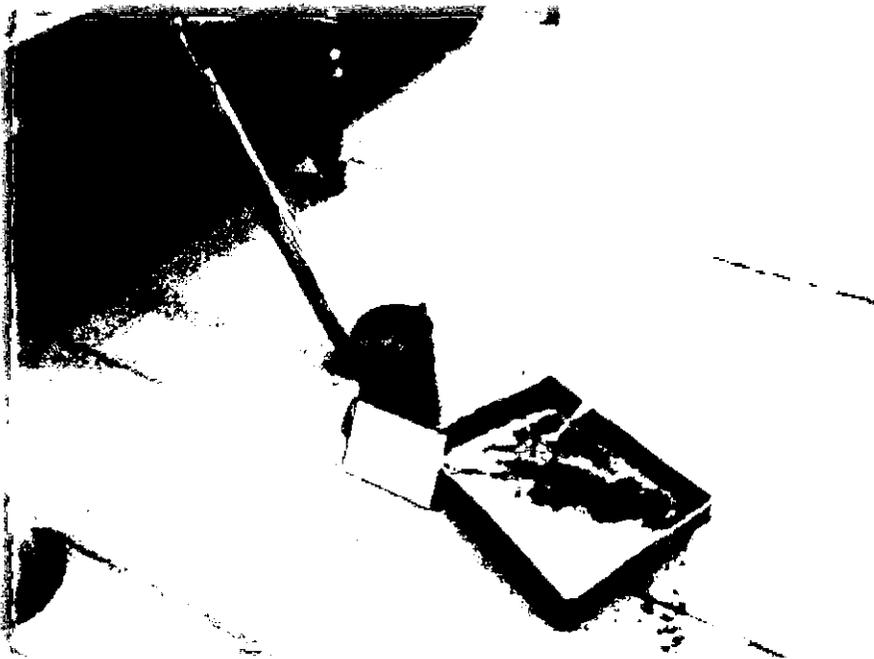


Foto N° 30: Suelo – Asfalto RC-250, Moldeo de espécimen para ensayo CBR de suelo con 2% de RC-250.



Foto N° 31: Suelo – Asfalto RC-250, Moldeo de espécimen para ensayo CBR de suelo con 3% de RC-250.

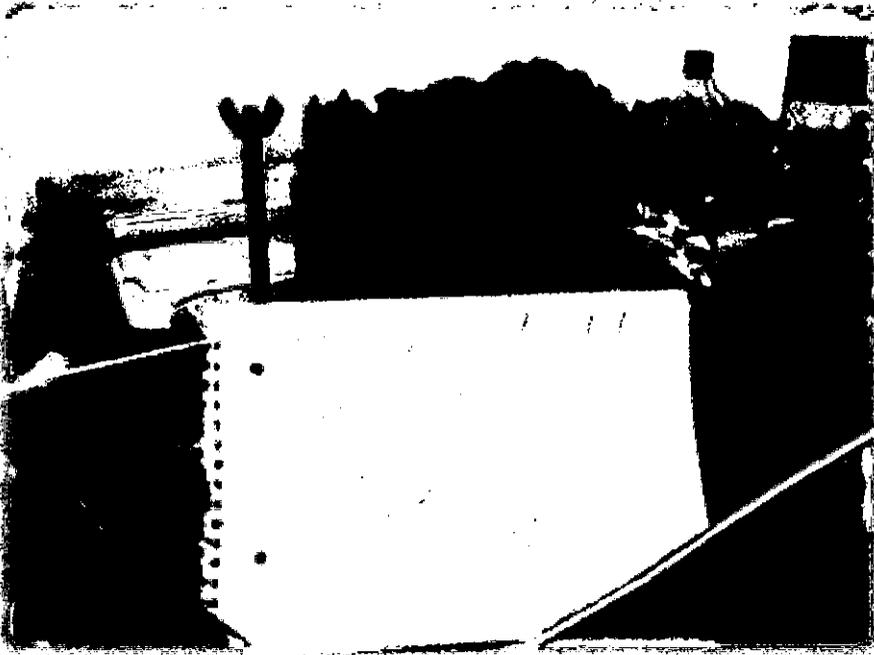


Foto N° 32: Suelo – Asfalto RC-250, Molde para ensayo CBR de suelo con 3% de RC-250.

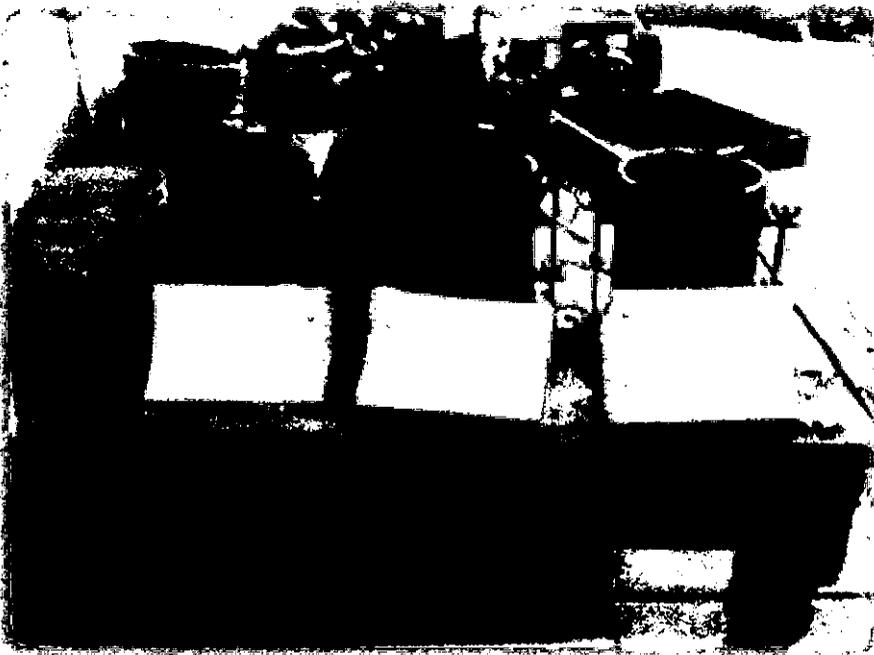


Foto N° 33: Suelo – Asfalto, Moldes CBR listos para su inmersión en agua durante 4 días para el ensayo CBR.



Foto N° 34: Antes de iniciar el ensayo CBR se deja eliminar el agua libre de todos los especímenes a ensayar.



Foto N° 35: Suelo - Cal Hidratada (2%), vista del ensayo CBR.



Foto N° 36: Suelo – Cal Hidratada (2%), vista después del ensayo CBR.

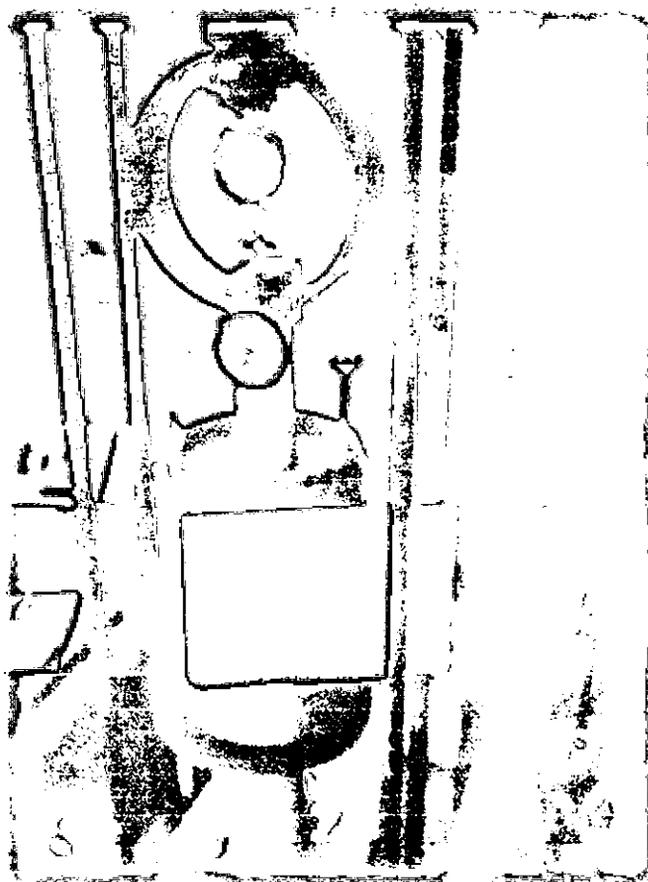


Foto N° 37: Suelo – Cal Hidratada (4%), vista del ensayo CBR.



Foto N° 38: Suelo – Cal Hidratada (4%), vista después del ensayo CBR.

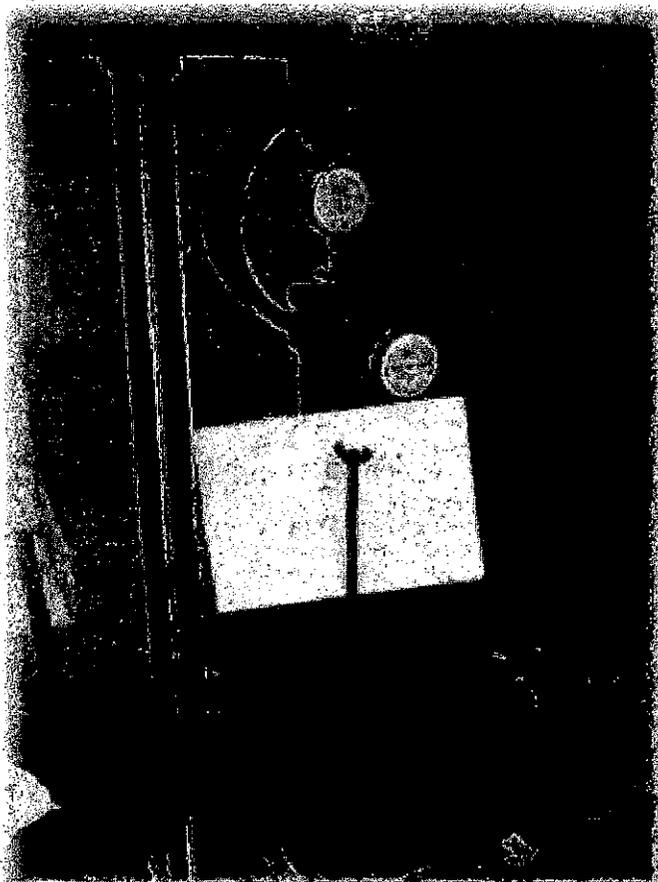


Foto N° 39: Suelo – Cal Hidratada (6%), vista del ensayo CBR.

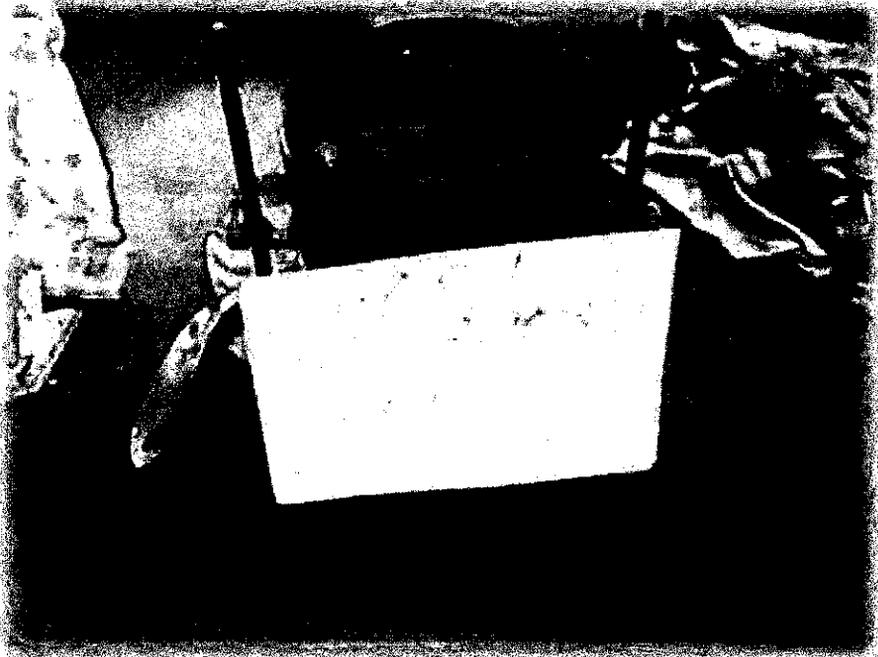


Foto N° 40: Suelo – Cal Hidratada (6%), vista después del ensayo CBR.

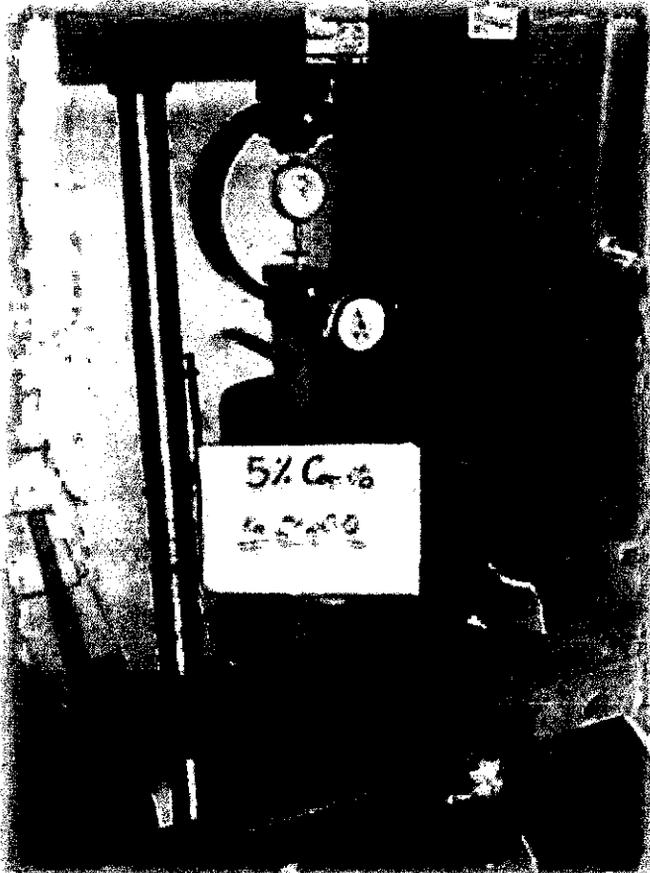


Foto N° 41: Suelo – Cemento (5%), vista del ensayo CBR.

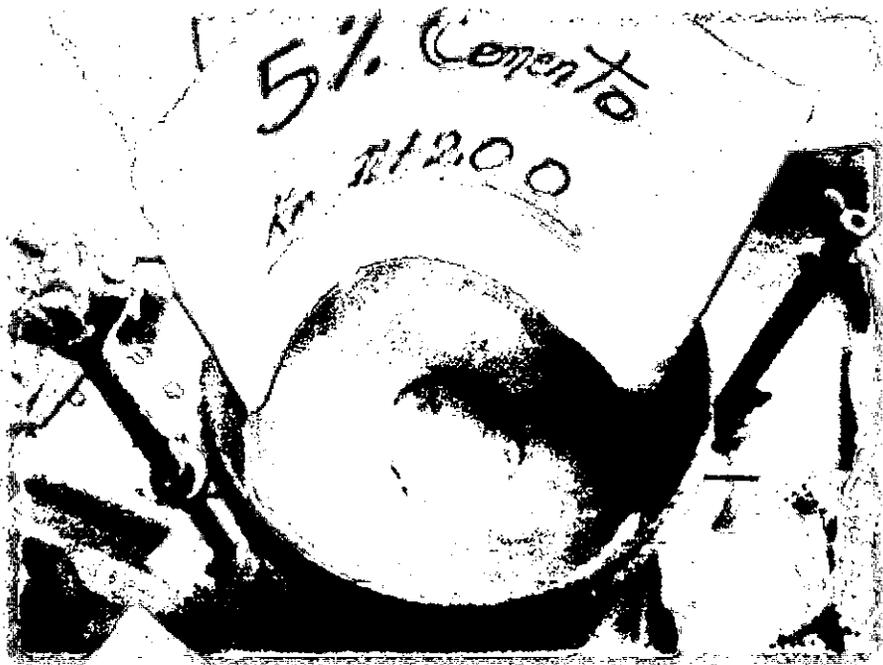


Foto N° 42: Suelo – Cemento (5%), vista después del ensayo CBR.

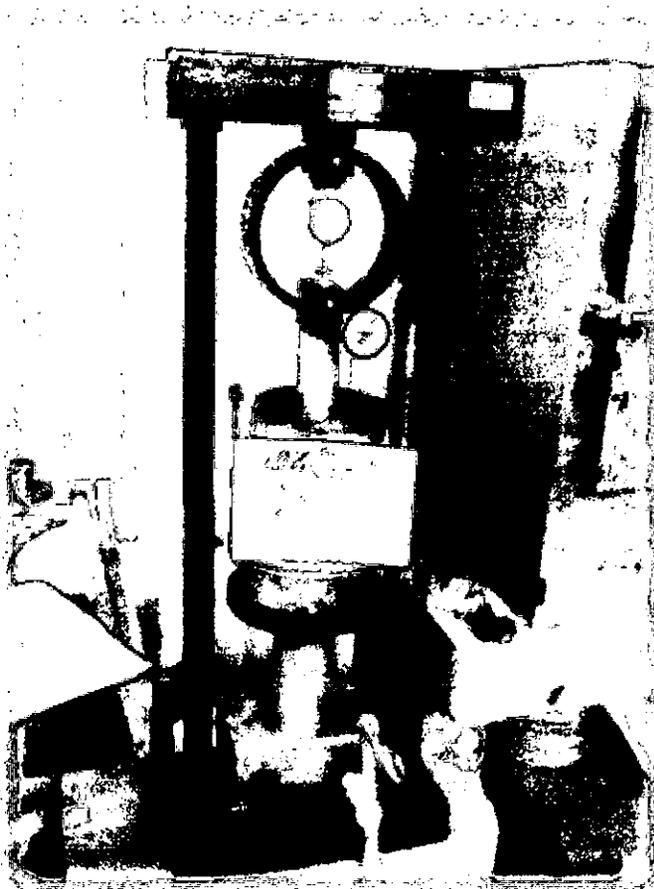


Foto N° 43: Suelo – Cemento (10%), vista del ensayo CBR.

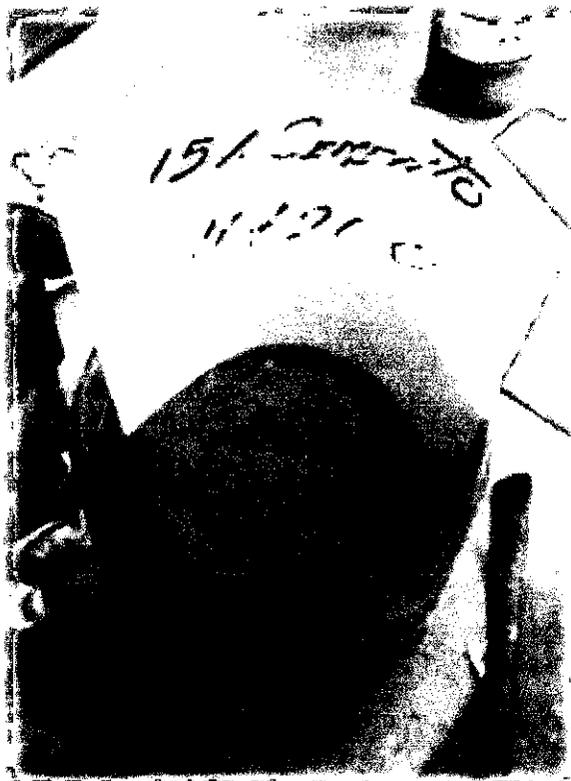


Foto N° 44: Suelo – Cemento (15%), vista después del ensayo CBR, el ensayo CBR para 20% de cemento no se realizó por temor de descalibración el anillo de carga.

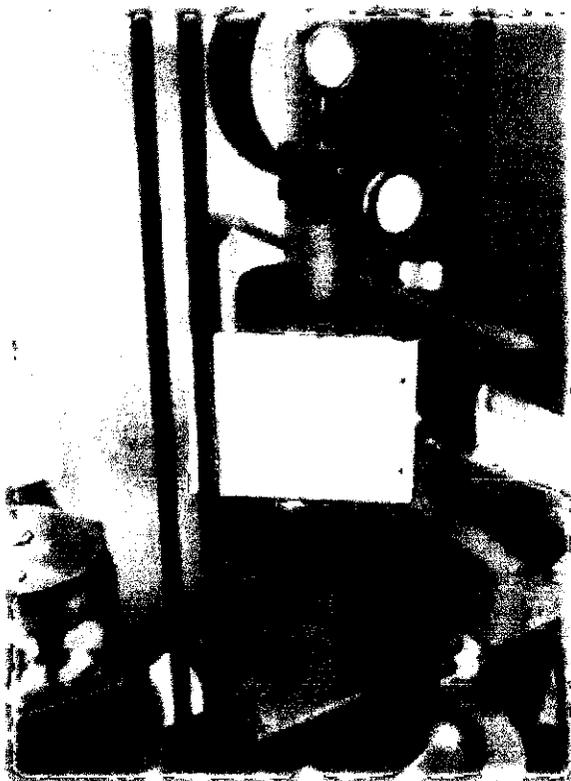


Foto N° 45: Suelo – Asfalto RC-250 (1%), vista del ensayo CBR.



Foto N° 46: Suelo – Asfalto RC-250 (1%), vista después del ensayo CBR.

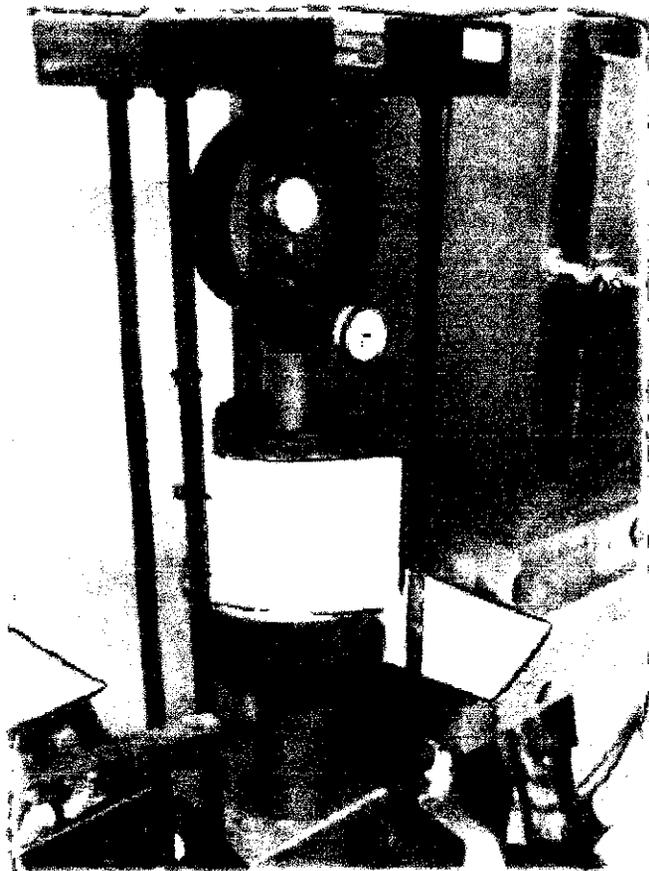


Foto N° 47: Suelo – Asfalto RC-250 (2%), vista del ensayo CBR.



Foto N° 48: Suelo – Asfalto RC-250 (2%), vista después del ensayo CBR.

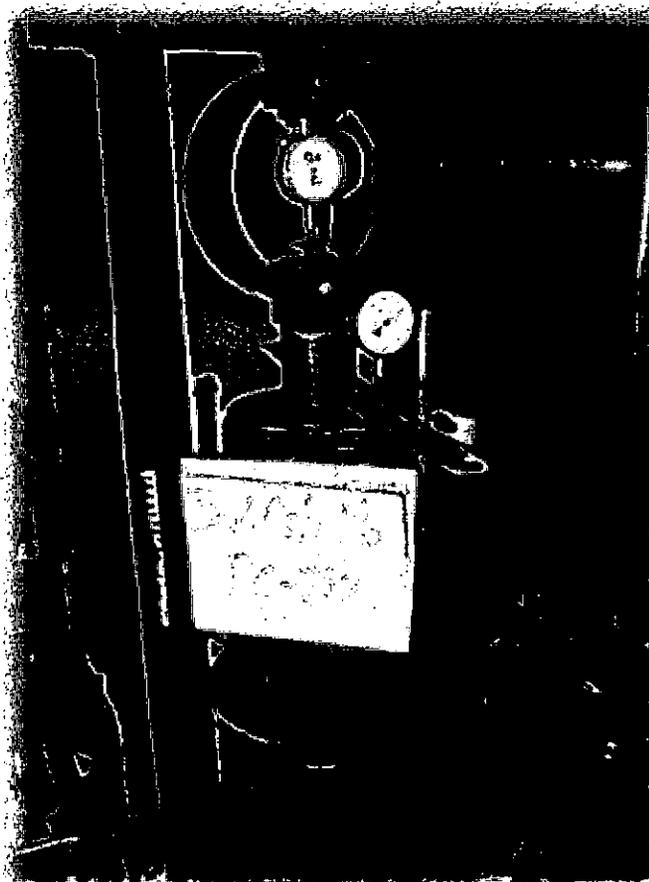


Foto N° 49: Suelo – Asfalto RC-250 (3%), vista del ensayo CBR.



Foto N° 50: Suelo – Asfalto RC-250 (1%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

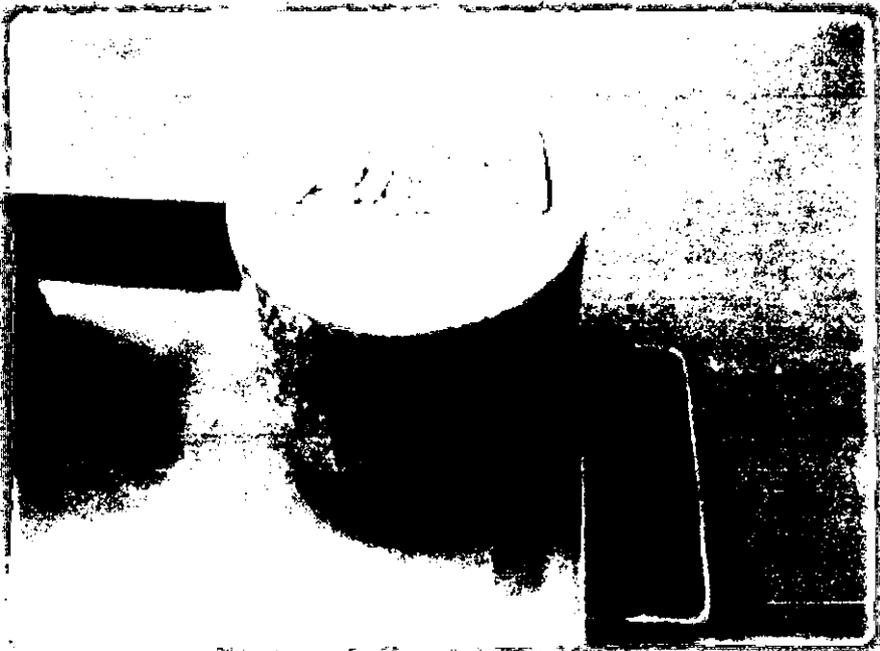


Foto N° 51: Suelo – Asfalto RC-250 (1%), Probeta para compresión simple.

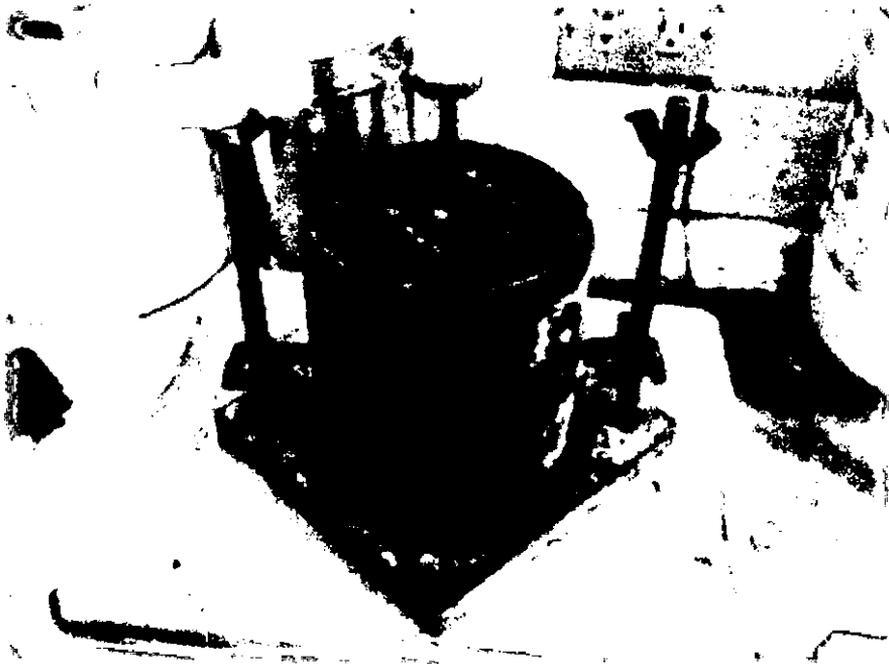


Foto N° 52: Suelo – Asfalto RC-250 (2%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

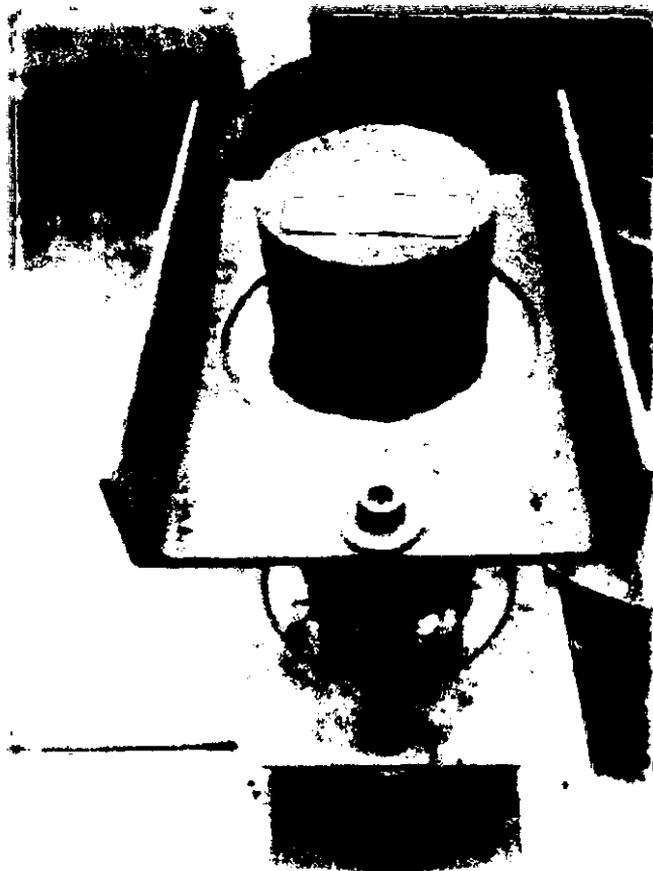


Foto N° 53: Suelo – Asfalto RC-250 (2%), Probeta para compresión simple.



Foto N° 54: Suelo – Asfalto RC-250 (3%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

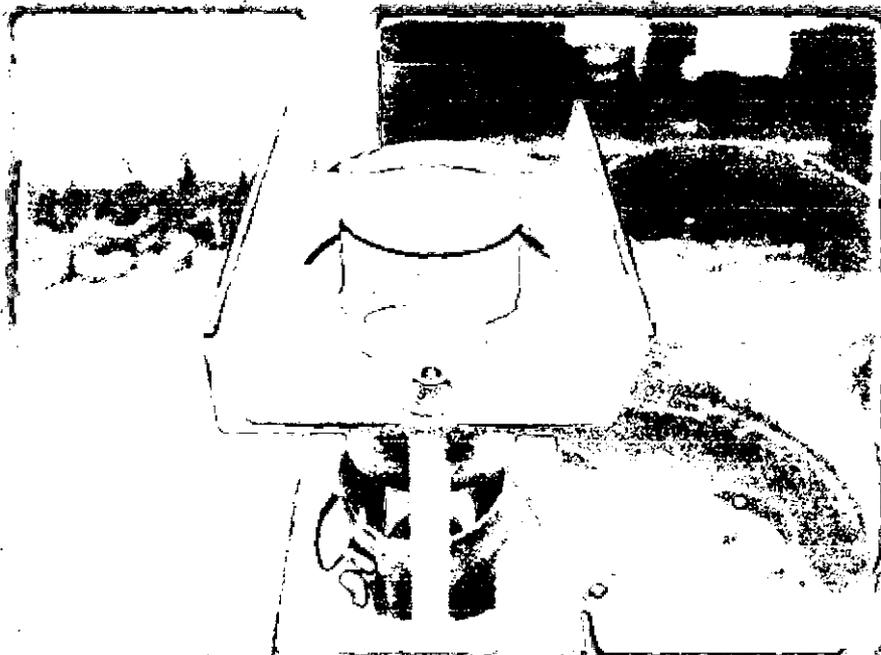


Foto N° 55: Suelo – Asfalto RC-250 (3%), Probeta para compresión simple.

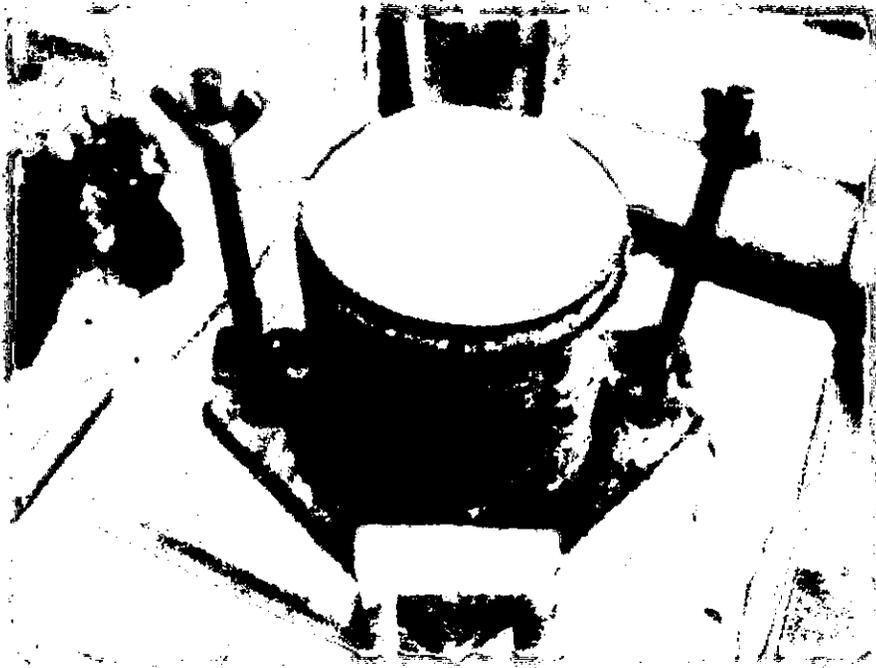


Foto N° 56: Suelo – Cemento (5%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

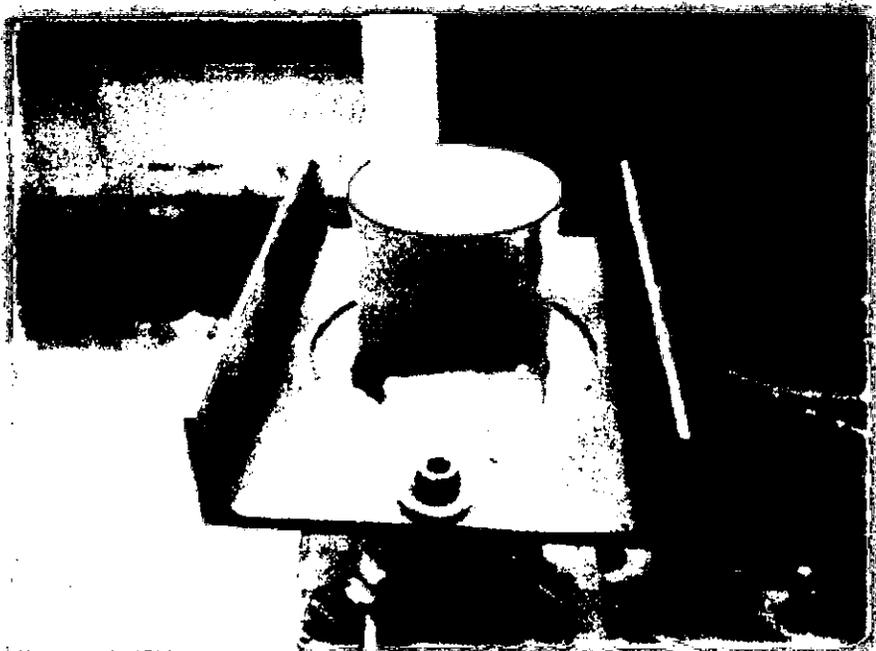


Foto N° 57: Suelo – Cemento (5%), Probeta para compresión simple.



Foto N° 58: Suelo – Cemento (10%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

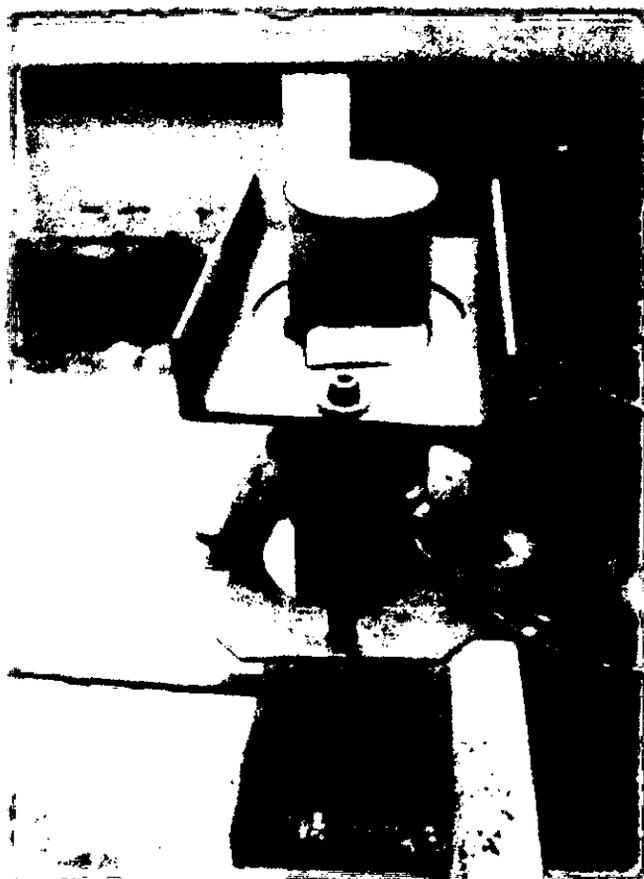


Foto N° 59: Suelo – Cemento (10%), Probeta para compresión simple.

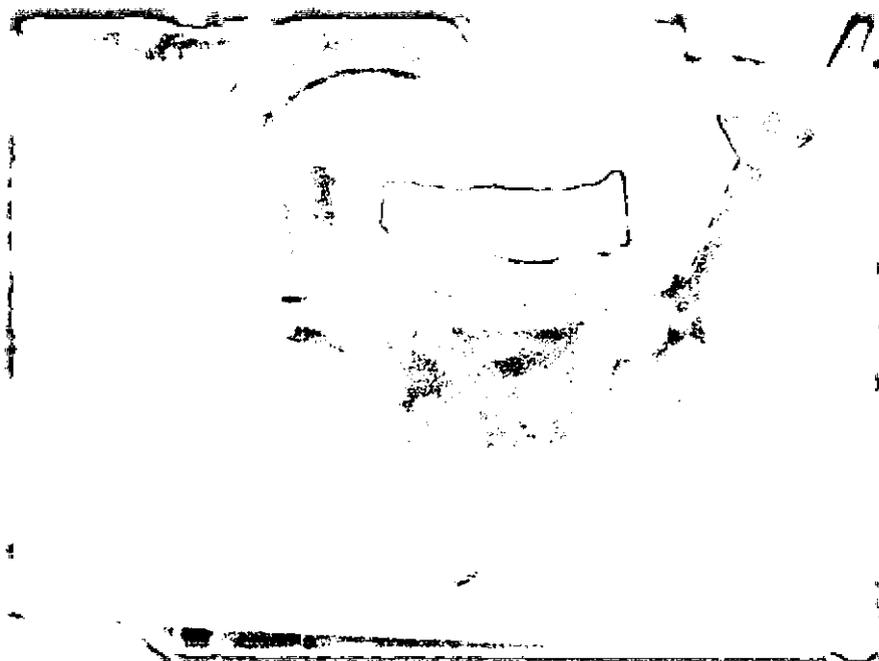


Foto N° 60: Suelo – Cemento (15%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

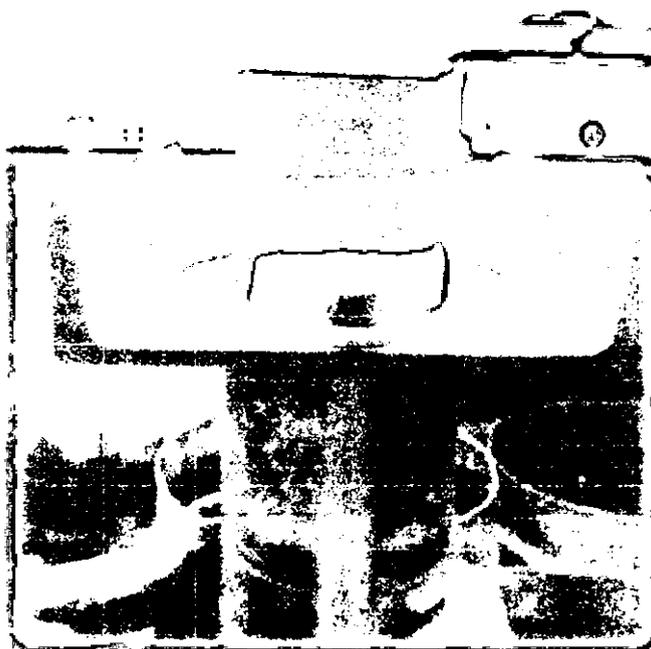


Foto N° 61: Suelo – Cemento (15%), Probeta para compresión simple.

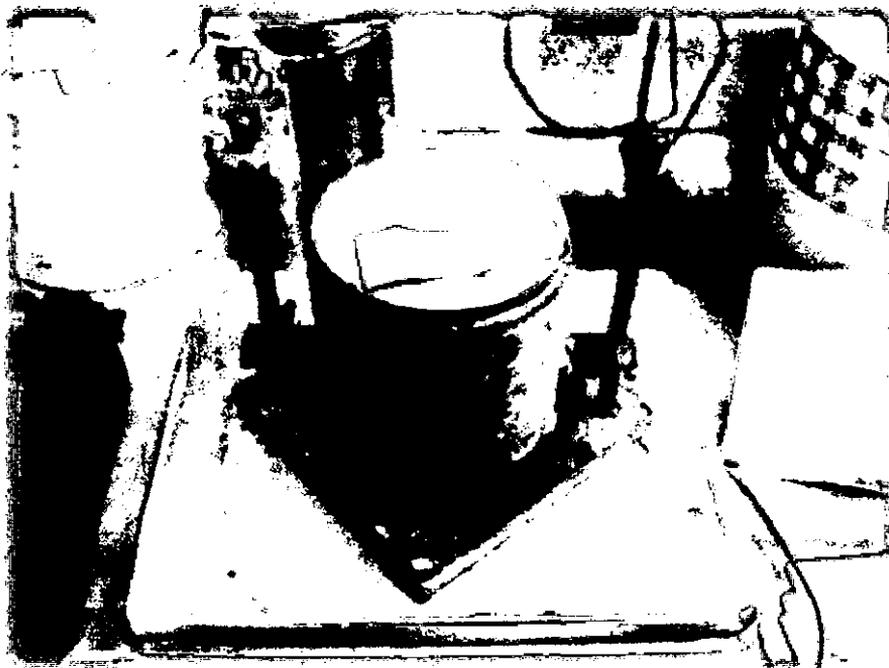


Foto N° 62: Suelo – Cal Hidratada (2%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

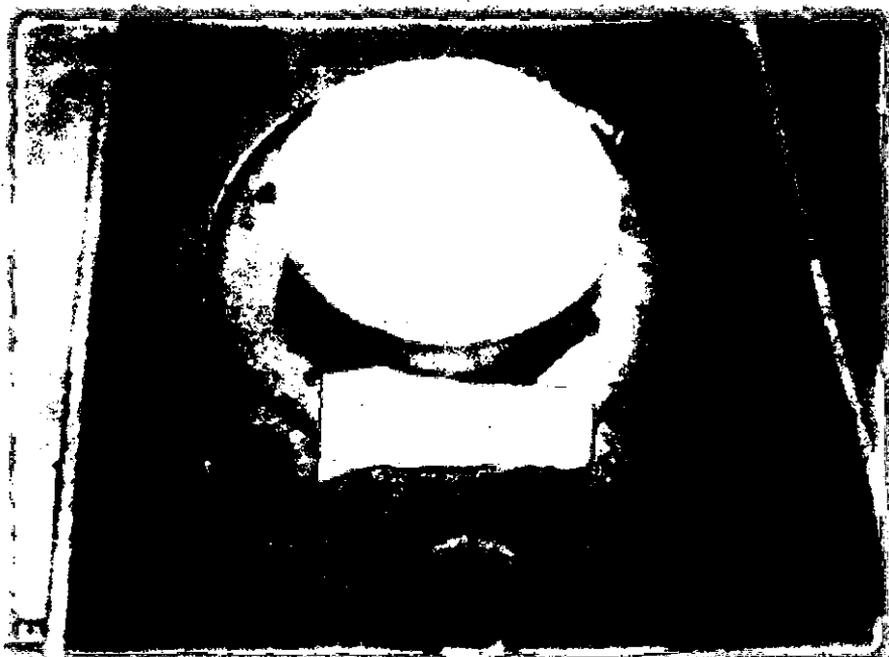


Foto N° 63: Suelo – Cal Hidratada (2%), Probeta para compresión simple.



Foto N° 64: Suelo – Cal Hidratada (4%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

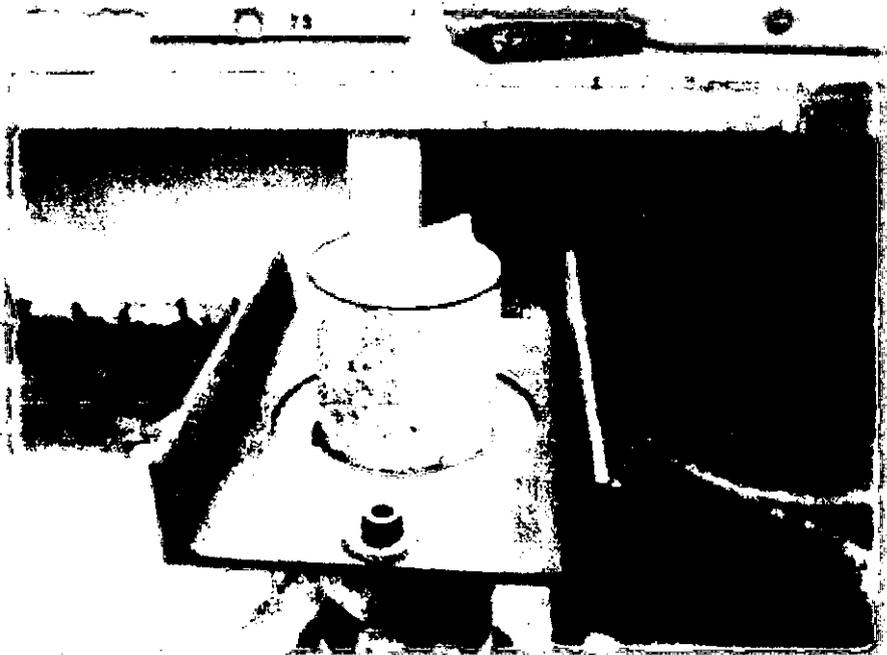


Foto N° 65: Suelo – Cal Hidratada (4%), Probeta para compresión simple.



Foto N° 66: Suelo – Cal Hidratada (6%), Moldeo de Probetas para ensayo de compresión simple, se uso el molde de Proctor Modificado método A.

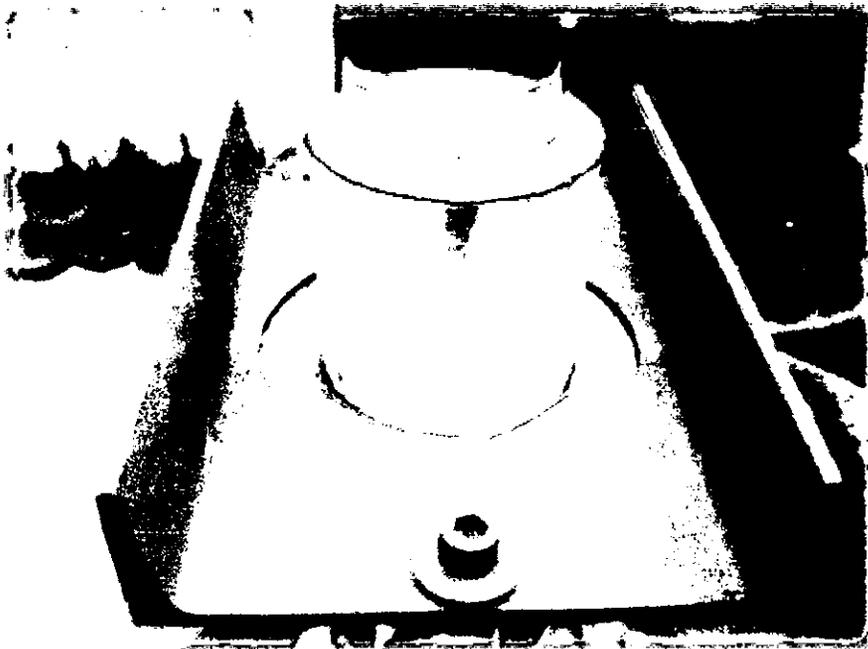


Foto N° 67: Suelo – Cal Hidratada (6%), Probeta para compresión simple.

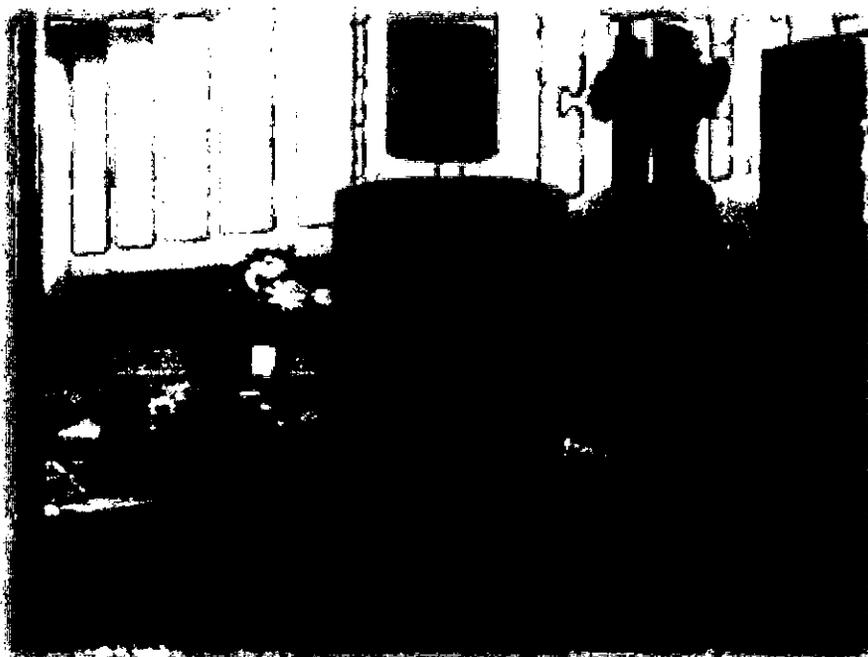


Foto N° 68: Suelo – Asfalto RC – 250 (1%), Ensayo de compresión simple.

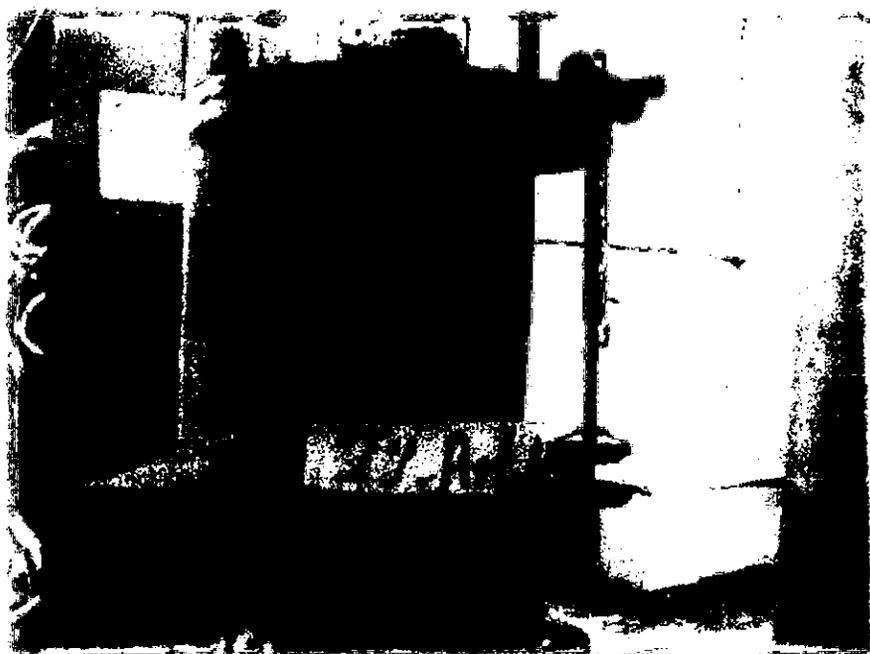


Foto N° 69: Suelo – Asfalto RC – 250 (2%), Ensayo de compresión simple.



Foto N° 70: Suelo – Asfalto RC – 250 (3%), Ensayo de compresión simple.

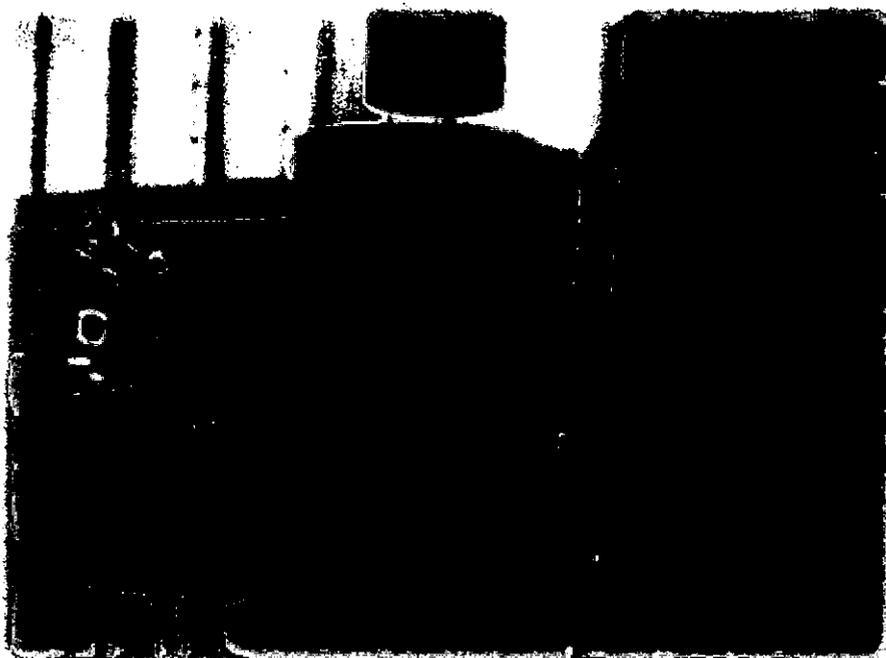


Foto N° 71: Suelo – Cal Hidratada (2%), Ensayo de compresión simple.

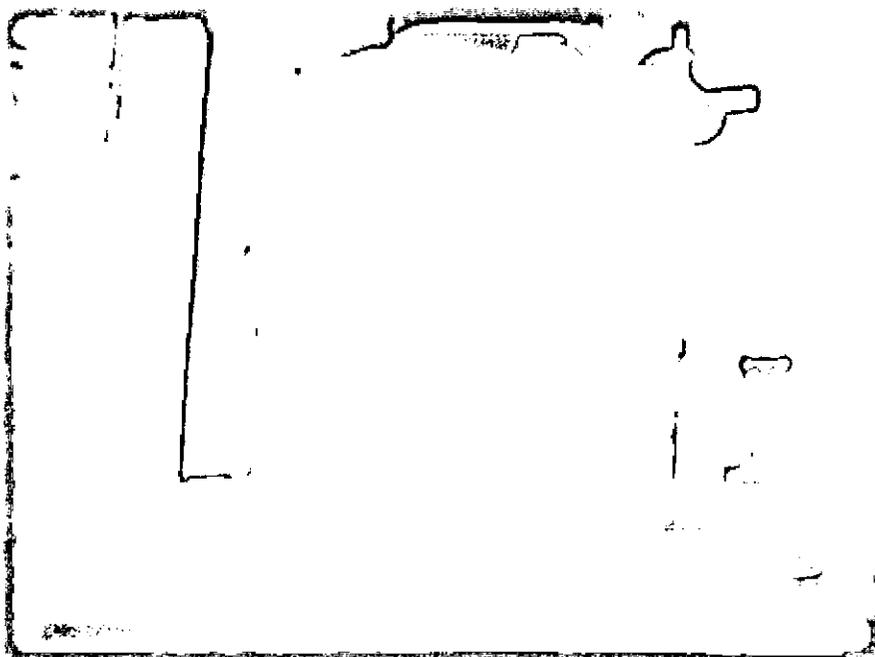


Foto N° 72: Suelo – Cal Hidratada (4%), Ensayo de compresión simple.

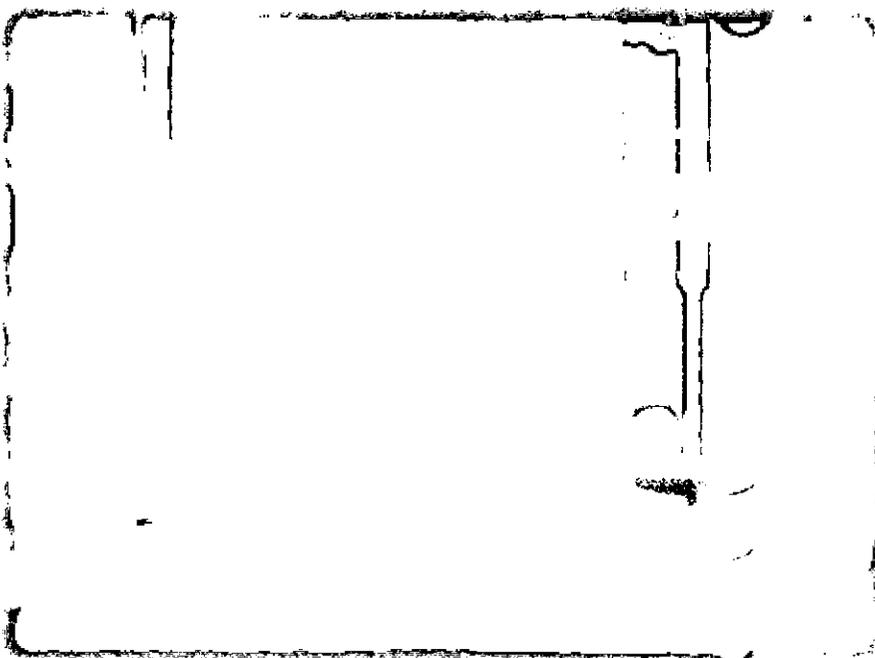


Foto N° 73: Suelo – Cal Hidratada (6%), Ensayo de compresión simple.

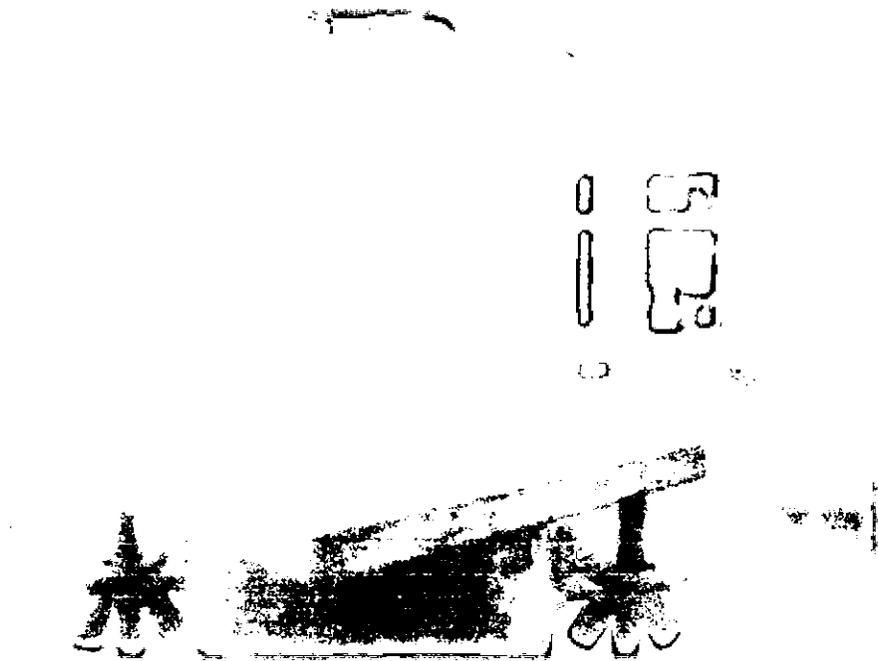


Foto N° 74: Suelo – Cemento (5%), Ensayo de compresión simple.

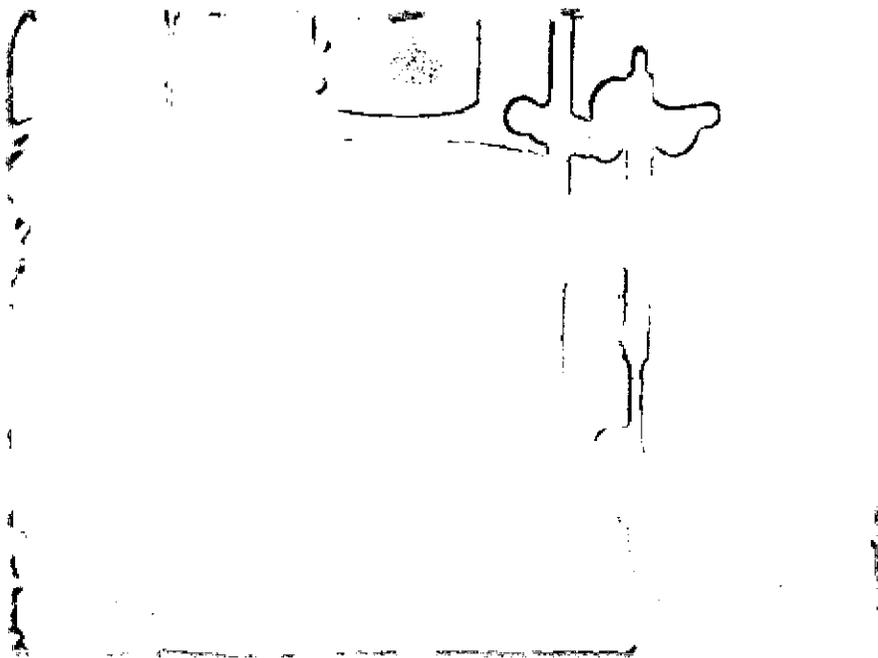


Foto N° 75: Suelo – Cemento (10%), Ensayo de compresión simple.

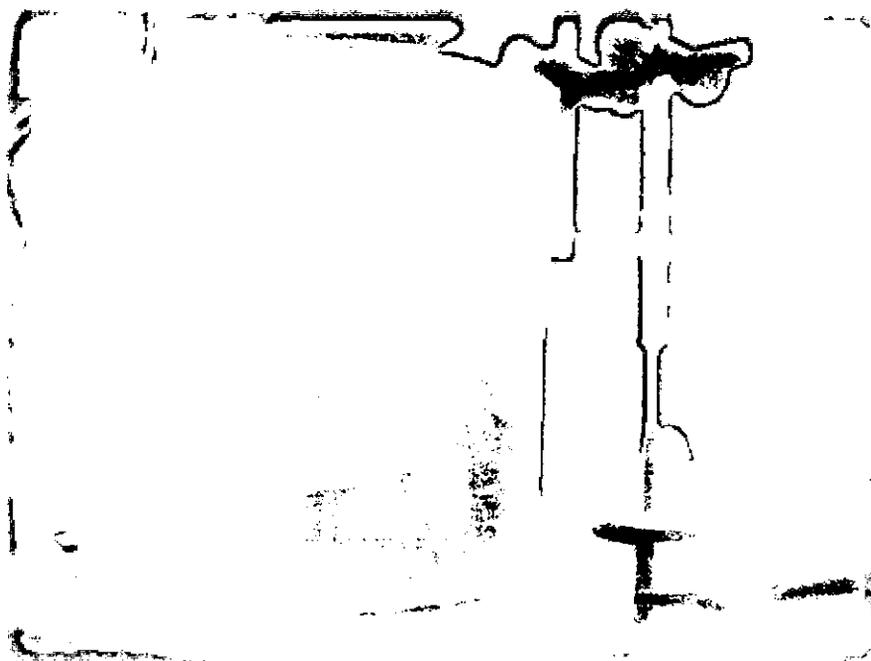


Foto N° 76: Suelo – Cemento (15%), Ensayo de compresión simple.

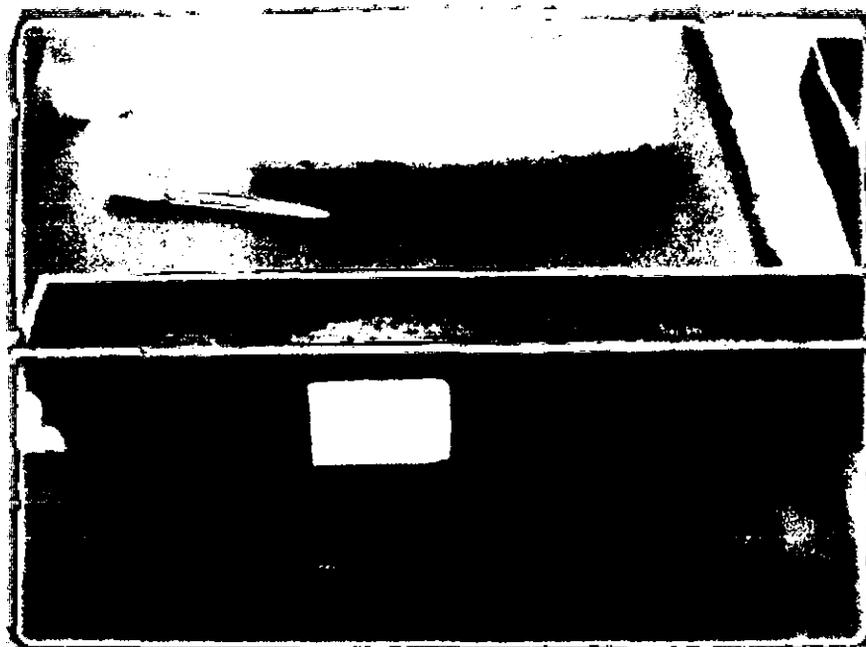


Foto N° 77: Ensayo de Flexión, en la vista se aprecia el colocado de la primera capa (1cm).

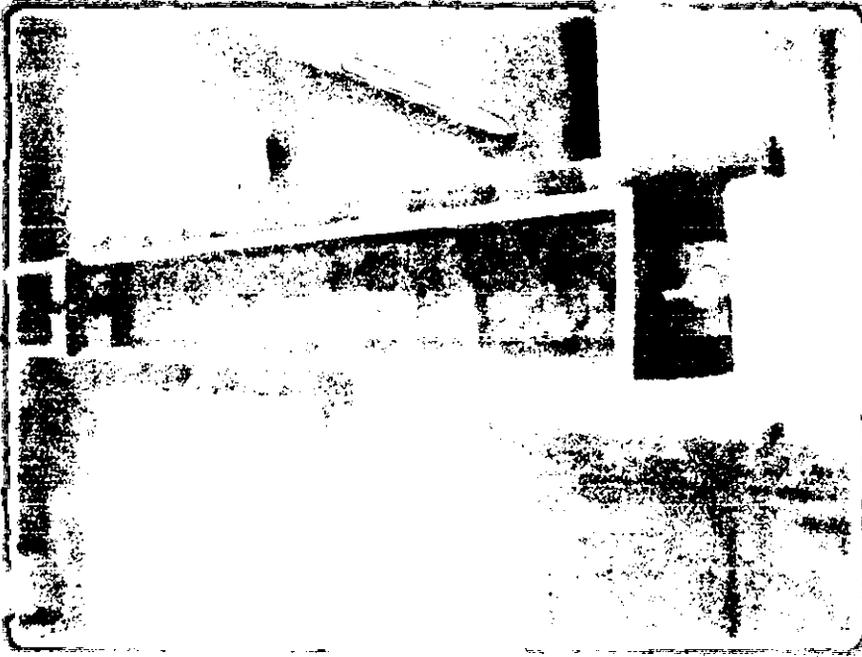


Foto N° 78: Ensayo de Flexión, en la vista se aprecia el esparcido de la primera capa (1cm).

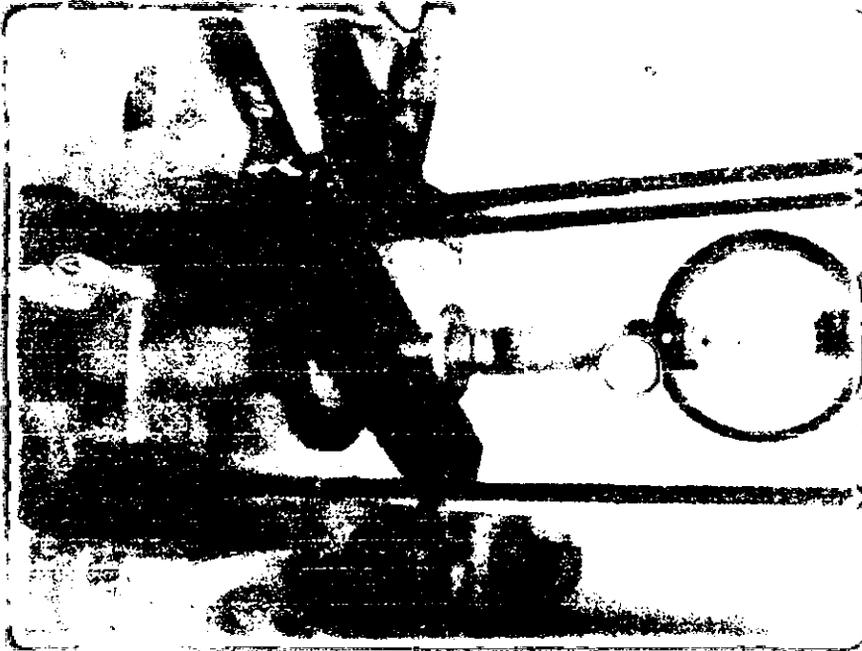


Foto N° 79: Ensayo de Flexión, en la vista se aprecia el compactado de la primera capa (1cm), este procedimiento se repite en todas las capas.



Foto N° 80: Ensayo de Flexión, desmoldado de la viga.

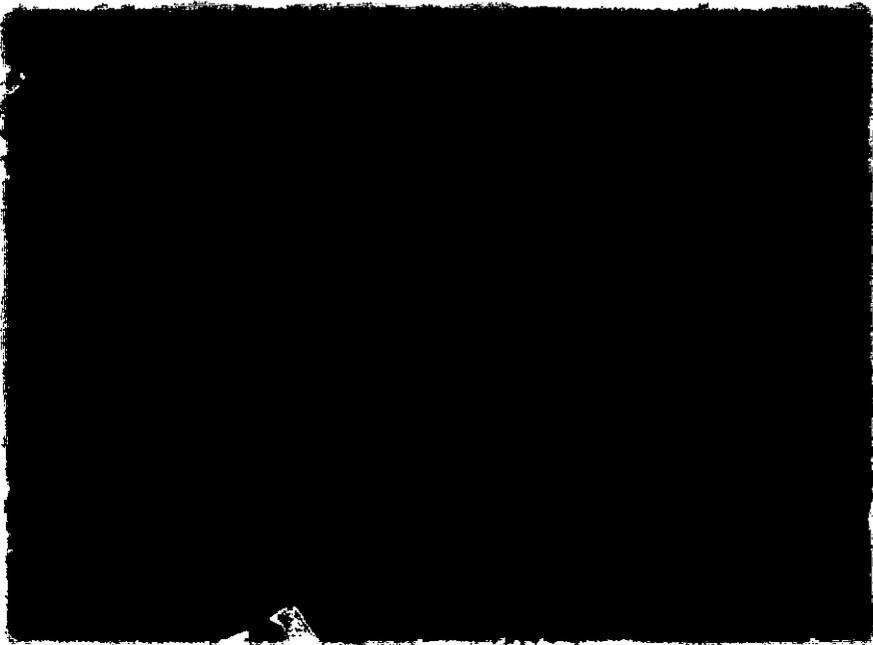


Foto N° 81: Ensayo de Flexión, Una vez desmoldada la viga se en curado.

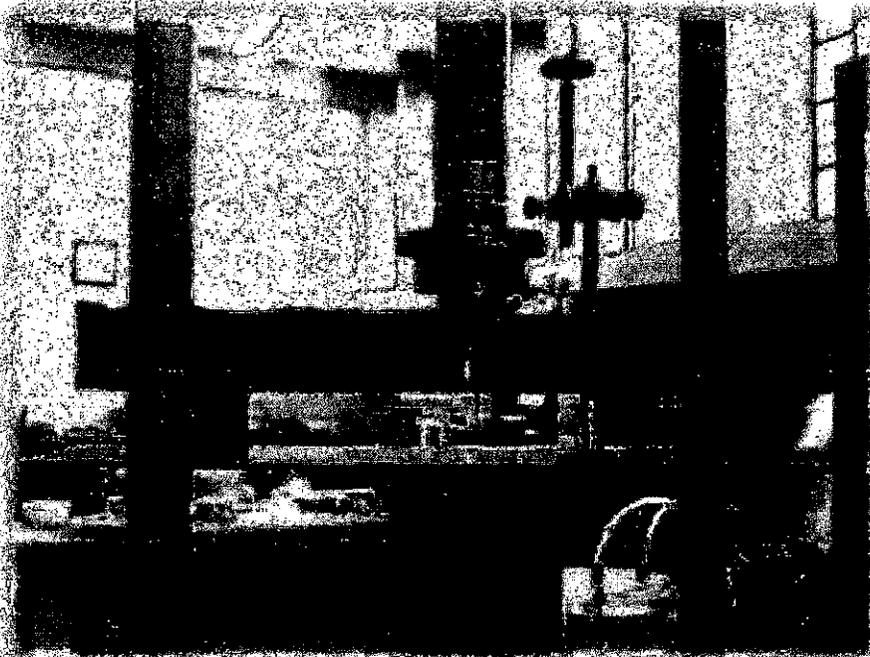


Foto N° 82: Ensayo de Flexión, Ensayo de flexión del espécimen.

Anexo 6: Evaluación Económica.

Presupuesto Alternativa 01

| | Precio S/. | Metrado | Parcial |
|---------------|------------|------------|------------|
| Sub Base | 18.31 | 42,514.88 | 778,447.36 |
| Base | 18.31 | 23,045.40 | 421,961.27 |
| Imprimación | 0.55 | 73,160.00 | 40,238.00 |
| T menor a 1km | 0.65 | 64,482.90 | 41,913.89 |
| T mayor a 1km | 0.74 | 268,097.18 | 198,391.91 |

Costo Directo 1,480,952.43

Analisis de Precios Unitarios

Sub Base Granular

| | MO | EQ | | | Costo por m ³ |
|---------------------------------|--------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| Rendimiento m ³ /dia | 1000 | 1000 | | | 18.31 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material - Sub Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Base

| | MO | EQ | | | Costo por m ³ |
|---------------------------------|----------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| Rendimiento m ³ /dia | 1,000.00 | 1,000.00 | | | 18.31 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Imprimación

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ² /día | 2,000.00 | 2,000.00 | 0.55 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.004 | 12.9 | 0.05 |
| Oficial | HH | 1 | 0.004 | 9.17 | 0.04 |
| Peon | HH | 6 | 0.024 | 8.25 | 0.2 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|---|-------|------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.29 | 0.01 |
| Camion Imprimador de 1800 Gls. | HM | 1 | 0.004 | 62.4 | 0.25 |
| | | | | | 0.26 |

Transporte de Material D menor a 1Km

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|--------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | 500.00 | 500.00 | 0.65 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Oficial | HH | 1 | 0.016 | 9.17 | 0.15 |
| | | | | | 0.15 |

Equipos

| | | | | | |
|---|----|-----|-------|------|------------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.016 | 0.15 | 0 |
| Cargador S/Llantas 200 - 250 HP 4 - 4.1 YD3 | HM | 0.5 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| | | | | | 0.5 |

Transporte de Material D mayorr a 1Km

| | | EQ | Costo por m ³ | | |
|--------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | | 1,500.00 | 0.74 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Equipos

| | | | | | |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.0053 | 140 | 0.74 |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|

Analisis de Precios Unitarios

Sub Base Granular

| Rendimiento m ³ /dia | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| | 1000 | 1000 | 18.31 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material - Sub Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Base

| Rendimiento m ³ /dia | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| | 1,000.00 | 1,000.00 | 18.31 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Imprimación

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| | MO | EQ | | | |
| Rendimiento m ² /dia | 2,000.00 | 2,000.00 | | | Costo por m ³ |
| | | | | | 0.55 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Capataz | HH | 1 | 0.004 | 12.9 | 0.05 |
| Oficial | HH | 1 | 0.004 | 9.17 | 0.04 |
| Peon | HH | 6 | 0.024 | 8.25 | 0.2 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|---|-------|------|------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.29 | 0.01 |
| Camion Imprimador de 1800 Gls. | HM | 1 | 0.004 | 62.4 | 0.25 |
| | | | | | 0.26 |

Transporte de Material D menor a 1Km

| | | | | | |
|--------------------------------|--------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| | MO | EQ | | | |
| Rendimiento m ³ /Km | 500.00 | 500.00 | | | Costo por m ³ |
| | | | | | 0.65 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Oficial | HH | 1 | 0.016 | 9.17 | 0.15 |
| | | | | | 0.15 |

Equipos

| | | | | | |
|---|----|-----|-------|------|-----|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.016 | 0.15 | 0 |
| Cargador S/Llantas 200 - 250 HP 4 - 4.1 YD3 | HM | 0.5 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| | | | | | 0.5 |

Transporte de Material D mayorr a 1Km

| | | | | | |
|--------------------------------|--------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| | | EQ | | | |
| Rendimiento m ³ /Km | | 1,500.00 | | | Costo por m ³ |
| | | | | | 0.74 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Equipos

| | | | | | |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.0053 | 140 | 0.74 |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|

Resumen de Metrados

| Sector | Unidad | 1 | 2 | Total |
|---------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Base (m3) | m3 | 18,144.00 | 4,901.40 | 23,045.40 |
| Sub Base (m3) | m3 | 34,200.00 | 8,314.88 | 42,514.88 |
| Imprimación | m2 | 57,600.00 | 15,560.00 | 73,160.00 |

METRADO DE TRANSPORTE PAGADO

| Ubicación Cantera | Acceso Km | Tramo Km - Km | Volumen m3 | C.G Tramo | Dm Km | Transporte de Cantera | |
|----------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|----------|-----------------------|-------------------|
| | | | | | | d<=1 Km m3-Km | d>1 Km m3-Km |
| Sub Base | | | | | | | |
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 2,375.00 | 0.50 | 10.72 | 2,375.00 | 23,085.00 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 2,375.00 | 1.50 | 9.72 | 2,375.00 | 20,710.00 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 2,375.00 | 2.50 | 8.72 | 2,375.00 | 18,335.00 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 2,375.00 | 3.50 | 7.72 | 2,375.00 | 15,960.00 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 2,375.00 | 4.50 | 6.72 | 2,375.00 | 13,585.00 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 2,375.00 | 5.50 | 5.72 | 2,375.00 | 11,210.00 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 2,375.00 | 6.50 | 4.72 | 2,375.00 | 8,835.00 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 2,375.00 | 7.50 | 3.72 | 2,375.00 | 6,460.00 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 2,375.00 | 8.50 | 2.72 | 2,375.00 | 4,085.00 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 2,375.00 | 9.50 | 1.72 | 2,375.00 | 1,710.00 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 2,375.00 | 10.50 | 0.72 | 1,710.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 2,375.00 | 11.50 | 0.32 | 760.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 2,375.00 | 12.50 | 1.32 | 2,375.00 | 760.00 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 2,375.00 | 13.50 | 2.32 | 2,375.00 | 3,135.00 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 950.00 | 14.20 | 3.02 | 950.00 | 1,919.00 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 1,282.50 | 14.70 | 3.52 | 1,282.50 | 3,231.90 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 2,137.50 | 15.50 | 4.32 | 2,137.50 | 7,096.50 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 2,137.50 | 16.50 | 5.32 | 2,137.50 | 9,234.00 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 2,137.50 | 17.50 | 6.32 | 2,137.50 | 11,371.50 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 2,137.50 | 18.15 | 6.97 | 2,137.50 | 12,760.88 |
| Total | | | 44,032.50 | | | 41,752.50 | 173,483.78 |

| Base | | | | | | | |
|--------------|------|-----------------|------------------|-------|-------|------------------|------------------|
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 1,260.00 | 0.50 | 10.72 | 1,260.00 | 12,247.20 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 1,260.00 | 1.50 | 9.72 | 1,260.00 | 10,987.20 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 1,260.00 | 2.50 | 8.72 | 1,260.00 | 9,727.20 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 1,260.00 | 3.50 | 7.72 | 1,260.00 | 8,467.20 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 1,260.00 | 4.50 | 6.72 | 1,260.00 | 7,207.20 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 1,260.00 | 5.50 | 5.72 | 1,260.00 | 5,947.20 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 1,260.00 | 6.50 | 4.72 | 1,260.00 | 4,687.20 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 1,260.00 | 7.50 | 3.72 | 1,260.00 | 3,427.20 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 1,260.00 | 8.50 | 2.72 | 1,260.00 | 2,167.20 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 1,260.00 | 9.50 | 1.72 | 1,260.00 | 907.20 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 1,260.00 | 10.50 | 0.72 | 907.20 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 1,260.00 | 11.50 | 0.32 | 403.20 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 1,260.00 | 12.50 | 1.32 | 1,260.00 | 403.20 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 1,260.00 | 13.50 | 2.32 | 1,260.00 | 1,663.20 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 504.00 | 14.20 | 3.02 | 504.00 | 1,018.08 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 756.00 | 14.70 | 3.52 | 756.00 | 1,905.12 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 1,260.00 | 15.50 | 4.32 | 1,260.00 | 4,183.20 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 1,260.00 | 16.50 | 5.32 | 1,260.00 | 5,443.20 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 1,260.00 | 17.50 | 6.32 | 1,260.00 | 6,703.20 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 1,260.00 | 18.15 | 6.97 | 1,260.00 | 7,522.20 |
| Total | | | 23,940.00 | | | 22,730.40 | 94,613.40 |

Total

| d<=1 Km m3-Km | d>1 Km m3-Km |
|------------------|-------------------|
| 64,482.90 | 268,097.18 |

Presupuesto Alternativa 02

| | Precio S/. | Metrado | Parcial |
|---------------|------------|------------|--------------|
| Sub Base | 18.31 | 26,063.25 | 477,218.11 |
| Base | 253.23 | 7,681.80 | 1,945,262.21 |
| Imprimación | 0.55 | 73,160.00 | 40,238.00 |
| T menor a 1km | 1.3 | 33,687.00 | 43,793.10 |
| T mayor a 1km | 0.74 | 190,646.25 | 141,078.23 |

Costo Directo 2,647,589.65

Análisis de precios Unitarios.

Sub Base Granular

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /dia | 1000 | 1000 | 18.31 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |

0.57

Equipos

| | | | | | |
|--|-----|---|-------|--------|------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |

1.33

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|-------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material - Sub Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |

16.41

Base

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /dia | 1,000.00 | 1,000.00 | 253.23 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |

0.57

Equipos

| | | | | | |
|--|-----|---|-------|--------|------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |

1.33

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|------|------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 200 | 250 |

251.33

Imprimación

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ² /dia | 2,000.00 | 2,000.00 | 0.55 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Capataz | HH | 1 | 0.004 | 12.9 | 0.05 |
| Oficial | HH | 1 | 0.004 | 9.17 | 0.04 |
| Peon | HH | 6 | 0.024 | 8.25 | 0.2 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|---|-------|------|------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.29 | 0.01 |
| Camion Imprimador de 1800 Gls. | HM | 1 | 0.004 | 62.4 | 0.25 |
| | | | | | 0.26 |

Transporte de Material D menor a 1Km

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|--------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | 250.00 | 250.00 | 1.3 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Oficial | HH | 1 | 0.032 | 9.17 | 0.29 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|---|----|-----|-------|------|------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.032 | 0.29 | 0.01 |
| Cargador S/Llantas 200 - 250 HP 4 - 4.1 YD3 | HM | 0.5 | 0.016 | 62.4 | 1 |
| | | | | | 1.01 |

Transporte de Material D mayorr a 1Km

| | EQ | Costo por m ³ | | | |
|--------------------------------|----------|--------------------------|----------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | 1,500.00 | 0.74 | | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Equipos

| | | | | | |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.0053 | 140 | 0.74 |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|

Resumen de Metrados.

| Sector | Unidad | 1 | 2 | Total |
|---------------|--------|-----------|-----------|------------------|
| Base (m3) | m3 | 6,048.00 | 1,633.80 | 7,681.80 |
| Sub Base (m3) | m3 | 20,520.00 | 5,543.25 | 26,063.25 |
| Imprimación | m2 | 57,600.00 | 15,560.00 | 73,160.00 |

METRADO DE TRANSPORTE PAGADO

| Ubicación Cantera | Acceso Km | Tramo Km - Km | Volumen m3 | C.G Tramo | Dm Km | Transporte de Cantera | |
|----------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|----------|-----------------------|-------------------|
| | | | | | | d<=1 Km m3-Km | d>1 Km m3-Km |
| Sub Base | | | | | | | |
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 1,425.00 | 0.50 | 10.72 | 1,425.00 | 13,851.00 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 1,425.00 | 1.50 | 9.72 | 1,425.00 | 12,426.00 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 1,425.00 | 2.50 | 8.72 | 1,425.00 | 11,001.00 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 1,425.00 | 3.50 | 7.72 | 1,425.00 | 9,576.00 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 1,425.00 | 4.50 | 6.72 | 1,425.00 | 8,151.00 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 1,425.00 | 5.50 | 5.72 | 1,425.00 | 6,726.00 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 1,425.00 | 6.50 | 4.72 | 1,425.00 | 5,301.00 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 1,425.00 | 7.50 | 3.72 | 1,425.00 | 3,876.00 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 1,425.00 | 8.50 | 2.72 | 1,425.00 | 2,451.00 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 1,425.00 | 9.50 | 1.72 | 1,425.00 | 1,026.00 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 1,425.00 | 10.50 | 0.72 | 1,026.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 1,425.00 | 11.50 | 0.32 | 456.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 1,425.00 | 12.50 | 1.32 | 1,425.00 | 456.00 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 1,425.00 | 13.50 | 2.32 | 1,425.00 | 1,881.00 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 570.00 | 14.20 | 3.02 | 570.00 | 1,151.40 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 855.00 | 14.70 | 3.52 | 855.00 | 2,154.60 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 1,425.00 | 15.50 | 4.32 | 1,425.00 | 4,731.00 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 1,425.00 | 16.50 | 5.32 | 1,425.00 | 6,156.00 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 1,425.00 | 17.50 | 6.32 | 1,425.00 | 7,581.00 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 1,425.00 | 18.15 | 6.97 | 1,425.00 | 8,507.25 |
| Total | | | 27,075.00 | | | 25,707.00 | 107,003.25 |

| Base - Material de Aguaytia | | | | | | | |
|------------------------------------|------|-----------------|-----------------|-------|-------|-----------------|------------------|
| | 2.00 | - 1.000 | 420.00 | 0.50 | 2.50 | 420.00 | 630.00 |
| | 2.00 | 1.000 - 2.000 | 420.00 | 1.50 | 3.50 | 420.00 | 1,050.00 |
| | 2.00 | 2.000 - 3.000 | 420.00 | 2.50 | 4.50 | 420.00 | 1,470.00 |
| | 2.00 | 3.000 - 4.000 | 420.00 | 3.50 | 5.50 | 420.00 | 1,890.00 |
| | 2.00 | 4.000 - 5.000 | 420.00 | 4.50 | 6.50 | 420.00 | 2,310.00 |
| | 2.00 | 5.000 - 6.000 | 420.00 | 5.50 | 7.50 | 420.00 | 2,730.00 |
| | 2.00 | 6.000 - 7.000 | 420.00 | 6.50 | 8.50 | 420.00 | 3,150.00 |
| | 2.00 | 7.000 - 8.000 | 420.00 | 7.50 | 9.50 | 420.00 | 3,570.00 |
| | 2.00 | 8.000 - 9.000 | 420.00 | 8.50 | 10.50 | 420.00 | 3,990.00 |
| | 2.00 | 9.000 - 10.000 | 420.00 | 9.50 | 11.50 | 420.00 | 4,410.00 |
| | 2.00 | 10.000 - 11.000 | 420.00 | 10.50 | 12.50 | 420.00 | 4,830.00 |
| | 2.00 | 11.000 - 12.000 | 420.00 | 11.50 | 13.50 | 420.00 | 5,250.00 |
| | 2.00 | 12.000 - 13.000 | 420.00 | 12.50 | 14.50 | 420.00 | 5,670.00 |
| | 2.00 | 13.000 - 14.000 | 420.00 | 13.50 | 15.50 | 420.00 | 6,090.00 |
| | 2.00 | 14.000 - 14.400 | 168.00 | 14.20 | 16.20 | 168.00 | 2,553.60 |
| | 2.00 | 14.400 - 15.000 | 252.00 | 14.70 | 16.70 | 252.00 | 3,956.40 |
| | 2.00 | 15.000 - 16.000 | 420.00 | 15.50 | 17.50 | 420.00 | 6,930.00 |
| | 2.00 | 16.000 - 17.000 | 420.00 | 16.50 | 18.50 | 420.00 | 7,350.00 |
| | 2.00 | 17.000 - 18.000 | 420.00 | 17.50 | 19.50 | 420.00 | 7,770.00 |
| | 2.00 | 18.000 - 18.290 | 420.00 | 18.15 | 20.15 | 420.00 | 8,043.00 |
| Total | | | 7,980.00 | | | 7,980.00 | 83,643.00 |

Presupuesto Alternativa 03

| | Precio S/. | Metrado | Parcial |
|-------------------------|------------|------------|------------|
| Sub Base | 18.31 | 21,719.38 | 397,681.76 |
| Base | 18.31 | 7,681.80 | 140,653.76 |
| Imprimación | 0.55 | 73,160.00 | 40,238.00 |
| T menor a 1km | 0.65 | 28,999.30 | 18,849.55 |
| T mayor a 1km | 0.74 | 120,707.18 | 89,323.31 |
| Tratamiento Sub Rasante | 18.31 | 19,021.60 | 348,285.50 |

Costo Directo 1,035,031.87

Analisis de Precios Unitarios.

Sub Base Granular

| Rendimiento m ³ /dia | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| | 1000 | 1000 | 18.31 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material - Sub Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Base

| Rendimiento m ³ /dia | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| | 1,000.00 | 1,000.00 | 18.31 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Imprimación

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| | MO | EQ | | | |
| Rendimiento m ² /día | 2,000.00 | 2,000.00 | | | Costo por m ³ |
| | | | | | 0.55 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paercial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Capataz | HH | 1 | 0.004 | 12.9 | 0.05 |
| Oficial | HH | 1 | 0.004 | 9.17 | 0.04 |
| Peon | HH | 6 | 0.024 | 8.25 | 0.2 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|---|-------|------|------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.29 | 0.01 |
| Camion Imprimador de 1800 Gls. | HM | 1 | 0.004 | 62.4 | 0.25 |
| | | | | | 0.26 |

Transporte de Material D menor a 1Km

| | | | | | |
|--------------------------------|--------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| | MO | EQ | | | |
| Rendimiento m ³ /Km | 500.00 | 500.00 | | | Costo por m ³ |
| | | | | | 0.65 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paercial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Oficial | HH | 1 | 0.016 | 9.17 | 0.15 |
| | | | | | 0.15 |

Equipos

| | | | | | |
|---|----|-----|-------|------|-----|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.016 | 0.15 | 0 |
| Cargador S/Llantas 200 - 250 HP 4 - 4.1 YD3 | HM | 0.5 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| | | | | | 0.5 |

Transporte de Material D mayor a 1Km

| | | | | | |
|--------------------------------|--------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| | | EQ | | | |
| Rendimiento m ³ /Km | | 1,500.00 | | | Costo por m ³ |
| | | | | | 0.74 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paercial S/. |

Equipos

| | | | | | |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.0053 | 140 | 0.74 |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|

Tratamiento Sub Rasante

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|-----------|----------|------------|--------------------------|
| | MO | EQ | | | |
| Rendimiento m ³ /día | 1,000.00 | 1,000.00 | | | Costo por m ³ |
| | | | | | 18.31 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paercial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Materiales

| | | | | | |
|-----------------------|-----|--|------|----|-------|
| Aditivo Estabilizador | Bls | | 4.07 | 40 | 162.8 |
| | | | | | 162.8 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|-------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Resumen de Metrados

| Sector | Unidad | 1 | 2 | Total |
|----------------------------|--------|-----------|-----------|------------------|
| Base (m3) | m3 | 6,048.00 | 1,633.80 | 7,681.80 |
| Sub Base (m3) | m3 | 17,100.00 | 4,619.38 | 21,719.38 |
| Imprimación | m2 | 57,600.00 | 15,560.00 | 73,160.00 |
| Tratamiento de sub rasante | m3 | 14,976.00 | 4,045.60 | 19,021.60 |

METRADO DE TRANSPORTE PAGADO

| Ubicación Cantera | Acceso Km | Tramo Km - Km | Volumen m3 | C.G Tramo | Dm Km | Transporte de Cantera | |
|----------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|----------|-----------------------|------------------|
| | | | | | | d<=1 Km m3-Km | d>1 Km m3-Km |
| Sub Base | | | | | | | |
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 1,187.50 | 0.50 | 10.72 | 1,187.50 | 11,542.50 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 1,187.50 | 1.50 | 9.72 | 1,187.50 | 10,355.00 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 1,187.50 | 2.50 | 8.72 | 1,187.50 | 9,167.50 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 1,187.50 | 3.50 | 7.72 | 1,187.50 | 7,980.00 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 1,187.50 | 4.50 | 6.72 | 1,187.50 | 6,792.50 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 1,187.50 | 5.50 | 5.72 | 1,187.50 | 5,605.00 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 1,187.50 | 6.50 | 4.72 | 1,187.50 | 4,417.50 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 1,187.50 | 7.50 | 3.72 | 1,187.50 | 3,230.00 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 1,187.50 | 8.50 | 2.72 | 1,187.50 | 2,042.50 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 1,187.50 | 9.50 | 1.72 | 1,187.50 | 855.00 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 1,187.50 | 10.50 | 0.72 | 855.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 1,187.50 | 11.50 | 0.32 | 380.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 1,187.50 | 12.50 | 1.32 | 1,187.50 | 380.00 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 1,187.50 | 13.50 | 2.32 | 1,187.50 | 1,567.50 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 475.00 | 14.20 | 3.02 | 475.00 | 959.50 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 712.50 | 14.70 | 3.52 | 712.50 | 1,795.50 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 1,187.50 | 15.50 | 4.32 | 1,187.50 | 3,942.50 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 1,187.50 | 16.50 | 5.32 | 1,187.50 | 5,130.00 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 1,187.50 | 17.50 | 6.32 | 1,187.50 | 6,317.50 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 1,187.50 | 18.15 | 6.97 | 1,187.50 | 7,089.38 |
| Total | | | 22,562.50 | | | 21,422.50 | 89,169.38 |
| Base | | | | | | | |
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 420.00 | 0.50 | 10.72 | 420.00 | 4,082.40 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 420.00 | 1.50 | 9.72 | 420.00 | 3,662.40 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 420.00 | 2.50 | 8.72 | 420.00 | 3,242.40 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 420.00 | 3.50 | 7.72 | 420.00 | 2,822.40 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 420.00 | 4.50 | 6.72 | 420.00 | 2,402.40 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 420.00 | 5.50 | 5.72 | 420.00 | 1,982.40 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 420.00 | 6.50 | 4.72 | 420.00 | 1,562.40 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 420.00 | 7.50 | 3.72 | 420.00 | 1,142.40 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 420.00 | 8.50 | 2.72 | 420.00 | 722.40 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 420.00 | 9.50 | 1.72 | 420.00 | 302.40 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 420.00 | 10.50 | 0.72 | 302.40 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 420.00 | 11.50 | 0.32 | 134.40 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 420.00 | 12.50 | 1.32 | 420.00 | 134.40 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 420.00 | 13.50 | 2.32 | 420.00 | 554.40 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 168.00 | 14.20 | 3.02 | 168.00 | 339.36 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 252.00 | 14.70 | 3.52 | 252.00 | 635.04 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 420.00 | 15.50 | 4.32 | 420.00 | 1,394.40 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 420.00 | 16.50 | 5.32 | 420.00 | 1,814.40 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 420.00 | 17.50 | 6.32 | 420.00 | 2,234.40 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 420.00 | 18.15 | 6.97 | 420.00 | 2,507.40 |
| Total | | | 7,980.00 | | | 7,576.80 | 31,537.80 |

Presupuesto Alternativa 03

| | Precio S/. | Metrado | Parcial |
|-----------------|------------|-----------|------------|
| Sub Base | 20.21 | 8,687.75 | 175,579.43 |
| Base | 255.13 | 3,840.90 | 979,928.82 |
| Imprimación | 0.55 | 73,160.00 | 40,238.00 |
| T menor a 1km | 3.29 | 12,643.00 | 41,595.47 |
| T mayor a 1km | 2.24 | 78,808.05 | 176,530.03 |
| Tratamiento Sub | 10.85 | 19,021.60 | 206,384.36 |

Costo Directo 1,620,256.11

Análisis de Precios Unitarios

Sub Base Granular

| | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| | MO | EQ | | | |
| Rendimiento m³/dia | 500 | 500 | | | Costo por m³ |
| | | | | | 20.21 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.016 | 12.9 | 0.21 |
| Oficial | HH | 1 | 0.016 | 9.17 | 0.15 |
| Peon | HH | 6 | 0.096 | 8.25 | 0.79 |
| | | | | | 1.15 |

Equipos

| | | | | | |
|--|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 1.15 | 0.03 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.016 | 62.4 | 1 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.016 | 101.53 | 1.62 |
| | | | | | 2.65 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material - Sub Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Base

| | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| | MO | EQ | | | |
| Rendimiento m³/dia | 500.00 | 500.00 | | | Costo por m³ |
| | | | | | 255.13 |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.016 | 12.9 | 0.21 |
| Oficial | HH | 1 | 0.016 | 9.17 | 0.15 |
| Peon | HH | 6 | 0.096 | 8.25 | 0.79 |
| | | | | | 1.15 |

Equipos

| | | | | | |
|--|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 1.15 | 0.03 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.016 | 62.4 | 1 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.016 | 101.53 | 1.62 |
| | | | | | 2.65 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|------|---------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 200 | 250 |
| | | | | | 251.33 |

Imprimación

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ² /dia | 2,000.00 | 2,000.00 | 0.55 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.004 | 12.9 | 0.05 |
| Oficial | HH | 1 | 0.004 | 9.17 | 0.04 |
| Peon | HH | 6 | 0.024 | 8.25 | 0.2 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|---|-------|------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.29 | 0.01 |
| Camion Imprimador de 1800 Gls. | HM | 1 | 0.004 | 62.4 | 0.25 |
| | | | | | 0.26 |

Transporte de Material D menor a 1Km

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|--------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | 100.00 | 100.00 | 3.29 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|------|------|-------------|
| Oficial | HH | 1 | 0.08 | 9.17 | 0.73 |
| | | | | | 0.73 |

Equipos

| | | | | | |
|---|----|-----|------|------|-------------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.08 | 0.73 | 0.06 |
| Cargador S/Liantas 200 - 250 HP 4 - 4.1 YD3 | HM | 0.5 | 0.04 | 62.4 | 2.5 |
| | | | | | 2.56 |

Transporte de Material D mayor a 1Km

| | EQ | Costo por m ³ | | | |
|--------------------------------|--------|--------------------------|----------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | 500.00 | 2.24 | | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Equipos

| | | | | | |
|-----------------------|----|---|-------|-----|------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.016 | 140 | 2.24 |
|-----------------------|----|---|-------|-----|------|

Tratamiento Sub Rasante

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /dia | 200.00 | 200.00 | 10.85 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.04 | 12.9 | 0.52 |
| Oficial | HH | 1 | 0.04 | 9.17 | 0.37 |
| Peon | HH | 6 | 0.24 | 8.25 | 1.98 |
| | | | | | 2.87 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 2.87 | 0.09 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.04 | 62.4 | 2.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.04 | 101.53 | 4.06 |
| | | | | | 6.65 |

Materiales

| | | | | | |
|-----------------------|-----|--|------|----|--------------|
| Aditivo Estabilizador | Bls | | 4.07 | 50 | 203.5 |
| | | | | | 203.5 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|------|-------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| | | | | | 1.33 |

Resumen de Metrados

| Sector | Unidad | 1 | 2 | Total |
|----------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Base (m3) | m3 | 3,024.00 | 816.90 | 3,840.90 |
| Sub Base (m3) | m3 | 6,840.00 | 1,847.75 | 8,687.75 |
| Imprimación | m2 | 57,600.00 | 15,560.00 | 73,160.00 |
| Tratamiento de sub rasante | m3 | 14,976.00 | 4,045.60 | 19,021.60 |

METRADO DE TRANSPORTE PAGADO

| Ubicación Cantera | Acceso Km | Tramo Km - Km | Volumen m3 | C.G Tramo | Dm Km | Transporte de Cantera | |
|------------------------------------|--------------|------------------|-----------------|--------------|----------|-----------------------|------------------|
| | | | | | | d<=1 Km m3-Km | d>1 Km m3-Km |
| Sub Base | | | | | | | |
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 475.00 | 0.50 | 10.72 | 475.00 | 4,617.00 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 475.00 | 1.50 | 9.72 | 475.00 | 4,142.00 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 475.00 | 2.50 | 8.72 | 475.00 | 3,667.00 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 475.00 | 3.50 | 7.72 | 475.00 | 3,192.00 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 475.00 | 4.50 | 6.72 | 475.00 | 2,717.00 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 475.00 | 5.50 | 5.72 | 475.00 | 2,242.00 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 475.00 | 6.50 | 4.72 | 475.00 | 1,767.00 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 475.00 | 7.50 | 3.72 | 475.00 | 1,292.00 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 475.00 | 8.50 | 2.72 | 475.00 | 817.00 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 475.00 | 9.50 | 1.72 | 475.00 | 342.00 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 475.00 | 10.50 | 0.72 | 342.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 475.00 | 11.50 | 0.32 | 152.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 475.00 | 12.50 | 1.32 | 475.00 | 152.00 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 475.00 | 13.50 | 2.32 | 475.00 | 627.00 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 190.00 | 14.20 | 3.02 | 190.00 | 383.80 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 285.00 | 14.70 | 3.52 | 285.00 | 718.20 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 475.00 | 15.50 | 4.32 | 475.00 | 1,577.00 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 475.00 | 16.50 | 5.32 | 475.00 | 2,052.00 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 475.00 | 17.50 | 6.32 | 475.00 | 2,527.00 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 475.00 | 18.15 | 6.97 | 475.00 | 2,835.75 |
| Total | | | 9,025.00 | | | 8,569.00 | 35,667.75 |
| Base - Material de Aguaytia | | | | | | | |
| | 2.00 | - 1.000 | 210.00 | 0.50 | 2.50 | 210.00 | 315.00 |
| | 2.00 | 1.000 - 2.000 | 210.00 | 1.50 | 3.50 | 210.00 | 525.00 |
| | 2.00 | 2.000 - 3.000 | 210.00 | 2.50 | 4.50 | 210.00 | 735.00 |
| | 2.00 | 3.000 - 4.000 | 210.00 | 3.50 | 5.50 | 210.00 | 945.00 |
| | 2.00 | 4.000 - 5.000 | 210.00 | 4.50 | 6.50 | 210.00 | 1,155.00 |
| | 2.00 | 5.000 - 6.000 | 210.00 | 5.50 | 7.50 | 210.00 | 1,365.00 |
| | 2.00 | 6.000 - 7.000 | 210.00 | 6.50 | 8.50 | 210.00 | 1,575.00 |
| | 2.00 | 7.000 - 8.000 | 210.00 | 7.50 | 9.50 | 210.00 | 1,785.00 |
| | 2.00 | 8.000 - 9.000 | 210.00 | 8.50 | 10.50 | 210.00 | 1,995.00 |
| | 2.00 | 9.000 - 10.000 | 210.00 | 9.50 | 11.50 | 210.00 | 2,205.00 |
| | 2.00 | 10.000 - 11.000 | 210.00 | 10.50 | 12.50 | 210.00 | 2,415.00 |
| | 2.00 | 11.000 - 12.000 | 210.00 | 11.50 | 13.50 | 210.00 | 2,625.00 |
| | 2.00 | 12.000 - 13.000 | 210.00 | 12.50 | 14.50 | 210.00 | 2,835.00 |
| | 2.00 | 13.000 - 14.000 | 210.00 | 13.50 | 15.50 | 210.00 | 3,045.00 |
| | 2.00 | 14.000 - 14.400 | 84.00 | 14.20 | 16.20 | 84.00 | 1,276.80 |
| | 2.00 | 14.400 - 15.000 | 210.00 | 14.70 | 16.70 | 210.00 | 3,297.00 |
| | 2.00 | 15.000 - 16.000 | 210.00 | 15.50 | 17.50 | 210.00 | 3,465.00 |
| | 2.00 | 16.000 - 17.000 | 210.00 | 16.50 | 18.50 | 210.00 | 3,675.00 |
| | 2.00 | 17.000 - 18.000 | 210.00 | 17.50 | 19.50 | 210.00 | 3,885.00 |
| | 2.00 | 18.000 - 18.290 | 210.00 | 18.15 | 20.15 | 210.00 | 4,021.50 |
| Total | | | 4,074.00 | | | 4,074.00 | 43,140.30 |

Presupuesto Alternativa 05

| | Precio S/. | Metrado | Parcial |
|---------------|------------|-----------|------------|
| Sub Base | 19.15 | 13,031.63 | 249,555.62 |
| Base | 52.64 | 7,681.80 | 404,369.95 |
| Imprimación | 0.55 | 73,160.00 | 40,238.00 |
| T menor a 1km | 1.3 | 20,430.30 | 26,559.39 |
| T mayor a 1km | 0.74 | 85,039.43 | 62,929.18 |
| | | | |

Costo Directo 783,652.14

Analisis de Precios Unitarios

Sub Base Granular

| Rendimiento m ³ /dia | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| | 1000 | 1000 | 19.15 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Materiales

| | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|--------|----|-------------|
| Aditivo Esrabilizador | Bls | 2.1 | 0.0168 | 50 | 0.84 |
| | | | | | 0.84 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material - Sub Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Base

| Rendimiento m ³ /dia | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| | 1,000.00 | 1,000.00 | 52.64 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Materiales

| | | | | | |
|-----------------------|-----|-------|--------|-----|--------------|
| Aditivo Esrabilizador | Gls | 35.76 | 0.2861 | 120 | 34.33 |
| | | | | | 34.33 |

Equipos

| | | | | | |
|---|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

Imprimación

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ² /día | 2,000.00 | 2,000.00 | 0.55 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.004 | 12.9 | 0.05 |
| Oficial | HH | 1 | 0.004 | 9.17 | 0.04 |
| Peon | HH | 6 | 0.024 | 8.25 | 0.2 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|---|-------|------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.29 | 0.01 |
| Camion Imprimador de 1800 Gls. | HM | 1 | 0.004 | 62.4 | 0.25 |
| | | | | | 0.26 |

Transporte de Material D menor a 1Km

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|--------------------------------|--------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | 250.00 | 250.00 | 1.3 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Oficial | HH | 1 | 0.032 | 9.17 | 0.29 |
| | | | | | 0.29 |

Equipos

| | | | | | |
|---|----|-----|-------|------|-------------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.032 | 0.29 | 0.01 |
| Cargador S/Llantas 200 - 250 HP 4 - 4.1 YD3 | HM | 0.5 | 0.016 | 62.4 | 1 |
| | | | | | 1.01 |

Transporte de Material D mayor a 1Km

| | EQ | Costo por m ³ | | | |
|--------------------------------|----------|--------------------------|----------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /Km | 1,500.00 | 0.74 | | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Equipos

| | | | | | |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|
| Camion Volquete 15 m3 | HM | 1 | 0.0053 | 140 | 0.74 |
|-----------------------|----|---|--------|-----|------|

Tratamiento Sub Rasante

| | MO | EQ | Costo por m ³ | | |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------------|------------|-------------|
| Rendimiento m ³ /día | 1,000.00 | 1,000.00 | 18.31 | | |
| | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Paecial S/. |

Mano de Obtra

| | | | | | |
|---------|----|---|-------|------|-------------|
| Capataz | HH | 1 | 0.008 | 12.9 | 0.1 |
| Oficial | HH | 1 | 0.008 | 9.17 | 0.07 |
| Peon | HH | 6 | 0.048 | 8.25 | 0.4 |
| | | | | | 0.57 |

Equipos

| | | | | | |
|--|-----|---|-------|--------|-------------|
| Herramientas Manuales | %MO | | 3% | 0.57 | 0.02 |
| Rodillo Liso Vibratorio Autopulsado 70 - 100 HP 7-9T | HM | 1 | 0.008 | 62.4 | 0.5 |
| Moto Niveladora de 130 - 135 HP | HM | 1 | 0.008 | 101.53 | 0.81 |
| | | | | | 1.33 |

Materiales

| | | | | | |
|-----------------------|-----|--|------|----|--------------|
| Aditivo Estabilizador | Bls | | 4.07 | 40 | 162.8 |
| | | | | | 162.8 |

Sub Partidas

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|------|-------|--------------|
| Transporte de Agua para Pavimento | m3 | | 0.15 | 8.89 | 1.33 |
| Material- Base | m3 | | 1.25 | 12.06 | 15.08 |
| | | | | | 16.41 |

| | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|
| Resumen de Metrados | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|

| Sector | Unidad | 1 | 2 | Total |
|---------------|--------|-----------|-----------|------------------|
| Base (m3) | m3 | 6,048.00 | 1,633.80 | 7,681.80 |
| Sub Base (m3) | m3 | 10,260.00 | 2,771.63 | 13,031.63 |
| Imprimación | m2 | 57,600.00 | 15,560.00 | 73,160.00 |
| | | | | |

METRADO DE TRANSPORTE PAGADO

| Ubicación Cantera | Acceso Km | Tramo Km - Km | Volumen m3 | C.G Tramo | Dm Km | Transporte de Cantera | |
|----------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|----------|-----------------------|------------------|
| | | | | | | d<=1 Km m3-Km | d>1 Km m3-Km |
| Sub Base | | | | | | | |
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 712.50 | 0.50 | 10.72 | 712.50 | 6,925.50 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 712.50 | 1.50 | 9.72 | 712.50 | 6,213.00 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 712.50 | 2.50 | 8.72 | 712.50 | 5,500.50 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 712.50 | 3.50 | 7.72 | 712.50 | 4,788.00 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 712.50 | 4.50 | 6.72 | 712.50 | 4,075.50 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 712.50 | 5.50 | 5.72 | 712.50 | 3,363.00 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 712.50 | 6.50 | 4.72 | 712.50 | 2,650.50 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 712.50 | 7.50 | 3.72 | 712.50 | 1,938.00 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 712.50 | 8.50 | 2.72 | 712.50 | 1,225.50 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 712.50 | 9.50 | 1.72 | 712.50 | 513.00 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 712.50 | 10.50 | 0.72 | 513.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 712.50 | 11.50 | 0.32 | 228.00 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 712.50 | 12.50 | 1.32 | 712.50 | 228.00 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 712.50 | 13.50 | 2.32 | 712.50 | 940.50 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 285.00 | 14.20 | 3.02 | 285.00 | 575.70 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 427.50 | 14.70 | 3.52 | 427.50 | 1,077.30 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 712.50 | 15.50 | 4.32 | 712.50 | 2,365.50 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 712.50 | 16.50 | 5.32 | 712.50 | 3,078.00 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 712.50 | 17.50 | 6.32 | 712.50 | 3,790.50 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 712.50 | 18.15 | 6.97 | 712.50 | 4,253.63 |
| Total | | | 13,537.50 | | | 12,853.50 | 53,501.63 |
| Base | | | | | | | |
| 11.200 | 0.02 | - 1.000 | 420.00 | 0.50 | 10.72 | 420.00 | 4,082.40 |
| 11.200 | 0.02 | 1.000 - 2.000 | 420.00 | 1.50 | 9.72 | 420.00 | 3,662.40 |
| 11.200 | 0.02 | 2.000 - 3.000 | 420.00 | 2.50 | 8.72 | 420.00 | 3,242.40 |
| 11.200 | 0.02 | 3.000 - 4.000 | 420.00 | 3.50 | 7.72 | 420.00 | 2,822.40 |
| 11.200 | 0.02 | 4.000 - 5.000 | 420.00 | 4.50 | 6.72 | 420.00 | 2,402.40 |
| 11.200 | 0.02 | 5.000 - 6.000 | 420.00 | 5.50 | 5.72 | 420.00 | 1,982.40 |
| 11.200 | 0.02 | 6.000 - 7.000 | 420.00 | 6.50 | 4.72 | 420.00 | 1,562.40 |
| 11.200 | 0.02 | 7.000 - 8.000 | 420.00 | 7.50 | 3.72 | 420.00 | 1,142.40 |
| 11.200 | 0.02 | 8.000 - 9.000 | 420.00 | 8.50 | 2.72 | 420.00 | 722.40 |
| 11.200 | 0.02 | 9.000 - 10.000 | 420.00 | 9.50 | 1.72 | 420.00 | 302.40 |
| 11.200 | 0.02 | 10.000 - 11.000 | 420.00 | 10.50 | 0.72 | 302.40 | |
| 11.200 | 0.02 | 11.000 - 12.000 | 420.00 | 11.50 | 0.32 | 134.40 | |
| 11.200 | 0.02 | 12.000 - 13.000 | 420.00 | 12.50 | 1.32 | 420.00 | 134.40 |
| 11.200 | 0.02 | 13.000 - 14.000 | 420.00 | 13.50 | 2.32 | 420.00 | 554.40 |
| 11.200 | 0.02 | 14.000 - 14.400 | 168.00 | 14.20 | 3.02 | 168.00 | 339.36 |
| 11.200 | 0.02 | 14.400 - 15.000 | 252.00 | 14.70 | 3.52 | 252.00 | 635.04 |
| 11.200 | 0.02 | 15.000 - 16.000 | 420.00 | 15.50 | 4.32 | 420.00 | 1,394.40 |
| 11.200 | 0.02 | 16.000 - 17.000 | 420.00 | 16.50 | 5.32 | 420.00 | 1,814.40 |
| 11.200 | 0.02 | 17.000 - 18.000 | 420.00 | 17.50 | 6.32 | 420.00 | 2,234.40 |
| 11.200 | 0.02 | 18.000 - 18.290 | 420.00 | 18.15 | 6.97 | 420.00 | 2,507.40 |
| Total | | | 7,980.00 | | | 7,576.80 | 31,537.80 |