

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO COMPARATIVO DEL MEJORAMIENTO DE LA
SUBRASANTE Y BASE DE LA CARRETERA CAÑETE – CHUPACA,
TRAMO: Km 220+000 - Km 240+000**

TESIS

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

YONY, LAURENTE RONCEROS

LIMA – PERÚ.

2011

Digitalizado por:

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

Dedico esta tesis en especial a mis padres, hermanos, amigos, mis profesores de la UNI y mi asesor, de quienes recibí su apoyo incondicional, gracias a ellos pude terminar este trabajo de investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE CUADROS	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: ANTECEDENTE Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	13
1.1. GENERALIDADES	13
1.1.1. Infraestructura Actual de la Red Vial Peruana	13
1.1.2. Red Vial Actual, Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial N°13 – Tramo Km 220 – 240+000	18
1.1.2.1 <i>Ubicación</i>	18
1.1.2.2 <i>Población</i>	22
1.1.2.3 <i>Clima</i>	22
1.1.2.4 <i>Topografía</i>	22
1.1.2.5 <i>Hidrología</i>	23
1.1.2.6 <i>Actividades socio-económicas</i>	23
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:	24
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	24
1.3.1. Objetivo general	24
1.3.2. Objetivos específicos	24
1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS:	25
1.4.1. Hipótesis Específicos	25
1.5. ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	25
CAPÍTULO II: ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA	27
2.1. ESTUDIO DE CANTERA	27
2.1.1. Generalidades	27
2.1.2. Metodología de Estudio	30
2.1.3. Descripción de la Cantera Estudiada	31

2.2. ESTUDIO DE FUENTES DE AGUA.....	33
2.2.1. Metodología del estudio.....	34
CAPÍTULO III: ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE CON CAL.....	36
3.1. GENERALIDADES.....	36
3.2. OBJETIVOS DE LA ESTABILIZACIÓN CON LA CAL.....	37
3.3. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LAS CALES PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	38
3.3.1. Características Físicas.....	38
3.3.2. Características Químicas.....	38
3.4. PROCESO DE ACCIÓN DE LA CAL EN UN SUELO.....	39
3.4.1. Características del material a estabilizar.....	41
3.4.2. Variaciones en las propiedades del suelo.....	42
3.5. CONTENIDO ÓPTIMO DE CAL.....	45
3.6. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	49
3.6.1. Escarificación y pulverización inicial.....	50
3.6.2. Aplicación y extendido de la Cal Hidratada.....	51
3.6.3. Mezclado.....	54
3.6.4. Periodo de Fraguado.....	56
3.6.5. Compactación.....	56
3.6.6. Curado Final.....	57
3.6.7. Apertura al Tránsito.....	58
CAPÍTULO IV: ESTABILIZACIÓN DE BASE CON EMULSIÓN ASFÁLTICA .	59
4.1. GENERALIDADES.....	59
4.2. QUÍMICA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	60
4.2.1. Composición de las Emulsiones Asfálticas.....	60
4.2.2. Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.....	62
4.2.3. Variables que Afectan la Calidad y el Rendimiento.....	65
4.2.4. Elaboración de la Emulsión.....	65
4.2.5. Rotura y Curado.....	66
4.3. SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO APROPIADO.....	69
4.3.1. Usos Generales de las Emulsiones.....	69
4.3.2. Pautas para una Performance exitosa.....	70
4.4. ÓPTIMO CONTENIDO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	72

4.5. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	77
4.5.1. Preparación del terreno, escarificado y esparcimiento de material para la base.....	77
4.5.2. Dosificación y Aspersión de Emulsión Asfáltica Mezclado con Agua	79
4.5.3. Mezclado de los Materiales	80
4.5.4. Extendido y Compactación	83
4.5.5. Pruebas de Campo.....	84
4.5.6. Capa de Recubrimiento o Imprimado.....	85
CAPÍTULO V: ESTABILIZACIÓN DE BASE CON CEMENTO PORTLAND	87
5.1. INTRODUCCIÓN.....	87
5.2. OBJETIVO DE LA ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO PORTLAND	88
5.2.1. Definición del Suelo - Cemento	88
5.2.2. Clasificación del Suelo - Cemento.....	89
5.3. EL PROCESO DE LA ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO	90
5.4. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO	91
5.4.1. Cemento Portland Hidraulico	91
5.4.2. Tipos de Cemento Portland	91
5.4.3. Materias Primas	91
5.4.4. Principales Fases Minerales del Clinker.....	92
5.4.5. Calidad del Cemento.....	93
5.5. QUÍMICA ENTRE EN SUELO Y EL CEMENTO.	93
5.5.1. Componentes Inadecuados para la Mezcla Suelo - Cemento.....	94
5.5.2. Factores que Afectan la Mezcla Suelo - Cemento.....	94
5.5.3. Variaciones en las Propiedades del Suelo	98
5.6. ÓPTIMO CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND:	101
5.7. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	105
5.7.1. Equipo para el manejo y la difusión de cemento.....	105
5.7.2. Medidas generales previas a la construcción.....	105
5.7.3. Colocación del material de préstamo	106
5.7.4. Distribución del cemento.....	106
5.7.5. Mezcla y aplicación de agua.....	107
5.7.6. Compactación	107
5.7.7. Juntas de Contracción	108
5.7.8. Curado	109

CAPÍTULO VI: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	110
6.1. GENERALIDADES	110
6.1.1. Definición de Pavimento	110
6.1.2. Clasificación y Tipos de Pavimentos.....	110
6.1.3. Métodos de Diseño	112
6.2. PARÁMETROS DE DISEÑO	112
6.2.1. Estudios de Suelos (Subrasante).....	112
6.2.2. Estudios de Tráfico y Cargas.....	113
6.2.3. Periodo de diseño	121
6.3. DETERMINACIÓN DE ESPESORES.....	122
6.3.1. Método de la Guía AASHTO 1993 para bajo volumen de tránsito .	122
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN ENONÓMICA DE LAS APLICACIONES CON ESTABILIZADORES	147
7.1. GENERALIDADES	134
7.2. OBJETIVOS.....	136
7.3. COSTOS DIRECTOS.....	136
7.3.1. costos Unitarios.....	137
7.3.2. Análisis de Costos Unitarios	137
7.3.3. Análisis de Costos Unitarios Aplicado a las Alternativas de Solución	138
7.4. PRESUPUESTOS	145
7.5. ANÁLISIS DE COSTOS	146
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	147
8.1. CONCLUSIONES.....	147
8.2. RECOMENDACIONES	151
BIBLIOGRAFÍA	153
ANEXOS	155

RESUMEN

La investigación se ha desarrollado en un tramo alto andino cuyo clima se caracteriza por ser frío correspondiente a la región puna, esta forma parte de la carretera Cañete - Lunahuaná - Yauyos - Chupaca, este tramo tiene un problema singular a diferencia de los otros tramos, los valores de la capacidad de soporte del suelo de fundación – subrasante son muy bajos, promedio de 5%. Dentro de la propuesta se considera el mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con la adición de cal, tomando la misma iniciativa se utilizaron otros dos estabilizadores para ser lo mismo con el material de cantera que se utilizará en la capa base del pavimento, en general la propuesta va relacionado al cambio estándar de afirmado a solución básica, considerando para el diseño el método AASHTO 1993 con una proyección de tráfico para un periodo de 5 años.

La tesis se ha dividido en varios capítulos tales que nos permiten identificar el problema y las posibles soluciones haciendo una descripción y aplicación de los estabilizadores como la cal, emulsión asfáltica y el Cemento Portland, en la primera parte nos hace referencia al estado actual de la infraestructura vial del país y luego específicamente la ubicación del tramo de estudio. En una segunda parte se hace la identificación de las canteras y fuentes agua que se propondrá para su uso en la construcción. Como parte del análisis del material de cantera se hicieron los ensayos respectivos como próctor modificado, CBR, ensayo los ángeles entre otros, estos ensayos fueron más que nada para verificar o comprobar los ya existentes realizados por el contratista y otros por estudios anteriores financiados por MTC.

Los ensayos de laboratorio también se realizaron al material de la subrasante con la muestra de un punto específico, para tomar como referencia con motivo de la investigación. Parte de estos ensayos se hicieron en el laboratorio instalado por la Universidad Nacional de Ingeniería en la localidad de San José de Quero y los demás en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de Mecánica de Suelos de la UNI.

Posteriormente con referencia al material de subrasante y el material de cantera seleccionado según sus propiedades, se hicieron las pruebas de las alternativas de estabilización con diferentes productos, tales como se aplicó a la subrasante el estabilizante cal hidratada, para la base se probó con dos estabilizadores la emulsión asfáltica y el Cemento Portland, de tal manera que nos permitió

encontrar las cantidades óptimas de estos estabilizadores aplicados a los materiales existentes, tomando como referencias normas peruanas así como normas internacionales para asumir valores mínimos que debe de cumplir los ensayos como el CBR, compresión simple las capas del pavimento. Estos ensayos de la mezcla estabilizante se hicieron en su totalidad en el laboratorio de Lima.

Para el tema del diseño de espesores del pavimento se tomó como única referencia la metodología propuesta por AASHTO 1993, esta metodología presenta mayor seguridad y confiabilidad que otras del medio, pero cabe destacar que existen muchas referencias probadas en varios países que hacen referencia a carreteras con suelos, climas y otros factores propios a su territorio, que no necesariamente pueden ser exitosos en la aplicación en otro medio similar.

En la parte final se hace un análisis específico del costo directo de los trabajos necesarios para la ejecución de la estabilización tanto de la subrasante como de la base, el presupuesto propuesto es referencial tomado de experiencias de trabajos similares en otra parte del país.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Escudo para Carreteras Nacionales.....	16
Figura 1-2: Emblema para Carreteras Departamentales.....	17
Figura 1-3: Círculo para Carreteras Rurales.....	17
Figura 1-4: Ubicación del proyecto en el Departamento de Junín	19
Figura 1-5: Ubicación del proyecto en el mapa del Perú	20
Figura 1-6: Plano Clave de la Carretera de Conservación Vial.....	21
Figura 2-1: Signos Convencionales Para Perfil de Calicatas.....	29
Figura 3-1: Mecanismo de floculación y aglomeración de las partículas arcillosas reaccionando con la cal.....	40
Figura 3-2: Escarificación antes de esparcir la cal.....	50
Figura 3-3: Camellón utilizado para contener la cal antes de la mezcla	51
Figura 3-4: Extendido manual de la cal.....	52
Figura 3-5: Esparcido de la cal con el camión dispensador.....	52
Figura 3-6: Escarificación después de extensión de cal.....	55
Figura 3-7: Adición de agua después de la aplicación de cal seca.....	55
Figura 3-8: Mezclado de suelo cal mediante equipo estabilizador (rotobadores)	55
Figura 3-9: Compactador "Pata de cabra"	56
Figura 3-10: Compactación de la capa estabilizada con rodillo liso	57
Figura 3-11: Imprimación con emulsión	57
Figura 4-1: Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica.....	63
Figura 4-2: Esquema de fabricación de las emulsiones asfálticas.....	66
Figura 4-3: Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo	67
Figura 6-1: Variación de a_2 en Bases Tratadas con Asfalto para diferentes Parámetros de Resistencia de la Base.....	129
Figura 6-2: Variación del Coeficiente a_3 con Diferentes Parámetros de Resistencia de la SUB-BASE.....	130
Figura 6-3: Variación de a_2 en Bases Tratadas con CEMENTO para diferentes Parámetros de Resistencia de la Base.....	132

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-1: Poblado del Distrito de San José de Quero	22
Fotografía 1-2: Topografía con pendiente moderada en el tramo de estudio	23
Fotografía 1-3: Cuneta de tierra falta perfilar, el agua no discurre con facilidad.	27
Fotografía 1-4: Cabezal de salida de alcantarilla colapsado por problemas de asentamiento.....	27
Fotografía 2-1: Selección de muestras de la cantera del km 237+400	31
Fotografía 2-2: Acceso hacia la cantera del km 237+400 L.D.....	32
Fotografía 2-3: Río Cunas afluente del Río Mantaro, ubicado en la margen izquierda de la vía.....	33
Fotografía 4-1: Proceso de escarificado antes de esparcir y hacer la mezcla de suelo-emulsión	78
Fotografía 4-2: Traslado de material de cantera a obra	79
Fotografía 4-3: Esparcido de la dilución de la Emulsión Asfáltica en el material de préstamo	80
Fotografía 4-4: Mezcla con motoniveladora	81
Fotografía 4-5: Compactación de suelo estabilizado con emulsión asfáltica	84
Fotografía 4-6: Pruebas de densidad de campo.....	84
Fotografía 4-7: Medidas de deflexión después de construido la base	85
Fotografía 4-8: Presencia de fisuras en la base estabilizada con EA	85
Fotografía 4-9: Camión imprimador.....	86

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Carácter exotérmico de la reacción entre CaO y el H ₂ O.....	38
Gráfico 3-2: Gráfica del “Método del pH” para el diseño suelo - cal.....	45
Gráfico 3-3: Abaco para determinar el contenido inicial de cal para la mezcla....	47
Gráfico 3-4: Relación entre el porcentaje de cal y el CBR al 95% del MDS.	49
Gráfico 4-1: Relación entre Emulsión Asfáltica (%) y CBR (95% MDS).....	77
Gráfico 5-1: % Cemento vc Resistencia a la compresión (kg/cm ²).....	104
Gráfico 6-1: Gráfico de Ubicación de las Estaciones de Control Región Junín	115
Gráfico 6-2: Curva de Variación Horaria del IMD por Sentido de Circulación de la Estación E-5 (RONCHAS).....	117
Gráfico 6-3: Ábaco para el cálculo del Número Estructural	125
Gráfico 7-1: Resumen de Costos Directos Comparativos entre las Alternativas	145

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1: Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas	71
Tabla 4-2: Clasificación de Materiales para Subrasante, Afirmado, Sub-base o Base	76
Tabla 5-1: Rangos típicos de compresión simple	99
Tabla 5-2: Graduaciones recomendables para tratamientos de suelos areno- arcillosos.....	102
Tabla 5-3: Cantidades de cemento requerido - PCA	103
Tabla 5-4: Rango típico de cemento según clasificación de suelo.....	103
Tabla 6-1: Clasificación de la Subrasante en función del CBR	112
Tabla 6-2: Coeficiente de drenaje.....	127
Tabla 6-3: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (mx)	130

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1-1: Longitud de la Red Vial, Según Tipo de Superficie de Rodadura y Sistema de Carretera, 2010 (Kilómetros)	14
Cuadro 1-2: Código de Rutas Departamental	18
Cuadro 2-1: Canteras para la base y sub-base	32
Cuadro 3-1: Componentes del material de la Subrasante Km 230+100.....	42
Cuadro 3-2: Resumen del ensayo de CBR, para cada % de cal en peso.....	48
Cuadro 3-3: Categorías de definición de la Subrasante según el CBR	48
Cuadro 4-1: Tipos de Emulsión Asfáltica según su estabilidad.....	63
Cuadro 4-2: Tipos de grados de emulsión según ASTM y AASHTO	65
Cuadro 4-3: Clasificación de las rocas según su contenido de sílice.....	68
Cuadro 4-4: Resumen de la granulometría del material de cantera km 237+400.....	72
Cuadro 4-5: Resumen de resultados del porcentaje inicial teórico de EA	75
Cuadro 4-6: Resumen de resultados de los ensayos de la mezcla suelo - emulsión	75
Cuadro 4-7: Proporción de mezcla estabilizada con Emulsión Asfáltica.....	79
Cuadro 6-1: Ubicación de los Puntos de Aforo.....	114
Cuadro 6-2: Cronograma de Estudio de Campo.....	114
Cuadro 6-3: Volumen Diario Clasificado de las Estaciones E-2 hasta E-6	116
Cuadro 6-4: Porcentaje de participación por cada grupo de vehículos.....	117
Cuadro 6-5: Volumen Diario Clasificado – Estación Ronchas.....	118
Cuadro 6-6: Resumen del Volumen Vehicular Estación E-5 “San José de Quero – Ronchas” – RN 22.....	119
Cuadro 6-7: Peso por Eje Según Reglamento MTC y Asumido por el consultor	120
Cuadro 6-8: Factores de Deterioro	120
Cuadro 6-9: Volumen Vehicular Asignado para el Cálculo de EAL.....	120
Cuadro 6-10: Resumen de EAL proyección para 5 años	121
Cuadro 6-11: Características de las alternativas consideradas	128
Cuadro 6-12: Resumen de resultados para las alternativas 1 y 2.....	133
Cuadro 7-1: Resumen de Costos Directos para las alternativas	144
Cuadro 7-2: Resumen del Presupuesto según las Alternativas	146

INTRODUCCIÓN

El Gobierno Peruano en su intención de dotar con una mejor infraestructura vial al país a través del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), lanza los proyectos con denominación "PROYECTO PERÚ" a partir del año 2007, estos proyectos que hasta la actualidad suman varios miles de km de carretera tienen el principal objetivo en su mayoría de transferir responsabilidad a las empresas privadas, con la supervisión del MTC, con esto se está logrando en la mayoría de proyectos en ejecución darle mayor vida útil a las carreteras de diferente orden y darle transitabilidad durante todos los días del año a responsabilidad de la empresa privada con la mirada cuidadosa del MTC. Este programa creado por el gobierno de Conservación y Desarrollo de Infraestructura Vial que implementa un Nuevo Sistema de Gestión Vial, que representa básicamente un tratamiento periódico o sea cada cierto tiempo 5 – 10 años, y una conservación rutinaria que se encarga del mantenimiento de todos los días de elementos importantes de la vía como las obras de arte (cuneta revestida, alcantarillas, bajadas de agua, zanjas de coronación, puentes, pontones), reparaciones menores de la calzada, bermas, muros, entre otros.

Entiéndase que este programa nace también con la finalidad de dar vida a carreteras de penetración que son poco utilizados por los transportistas por lo mismo que no se encuentran en buen estado, pero que con este programa estas vías de deben en un futuro aumentar la cantidad de vehículos que transiten, con la posibilidad en mediano o largo plazo analizar proyectos de mayor envergadura como el mejoramiento y/o la rehabilitación de la vía.

Esto permitirá mayor comunicación, intercambio comercial de las comunidades más alejadas a las zonas urbanas, en general mayor desarrollo social, económico, cultural de las comunidades.

En este contexto es que la carretera que se menciona inicialmente forma parte del Proyecto Perú, donde el contratista "Consorcio Gestión de Carreteras" (CGC) tiene la obligación de mantener en condiciones aceptables durante 5 años, luego el MTC firma un convenio por 5 años con la UNI para el monitoreo de la ejecución de los trabajos en esta carretera. Forma parte de ese convenio los trabajos de investigación o Tesis de pregrado como el presente trabajo, que tienen la finalidad de aportar para la elaboración de una norma técnica para el tratamiento de estas vías de bajo volumen de tránsito.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 GENERALIDADES

En muchas partes del mundo, los materiales de buena calidad simplemente no están disponibles para la construcción de caminos, por lo que se recurre a los materiales de préstamo pero en muchos casos el costo de transporte es bastante significativo lo que ha promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos más cercanos posibles. En muchas ocasiones, las resistencias requeridas pueden obtenerse de un material local "marginal", a través de la adición de pequeñas cantidades de agentes estabilizadores a un costo relativamente bajo. Sin embargo, existe una percepción errónea en relación al objetivo de los estabilizadores, su comportamiento y aún más importante, cuándo se debieran considerar o descartar el uso de los distintos agentes estabilizadores, razón por la cual la presente investigación realizará propuestas de aplicación de productos para la utilización en el mejoramiento de la capacidad portante de la sub-rasante y base en la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca considerado de bajo nivel de tránsito, teniendo como objetivo específico estudiar el comportamiento de la sub-rasante estabilizada con cal y comparar la estabilización de base con emulsión asfáltica y/o cemento Portland, mediante ensayos de laboratorio de manera que se compruebe y compare las mejoras de sus propiedades de capacidad de soporte y otros. Además de esto los ensayos permitirán observar si las dosificaciones conducen a cambios significativos en las características ingenieriles de los suelos estudiados, determinando así la adecuada dosificación del estabilizador.

1.1.1 INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE LA RED VIAL PERUANA

La red vial actual del Perú

Existen tres niveles de Gestión de la Infraestructura Vial en nuestro país, la Red Vial Nacional, Red Vial Departamental o Regional y la Red Vial Vecinal o Rural los cuales están conformados según datos publicados en la página del MTC actualizado al año 2010, por 125 596 km de la red vial total, distribuidos según muestra el cuadro 1-1.

Gracias al Programa del Proyecto Perú impulsado por el gobierno central a través de Provías Nacional, que va dirigido específicamente a las carreteras de bajo volumen de tránsito que comprende en su mayoría ejes viales de redes departamentales y vecinales, en menor cuantía de ejes nacionales. Es un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Vecinal, Departamental y Nacional.

Este programa establece el sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por NIVELES DE SERVICIO y por plazos iguales o superiores a 3 años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Características de la red vial peruana actual

Debido a las características geográficas muy accidentado en la mayor parte del territorio nacional, resulta muy complejo el tratamiento que se pueda dar a casi la mayor parte de la red vial de nuestro país, además de las limitaciones económicas que pudieran darse. En el cuadro 1-1 se clasifica la red vial del país actualizado al año 2010, así como la longitud que conforma cada una de estas, de acuerdo al tipo de superficie de rodadura.

Cuadro 1-1: Longitud de la Red Vial, Según Tipo de Superficie de Rodadura y Sistema de Carretera, 2010 (Kilómetros)

Longitudes Referenciales del Sistema Nacional de Carreteras D.S. N°044-2008-MTC 1/						
Km.						
Red Vial	Pavimentada	No Pavimentada	Adicionales 2/	Existente	En Proyecto	Total
Nacional	12.445	11.151		23.596	2.421	26.017
Departamental	1.500	21.500		23.000	6.000	29.000
Vecinal	700	37.500	40.800	79.000	2.000	81.000
				125.596	10.421	136.017

1/ Actualizado al año 2010
 2/ Rutas Vecinales adicionales:
 i) Vechales identificados a ser incluidos 18.500
 ii) Vechales en proceso de identificación 22.300
 40.800

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) – 2010

a) La Red Nacional o Primaria.- Comprende las carreteras de interés nacional conformado por los principales ejes longitudinales y transversales, que constituyen la base del SINAC (Sistema Nacional de Carreteras). Sirve como elemento receptor de las carreteras Departamentales o Regionales y de las carreteras Vecinales o Rurales. Está constituida principalmente por tres carreteras longitudinales, la Panamericana (Norte y Sur), la central y la Marginal de la Selva, como también por las carreteras transversales de penetración que conecta a ciudades importantes de la zona centro, selva de nuestro país, algunos de estos ya forman parte de la interoceánica norte, centro y sur que se conecta con importantes ciudades del Brasil y otras ciudades fronterizas.

Está conformada por 23 596 km que representa el 18.80 % de la red vial del país y está a cargo de PROVIAS NACIONAL para el cumplimiento de la rehabilitación, mejoramiento, ampliación y mantenimiento, para el adecuado funcionamiento y dinamismo de la red vial más importante de nuestro país.

b) La Red Departamental o Secundaria.- Está conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito de un gobierno regional, tiene como fin principal proveer accesibilidad y conectividad entre las provincias de un departamento así como interconectar con las regiones vecinas y promover el desarrollo estratégico en conjunto. Articula básicamente a la Red Vial Nacional con la Red Vial Vecinal o Rural.

Por lo que el gobierno central pretende descentralizar la gestión de estas vías a través de los gobiernos regionales. Dando mayor prioridad a los problemas frecuentes que estos aquejan y que hacen necesarios su mantenimiento periódico, ya que del total departamental 23 000 km solo el 6.5% (1500 km) es pavimentada según el cuadro 1-1, el resto es de superficie granular o natural.

c) La Red Rural o Terciaria.- Llamada también CAMINOS RURALES O VECINALES, son de influencia circunscrita al ámbito local, cuya función es articular las capitales de provincia con capitales de distrito, éstos entre sí, con centros poblados o zonas de influencia local y con las redes viales nacional y departamental o regional.

Estos permiten comunicar a los poblados más alejados con las capitales de provincias, distritos, llevando progreso así como más oportunidades para su desarrollo.

Los caminos rurales son una necesidad básica para suministrar un flujo regular de mercaderías y servicios desde y hacia las localidades más alejadas, ya que nuestra geografía y topografía es muy complicada tanto en la sierra como en la selva. Permite el desarrollo de las comunidades y por consiguiente mejora la calidad de vida de sus habitantes. También pueden ser importantes inductores de crecimiento, al proporcionar significativos beneficios sociales y económicos.

Podemos apreciar según el cuadro 1-1 que representa el 62.9 % de la red vial total del país con 79000 km, casi más de la mitad del total, lo que significa que en su mayor parte son solo trochas, caminos que no prestan seguridad ni garantía para el conductor y hacen más difícil la accesibilidad a las zonas pobladas.

Denominación del sistema vial peruano

La identificación de las vías del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) es establecida y asignada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de manera exclusiva y excluyente. Las vías se identifican con un Código de Ruta, el cual representa una simplificación que considera su jerarquía y ubicación geográfica. Asimismo, para una fácil identificación de la jerarquía de las vías se utiliza un símbolo en cada categoría.

a) Simbología

Para la identificación gráfica de la jerarquía de las vías y en la señalización de éstas se utiliza los símbolos que se indican, dentro de los cuales se coloca el Código de Ruta:

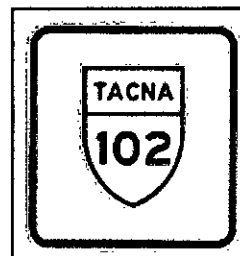
a.1) Red Vial Nacional: "escudo"

Figura 1-1:
Escudo para Carreteras Nacionales



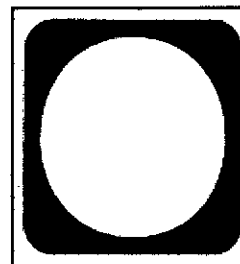
a.2) Red Vial Departamental o Regional: "emblema"

Figura 1-2:
Emblema para carreteras Departamentales



a.3) Red Vial Vecinal o Rural: "círculo"

Figura 1-3:
Círculo para Carreteras Rurales



Fuente: Página del MTC, Dirección de Caminos y Ferrocarriles, Manuales de Tránsito, ANEXO C "Señales Informativas".

b) Código Vial y Nomenclatura

En las carreteras de la Red Vial Nacional, el Código de Ruta está conformado por el prefijo PE, seguido de un número del 01 al 99. La nomenclatura de las vías está efectuada mediante numerales, los números impares corresponden a carreteras longitudinales y los números pares a carreteras transversales. En caso de bifurcación, el ramal conserva el mismo número seguido de una letra mayúscula aplicada en orden alfabético.

b.1) En las carreteras de la Red Vial Departamental o Regional, el Código de Ruta está conformado por un prefijo de dos letras que identifican al Departamento donde se ubica la carretera (Cuadro 1-2), seguido de un número del 100 al 499. La numeración se asigna con el criterio de Norte a Sur.

b.2) En las carreteras de la Red Vial Vecinal o Rural, el Código de Ruta está conformado por el mismo prefijo de dos letras que identifican al Departamento donde se ubica la carretera (Cuadro 1-2), seguido de un número del 500 en adelante.

Cuadro 1-2: Código de Rutas Departamental

Región	Prefijo	Región	Prefijo
Amazonas	AM	Lambayeque	LA
Ancash	AN	Lima	LM
Apurímac	AP	Loreto	LO
Arequipa	AR	Madre de Dios	MD
Ayacucho	AY	Moquegua	MO
Cajamarca	CA	Pasco	PA
Cusco	CU	Piura	PI
Huancavelica	HV	Puno	PU
Huánuco	HU	San Martín	SM
Ica	IC	Tacna	TA
Junín	JU	Tumbes	TU
La Libertad	LI	Ucayali	UC

Fuente: Página del MTC, Normas de la Dirección de Caminos y Ferrocarriles

1.1.2 RED VIAL ACTUAL, CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL N°13 – TRAMO: km 220 – km 240+000

CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

1.1.2.1 Ubicación

El tramo del estudio de la investigación se encuentra ubicado el distrito de San José de Quero con capital del mismo nombre, está situado en la parte suroeste de la Provincia de Concepción a 48 Km de distancia de la ciudad de Huancayo, con una extensión superficial de 317 Km², es una de los 15 distritos de la provincia de Concepción que pertenece a la Región Junín. Tiene como límites a:

NORTE: Los límites de la hacienda Consac.

ESTE: Los linderos de la hacienda Colpa y el Río Cunas.

OESTE: La Cordillera Occidental llamada en esta sección de Negro Bueno.

SUR: El río Apahuay y los límites de la comunidad de Sachi con la Hacienda Jatunhuasi.

Además cuenta con un pequeño parqucito en el que destaca una glorieta techada con tejas rojas rodeada de jardines en los que se pueden apreciar altos pinos de diversas especies. En los alrededores de la plaza se encuentran las principales instituciones públicas y privadas como el Palacio Municipal, la Casa Comunal, el Centro de Salud y una escuela de educación primaria. San José de Quero celebra su fiesta patronal el 19 de marzo.

Figura 1-4: Ubicación del proyecto en el departamento de Junín.

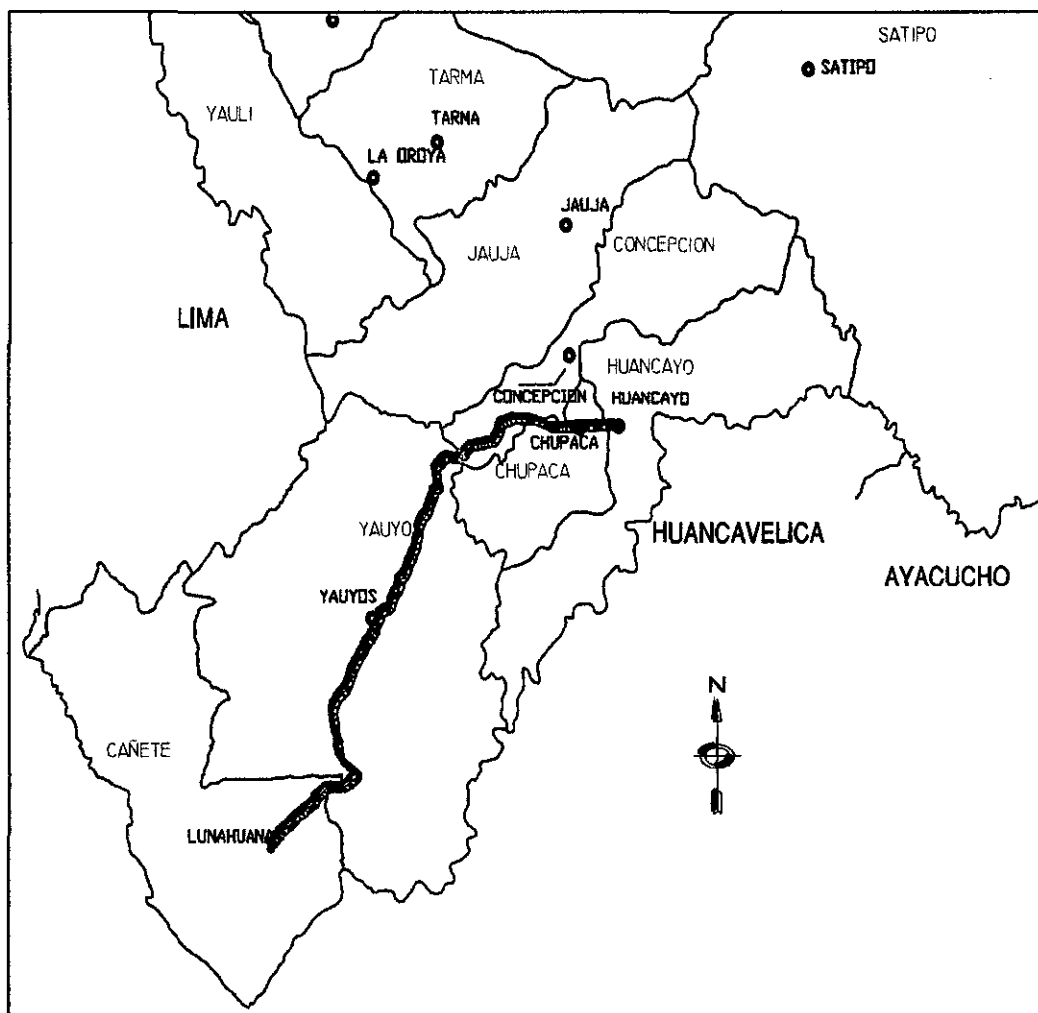


Figura 1-5: Ubicación del proyecto en el mapa del Perú

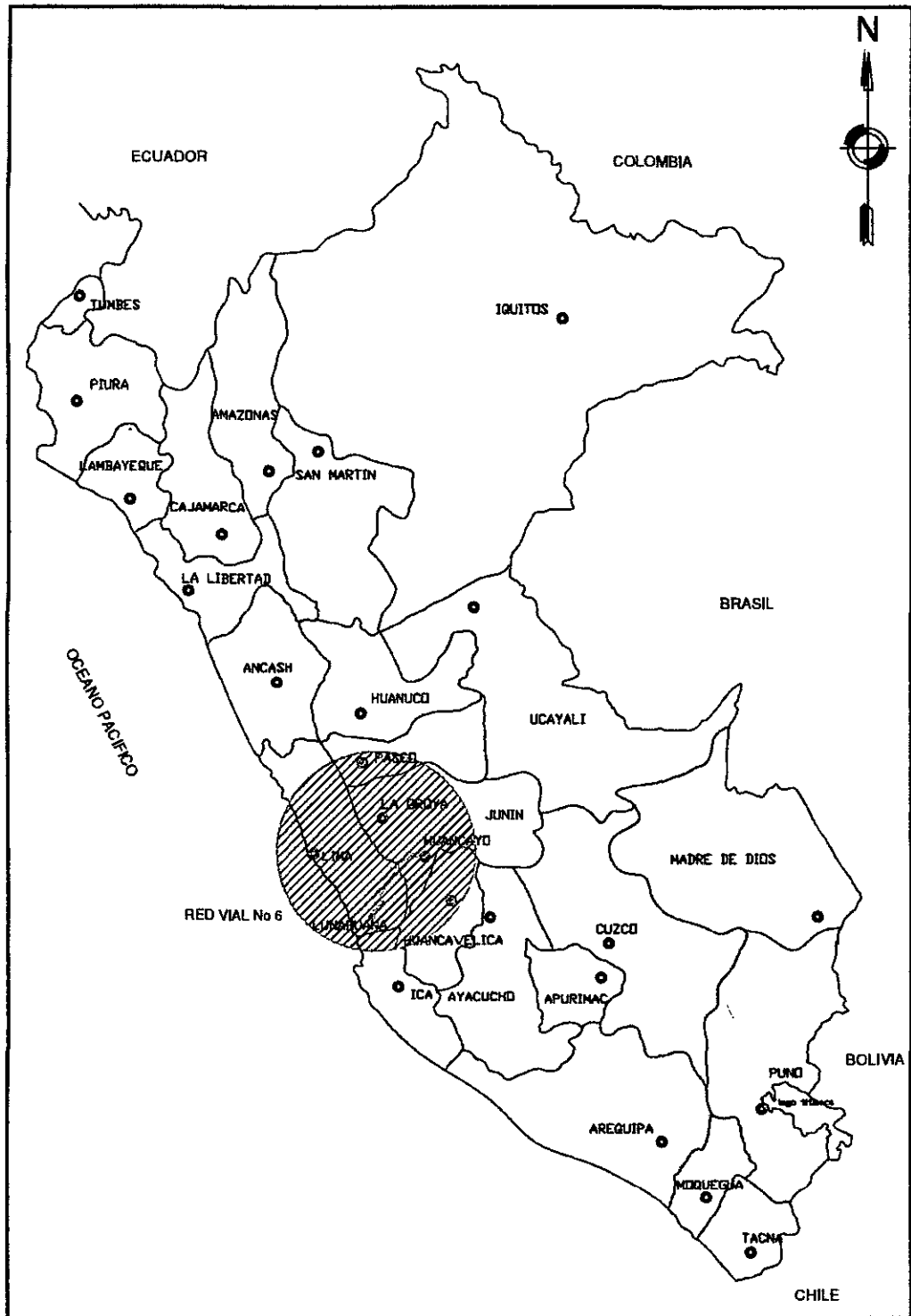
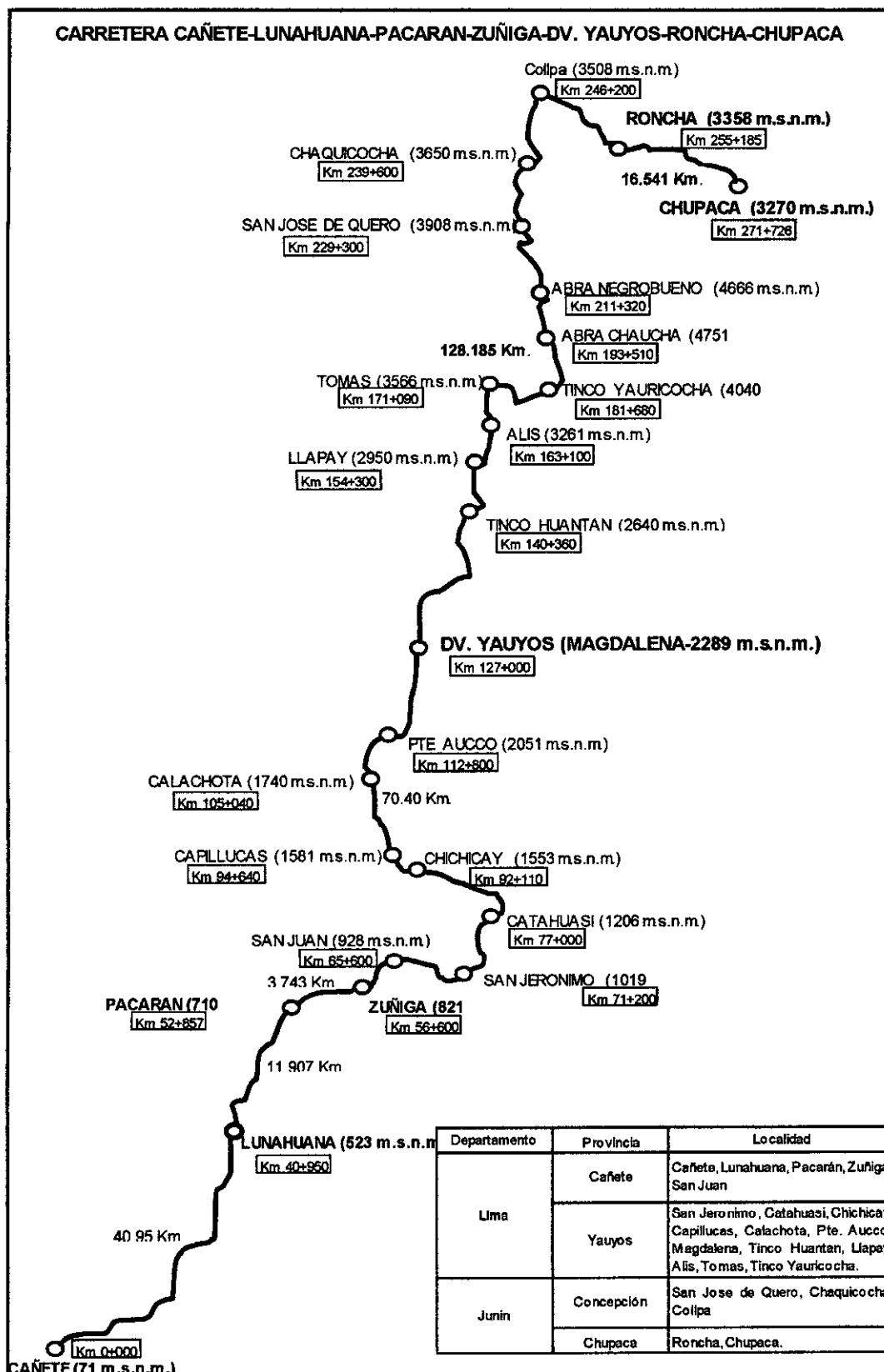


Figura 1-6: Plano Clave de la Carretera de Conservación Vial



1.1.2.2 Población

Tiene una población según el censo del 2007 de 6452 habitantes, con una tasa de crecimiento anual de 0.23% encontrándose el 44 % en áreas netamente rurales. La provincia tiene una extensión de 6,901.58 Km² siendo los distritos con mayor superficie Tauripampa (530.86 Km²), Ayauca (439.79 Km²) y Laraos (403.76 Km²).

Fotografía 1-1: Poblado del Distrito de San José de Quero



1.1.2.3 Clima

Posee una gran variedad ecológica que va desde los 3800 m.s.n.m hasta los 4600 m.s.n.m., lo cual comprende los pisos altitudinales de quechua, suni, puna y janca. La mayoría de poblados se encuentran dentro de la región puna (entre los 3800 y 4000 m.s.n.m.), donde los días son calurosos al sol y templados en la sombra, la temperatura está entre 5° a 14° aproximadamente. El clima en el distrito de San José de Quero es seco y frío, con la temperatura a intervalos eventualmente críticas, bajo contenido de humedad atmosférica y precipitaciones fluviales. Con fines agrícolas se aprovechan las lluvias que se presentan entre diciembre y abril.

1.1.2.4 Topografía

La zona presenta una topografía no muy accidentada con una pendiente variada entre 2-15 % aproximadamente. Presenta la topografía más homogénea cercana al río Cunas de pendiente moderada.

Fotografía 1-2: Topografía con pendiente moderada en el tramo de estudio



1.1.2.5 Hidrología

El patrón hidrográfico que constituye la zona de estudio se halla constituido por dos cuencas principales: la Cuenca del río Cunas y la Cuenca del río Cañete. La cuenca del río Cunas, comprende aproximadamente los últimos 52 Kms. del trazo, siendo su divisoria de aguas respecto a la cuenca del río Cañete, representado por los caseríos tales como: Laguna Cunacocha, Millpo, Pishapampa y Gentilmacha; toda esta red de drenaje se ha entallado sobre rocas calizas; este río Cunas, cambia de nombre al pasar por Chupaca, cambiando su nombre por río Chupaca.

1.1.2.6 Actividades socio-económicas

La población del ámbito de influencia del proyecto, tiene como base económica principal, la explotación ganadera del cual producen derivados lácteos, quesos, mantequilla entre otros que comercializan en la ciudad de Chupaca y Huancayo. Así también la explotación de la actividad agropecuaria (de autoconsumo, principalmente), cuyas formas de producción son básicamente "tradicionales", en relación a los sistemas de producción mecanizados y agroquímico, que se practican en la costa, en los grandes complejos agroindustriales, principalmente.

En los distritos de Ahuac, Cullhuas y Chupaca encontramos sembríos de: cebada grano, maíz amiláceo, quinua, trigo, frutales, ajos, cebollas, alcachofa, apio, brócoli, repollo, maíz choclo, zanahorias, oca, olluco, papa, bacón, etc. Los distritos de Chambara y San José de Quero, también producen principalmente para autoconsumo, y un mínimo porcentaje lo venden en el mercado.

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los problemas fundamentales en las obras viales es la falta de capacidad de soporte de los suelos que conforman la subrasante y la base, trayendo como consecuencia el deterioro prematuro y constante de la superficie de las vías, sobre todo de las trochas carrozables que son obras de articulación vial de mayor incidencia en el territorio nacional y la región. De las soluciones para el mejoramiento de las propiedades del suelo para carreteras las más conocidas y antiguas son la estabilización mecánica (mezcla de suelos) y la utilización de cal y cemento, pero de acuerdo al avance tecnológico, en el mundo se vienen desarrollando nuevas técnicas para la estabilización de suelos empleando productos asfálticos, siendo la que más desarrollo ha tenido hasta la actualidad. En el Perú, la utilización de estabilizadores asfálticos para mejorar las características físico-mecánicas de los suelos de fundación de las carreteras se ve restringido por la escasa información y experiencia existente hasta la actualidad en el territorio patrio.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 Objetivo general

Proponer una solución de mejoramiento de la subrasante y el material a emplear en la capa base del pavimento de tal manera que el diseño final brinde mejores condiciones de servicio, seguridad y confort para la circulación del tránsito vehicular y la alternativa considerada brinde aportes técnicos al Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la elaboración de Normas, Especificaciones Técnicas y Manuales para la conservación del Sistema Nacional de Carreteras, para carreteras de bajo volumen de tránsito.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar el mejoramiento del material de la subrasante utilizando el agente estabilizador cal hidráulica y diseñar su espesor utilizando la metodología AASHTO 1993.

Hacer mediciones del aporte estructural con la mezcla del material de cantera que se utilizará en la capa base del pavimento y los agentes estabilizantes emulsión asfáltica y Cemento Portland.

Diseñar los espesores de las capas del pavimento; sub-base y base considerando el mejoramiento de la base y una superficie de rodadura con tratamiento superficial, finalmente evaluar las alternativas a fin de definir la solución más eficiente y económica.

1.4 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis específica.- La estabilización con la emulsión asfáltica a nivel de base tiene mayor aporte estructural y es más económica que la realizada con cemento.

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para cumplir el objetivo de la investigación, esta tendrá las siguientes etapas:

- **Recopilación de información.-** Comprende la recolección, evaluación y análisis de la documentación existente, como estudios de pre-factibilidad (nivel de perfil), factibilidad y estudios finales realizados por el contratista y anteriormente por el MTC.
- **Trabajos de campo.-** Consiste en visitas y recorridos del tramo para su evaluación, observación e identificación de las características de la vía (obras de arte, drenaje, superficie existente), evaluación del material de sub-rasante, selección de fuentes de materiales de cantera necesarios para la propuesta de mejora en la base y superficie de rodadura.
- **Fase de Laboratorio y Gabinete.-** Consiste en el procesamiento y análisis de la información para la determinación de los parámetros de diseño del pavimento.

a. Recopilación de Información

La información recopilada se refiere a los siguientes aspectos:

Estudios existentes:

- **Estudios de Pre-inversión a Nivel de Perfil para el Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Dv. Yauyos – Chupaca,** elaborado por el Ing. Floriano Palacios León (Ing. Consultor), abril 2004.
- **Estudio de Pre-inversión a nivel de Factibilidad del Proyecto: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Ruta 22 Tramo: Lunahuaná – Dv. Yauyos – Chupaca”,** elaborado por el Ing. Floriano Palacios León (Ing. Consultor), julio 2005.

- Estudios técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica carretera: Cañete – Lunahuná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca Tramo: Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas”, elaborado por el contratista CGC, agosto 2008.
- Informes de suficiencia, Tesis de Grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

b. Fase de campo

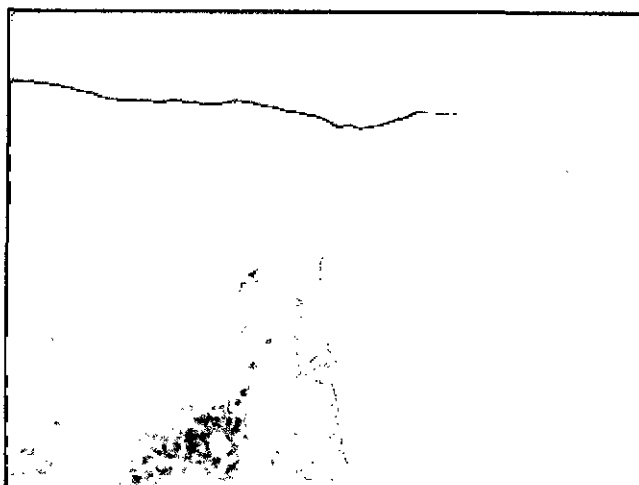
Durante esta etapa se estudió las características hidrológicas de la zona y se verificó el estado actual del sistema de drenaje, llámese alcantarillas, cunetas, etc. siendo muy importantes que las cunetas de tierra se encuentren perfiladas para que el agua discurra por el cauce y no filtre a la superficie del pavimento así como las alcantarillas no estén colmatas.

El diagnóstico del drenaje existente, que comprendió la inspección del tramo, la consulta a los pobladores locales y la evaluación de las características y estado de conservación de las obras de drenaje existentes, permitió tomar conocimiento de los problemas de drenaje. Los problemas de drenaje del tramo estudiado corresponden a la falta de mantenimiento de las cunetas de tierra existentes y en otros casos a la inexistencia de ellas.

Visitas a la cantera seleccionada, de acuerdo a referencia de ensayos existentes de canteras existentes cercanas al tramo en estudio, selección de muestra necesaria para los ensayos de verificación de resultados de los estudios anteriores.

De la misma forma se sacó muestras de materiales de la ejecución de la prospección (calicatas) de la subrasante, para la comprobación de resultados de los ensayos existentes que están en informaciones del contratista encargado.

Fotografía 1-3: Cuneta de tierra falta perfilar, el agua no discurre con facilidad



Fotografía 1-4: Cabezal de salida de alcantarilla colapsado por problemas de asentamiento



c. Fase de Laboratorio y Gabinete

En esta etapa se elaboran los ensayos respectivos tanto para el material de sub-rasante y material de cantera para verificar los resultados de los ensayos existentes y hacer la propuesta de diseño del pavimento considerando el mejoramiento con los estabilizadores cal, emulsión asfáltica y Cemento Portland de la subrasante y base de la carretera. Por último se procesa la información de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

2.1 ESTUDIO DE CANTERAS

2.1.1 GENERALIDADES

Se efectuará el estudio de canteras o fuentes de materiales para rellenos, capa de base, tratamiento superficial y obras de concreto hidráulico. Para el caso de canteras que tengan estudios previos, se efectuarán solamente ensayos que confirmen la calidad y potencia de las mismas.

Las canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio.

El número mínimo de calicatas será de 6 de 3.0 m de profundidad o alternativamente 12 calicatas de 1.5 m de profundidad por hectárea por medio de sondeos, calicatas y/o trincheras. Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos estándar, mínimo 06 pruebas por tipo de ensayo a fin de determinar sus características y aptitudes para los diversos usos que sean necesarios (rellenos, afirmados, concreto, etc.).

A todas las muestras se les practicarán ensayos de clasificación, en tanto que a un número representativo del total del muestreo se les efectuarán ensayos de compactación, CBR y aquellos que permitan determinar las propiedades mecánicas y de resistencia.

La exploración de las canteras o fuentes de materiales debe cubrir un área que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1.5 veces las necesidades del proyecto.

Estos trabajos se efectuarán a criterio, experiencia y responsabilidad del proyectista, los resultados y conclusiones que presente deben ser los representativos y con una confiabilidad aceptada, de tal manera que los materiales procedentes de las canteras seleccionadas por el

proyectista cumplan estrictamente el Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

El informe geotécnico de canteras o fuentes de materiales deben incluir, al menos, la siguiente información:

- Ubicación y potencia de la cantera.
- Condiciones de explotación tales como nivel freático, accesos, pendientes, taludes, etc.
- Características principales de los materiales que puedan obtenerse.
- Características y propiedades de los materiales para definir su aptitud como agregados para rellenos, afirmado, macadam granular, grava, concreto, etc.
- Rendimientos por tipo de uso, limitaciones o condicionantes constructivas que puedan restringir su uso (por ejemplo, condiciones de humedad, sobre tamaño, etc.).
- Propiedad y disponibilidad de uso de la cantera o fuente de materiales.
- Ubicación de las fuentes de agua y su calidad para ser usada en la obra.

2.1.1.1 Tipos de materiales

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, las mismas que deben corresponder la siguiente figura:

Figura 2-1: Signos Convencionales Para Perfil de Calicatas

SUELOS			
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGÁNICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Todas las muestras representativas obtenidas de los estratos de las calicatas del suelo de fundación deberán contar con los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado.
- Límites de consistencia:
Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.
- Clasificación SUCS.
- Clasificación AASHTO.
- Humedad Natural.
- Proctor Modificado.*
- C.B.R.*

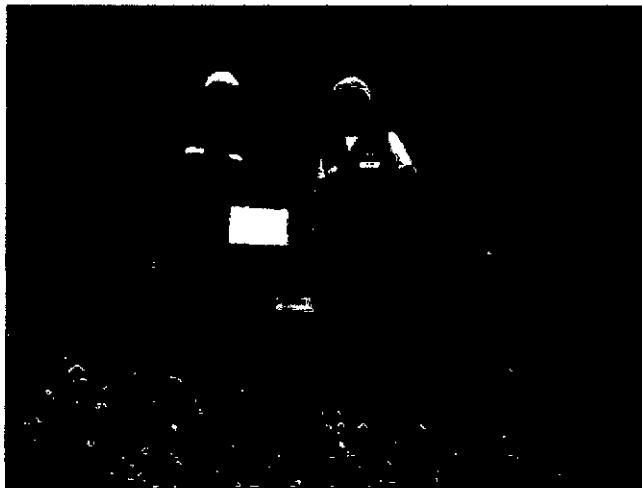
2.1.2 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Los trabajos de campo consisten en la selección de material representativo de la cantera para efectuar diversos ensayos en el laboratorio de la FIC-UNI, y en el laboratorio de la obra (San José de Quero-Concepción-Junín), tales como:

- Estudio de suelos del terreno de fundación para determinar sus características físico-mecánicas con la finalidad de definir el perfil estratigráfico y establecer su capacidad de soporte CBR.
- Selección de fuentes de materiales para el empleo en la construcción de la base de la estructura del pavimento.
- Ensayos de laboratorio tales como: Análisis Granulométrico por tamizado, Límites de consistencia, Proctor Estándar o Modificado, California Bearing Ratio (CBR), Compresión Simple, utilizando el material de cantera y con el empleo de aditivos estabilizadores como la emulsión asfáltica y el cemento.

2.1.2.1 Trabajos de campo

Se hizo visitas campo a la cantera, para la selección de muestras representativas para realizar los ensayos correspondientes, que permitan confirmar los resultados de estudios anteriores realizados por el Consorcio Gestión de Carreteras. Los materiales tienen que ser preparados y ensayados tanto en el laboratorio instalado en la base de San José de Quero así como en el laboratorio de la FIC-UNI en la ciudad de Lima.



Fotografía. 2-1: Selección de muestras de la cantera del km 237+400

2.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA CANTERA ESTUDIADA

Se han ubicado a lo largo de la carretera varias fuentes de materiales tal como se muestra en el Anexo 02 – Esquema de Ubicación de Canteras, de los cuales se ha elegido la más cercana al tramo en estudio y tiene las siguientes características:

Cantera Km: 237+400.-Se encuentra ubicado en la margen derecha de la vía Cañete – Chupaca, esta cantera se encuentra ubicada en una hollada por lo que no se puede aprovechar en épocas de lluvia ya que el agua que se acumula producto de las intensas lluvias en épocas de avenida no tiene discurrimento por lo que no es recomendable hacer uso en esa época.

Con características de un depósito aluvional, cuyos agregados son de forma sub-angular. En el sistema SUCS clasifica como GW-GC, mientras que en el AASHTO (Para vías de transporte) como un A-1-a (0). El tamaño máximo de los agregados es de 2", y pasa 6% por la malla N° 200. Tiene 6% de Índice Plástico. Se estima una potencia necesaria tal que cubra el tramo en estudio.

Los accesos con que cuenta la cantera son los siguientes:

- La cantera solo tiene un acceso de un aproximado de 200m desde el ingreso de la vía en el Km 237+400 (L.D).



Fotografía 2-2: Acceso hacia la cantera del km 237+400 L.D.

Los ensayos de laboratorio de muestras representativas del material de cantera que se presentan en el Anexo 01, muestran resultados que indican la necesidad del mejoramiento de las propiedades mecánicas de tal forma que el aporte estructural sea adecuado y evitar sobredimensionamientos de las capas. Por esta razón es que se decidió utilizar estabilizadores como la emulsión asfáltica y el Cemento Portland. Otra alternativa es traer material de otra fuente no muy cercana de mejores propiedades mecánicas pero este afectaría significativamente en el presupuesto del proyecto, por el costo del transporte.

Cuadro2-1: Canteras para la base y sub-base

CANTERAS						
NOMBRE	CBR (95%)	Vol. (m3)	Rend (%)	Prog (Km)	Acceso (m)	Usos
Huamín Loma	N.P	175,000	90	224+000	200	Relleno
SAN BLAS	31	540,000	90	237+400	200	Relleno, Sub-base, base, concreto, carpeta asfáltica
Malapampa	N.P	175,000	90	248+500	100	Relleno
Chupaca	N.P	100,000	90	250+800	100	Relleno y Sub-base

Elaboración Propia

Por la cercanía del lugar y considerando los factores técnicos, se concluye que se debería explotar la Cantera "SAN BLAS" ubicada en el "Km 237+400".

Además los requisitos granulométricos que se indican en la Tabla 305-1 de las Especificaciones Técnicas del MTC, nos señalan que para las zonas con altitud de 3000 msnm a más se deberá seleccionar la gradación "A"; por lo cual la cantera seleccionada cumple con este requisito.

De igual manera para la sub-base los requisitos granulométricos que se indican en la Tabla 303-1 de las Especificaciones Técnicas del MTC, nos señalan que para las zonas con altitud de 3000 msnm a más se deberá seleccionar la gradación "C", por lo cual la cantera seleccionada cumple con este requisito.

Por lo tanto el agregado de la SUB-BASE tendrá CBR="31%".

2.2 ESTUDIO DE FUENTES DE AGUA

Se tiene identificada una fuente de agua para la zona de influencia del tramo, el lugar más próximo y que además debe cumplir los requisitos para el aprovechamiento de las aguas es el Río Cunas de considerable volumen todo el año, es afluente del Río Mantaro, ubicado en la progresiva Km. 249+000, con un acceso de 100m aprox.. En el Anexo 02 – Esquema de ubicación de fuentes de agua, se detalla mejor la ubicación de las fuentes de agua a lo largo del proyecto incluyendo el considerado para el tramo de influencia. Cabe mencionar que el agua de este río es utilizado aguas abajo por agricultores y ganaderos en zonas agrícolas pertenecientes a la provincia de Chupaca antes de unirse a las aguas del Río Mantaro, también se podría decir que es utilizado para consumo humano por pequeñas poblaciones cercanas al río donde no hay agua potable. Por lo que se asume que las aguas son adecuadas para los trabajos de conformación de subrasante, base y tratamiento superficial en el tramo, ya que no se tiene datos de los ensayos que pudieron haberse realizado tanto por el MTC y por el contratista CGC.

Fotografía 2-3: Río Cunas afluente del Río Mantaro, ubicado en la margen izquierda de la vía



2.2.1 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Con el fin de reunir los criterios adecuados para conocer las propiedades químicas de las posibles fuentes de aprovechamiento de aguas cercanas al tramo de influencia, se debería de considerar en el estudio las siguientes etapas:

- **Recopilación de información.-** Comprende la recolección, evaluación y análisis de la documentación existente, como estudios hidrológicos de la zona, pluviometría en el área de estudio. Estudios realizados por el MTC y/o por el contratista encargado de la conservación CGC o alguna otra institución.
- **Trabajos de campo.-** Consiste en un recorrido del camino para su evaluación y observación de las características de los accesos, aspectos hidrológicos como verificar el caudal del río, toma de muestras representativas.
- **Fase de gabinete.-** Consiste en el procesamiento y análisis de la información y resultados del ensayo de laboratorio como el ensayo químico del agua. Y se determina la fuente de agua más adecuada, que cumpla los parámetros mínimos que exige el MTC para los trabajos que se va realizar.

La prueba de análisis químico del agua, determina la compatibilidad que esta pueda presentar al mezclarse con los agregados y con los elementos estabilizadores como la emulsión asfáltica o el cemento.

2.2.1.1 Obtención de muestras

La toma de muestras es muy importante ya que pueden tener influencia directa en los resultados ya sea positivo o negativo. El material recipiente que se debe utilizar para la toma de muestras puede ser en botellas de vidrio o de plásticos, estos deben estar libres de grasas e impurezas ya que pueden alterar las propiedades químicas de la muestra.

El tamaño de muestra es de 500 cm³ de agua.

2.2.1.2 Precauciones en la obtención de muestras

Antes de tomar las muestras el recipiente que se elija debe estar limpio y si es necesario debe lavarse varias veces en el mismo lugar, y si tuviera grasa en las paredes internas también debe eliminarse con algún elemento antigraso.

Los frascos ya sean de plástico o vidrio deben estar herméticamente cerrados para evitar pérdidas y/o contaminación de las muestras, también en su interior debe existir una pequeña cámara de aire.

Los frascos deben estar bien etiquetados e identificados, para evitar confusión de muestras, el transporte se debe hacer de preferencia en una caja con aserrín o viruta, de tal manera que eviten las roturas en caso de movimientos bruscos de la caja durante el transporte.

Los frascos no deben quedar expuestos al sol.

CAPÍTULO III

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CAL

3.1 GENERALIDADES

La cal se ha empleado en la construcción de vías desde muy antiguo. Muchas calzadas romanas están apoyadas sobre bases de mezclas compactadas de arcillas y cal. De su estabilidad y capacidad portante durante toda su vida útil no se puede dudar. No obstante, su aplicación de forma sistemática en la construcción de carreteras en Perú se viene haciendo en estos últimos años. Las exigencias técnicas y medioambientales de los últimos años han impulsado la reutilización de los suelos mediante su tratamiento y/o estabilización.

A ello también han contribuido dos factores esenciales:

La calidad de las cales empleadas en la construcción de carreteras, con un desarrollo de la normativa vigente que ha permitido garantizar dicha calidad en obra. El desarrollo de la maquinaria específica para estabilización de suelos, permitiendo una calidad en la ejecución de estos trabajos excelente.

Las principales aplicaciones de las cales, vivas o hidratadas, en la construcción de carreteras, son en tratamientos y/o estabilizaciones de suelos, por un lado; y, por otro, como polvo mineral de aportación (filler) en mezclas bituminosas. Si bien esta última aplicación no es todavía de uso común en Perú, sí lo es en otros países del Norte de Europa y en Estados Unidos. Por el contrario, la estabilización de suelos ha experimentado un enorme desarrollo en los últimos años, obteniéndose muy buenos resultados en todas sus aplicaciones. Los suelos estabilizados, ya sea con cal y/o con cemento, constituyen capas más uniformes y homogéneas, de mayor calidad, con mayor durabilidad y prácticamente insensibles al agua.

3.2 OBJETIVOS DE LA ESTABILIZACIÓN CON LA CAL

Los suelos con contenidos apreciables de arcillas y limos, muy frecuentes en toda la geografía peruana, sobre todo en la selva, presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción de infraestructuras debidos a su elevada plasticidad, reducida capacidad portante e inestabilidad de volumen en función de la humedad (hinchamiento y retracción). La estabilización con cal de estos suelos es una solución muy interesante desde los puntos de vista económico, ambiental y técnico.

La estabilización propiamente dicha consiste en una mejora a largo plazo (meses/años) por cementación, en función de la temperatura ambiente y de la naturaleza de la arcilla, aumentando la capacidad portante del suelo con el fin de poder emplearlo en capas más solicitadas. De esta forma pueden obtenerse explanadas y sub-bases con buenas propiedades estructurales que van incrementándose en el tiempo, a la vez que hace insensible la capa estabilizada al agua y a los ciclos hielo-deshielo.

Al elevar la cal el pH del suelo estabilizado hasta valores de 12,4 se libera sílice y alúmina de la arcilla que reaccionan con los iones calcio procedentes de la cal formando silicatos y aluminatos cálcicos hidratados que como en el caso del Cemento Portland, incrementan la resistencia mecánica. Esta reacción de tipo puzolánico es progresiva con el tiempo y aumenta la impermeabilidad, la resistencia mecánica y la resistencia a las heladas del suelo tratado. Los porcentajes necesarios de cal para garantizar la permanencia de la reacciones puzolánicas a lo largo del tiempo oscilan entre el 3 y el 8 por ciento.

El mecanismo de estabilización es mucho más complejo que el de modificación, debido a las dos variables que influyen en su desarrollo. Por un lado, su desarrollo en el tiempo, y por otro, la reacción cal-arcilla. Es aconsejable, por lo tanto, basar el proyecto de una estabilización determinada en estudios y ejecuciones anteriores con arcillas de similar composición minera lógica.

3.3 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LAS CALES PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

3.3.1 Características Físicas

FINURA

Es una característica importante en la medida que interviene en las condiciones de almacenamiento, transporte y mezcla con el suelo. El apagado o hidratación de la cal viva con el agua produce la cal hidratada, lo que lleva además un auto pulverización muy fina, incluso micronizada del producto. Además la finura puede intervenir en la reactividad de la cal.

3.3.2 Características Químicas

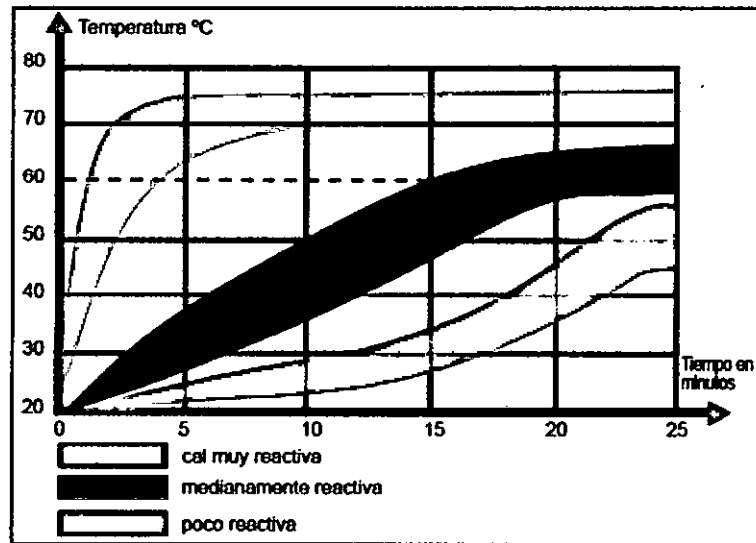
EL CONTENIDO EN CaO: Es el componente fundamental de la cal. Puede estar, en forma de óxido CaO en las cales vivas, en forma de hidróxido $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en la cal apagada.

EL CONTENIDO EN MgO: Es igualmente interesante, ya que el óxido de magnesio posee en general una acción análoga a la del óxido de calcio. De igual manera puede estar en forma de óxido (MgO), o como hidróxido $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$

REACTIVIDAD DE LA CAL VIVA: Indica la velocidad o cinética de la reacción de hidratación. Es función de las características físicas y químicas del producto y depende de la porosidad de la cal, del grado de calcinación, de la materia prima (caliza) utilizada y de la finura de la cal en el momento del ensayo. El ensayo más empleado y conocido se basa en el carácter exotérmico de la reacción entre el CaO y el H_2O (Gráfico 3-1).

Otros componentes minoritarios de las cales son los carbonatos cálcico y magnésico que se evalúan mediante el contenido de CO_2 de las cales.

Gráfico 3-1: Carácter exotérmico de la reacción entre el CaO y el H₂O



3.4 Proceso de Acción de la cal en un suelo

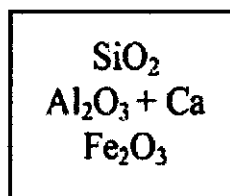
Se puede identificar cuatro procesos en el accionamiento de la cal en los suelos:

- 1) **Intercambio de bases:** Los suelos plásticos ($IP \geq 10$) poseen cationes Na^{++} , K^{+} o Mg^{++} , que poseen gran poder de atracción de agua debido a una descomposición de cargas superficiales, al incorporar cal a el suelo incorporamos iones Ca^{++} que remuevan a los iones K^{+} , Na^{++} ó Mg^{++} compensando cargas superficiales y disminuyendo el poder de atracción de agua proceso que se denomina intercambio de bases.
- 2) **Floculación o Coagulación:** Las partículas de arcilla en una mezcla suelo-cal comienzan a agruparse debido a una atracción entre las partículas entre sí, debido a la eliminación del agua absorbida, generando cambios en la curva granulométrica del nuevo material con desplazamientos hacia la zona gruesa. Este proceso requiere horas para producirse y el porcentaje de cal necesario será de 2% en peso, variable según el tipo de suelo.



3) Figura 3-1: Mecanismo de floculación y aglomeración de las partículas arcillosas reaccionando con la cal.

4) **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:



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 encuentran en un medio de pH 10.5 a 11.0 es decir alcalino. Por ello (del intercambio de bases y la floculación), el primer 2% mejora el pH y el resto de cal favorece el proceso de acción puzolánica.

5) **Carbonatación:** Es una reacción química que se produce entre el óxido de calcio puro (CaO) cal y el dióxido de carbono de la atmósfera. Se supone que este fenómeno posee más probabilidad de desarrollarse cuando hay excesos de cal y cuando hay contacto con el oxígeno del medio ambiente, es por ello que tiene lugar en las capas superficiales generando una heterogeneidad con el material ligante.

Para evitar estos problemas debe restringirse el contacto con el oxígeno de la atmósfera de la capa suelo cal durante el proceso de maduración dando lugar a lo que llamamos curado, el que se materializa mediante riego asfáltico.

De lo anterior se puede diferenciar dos procesos bastante marcados en la elaboración de suelo estabilizado con cal.

- | | | | |
|----|---|-------------------------|------------------------------|
| I | { | a. Intercambio de bases | Modificar el suelo con cal |
| | | b. Floculación | |
| II | { | c. Acción puzolánica | Estabilizar el suelo con cal |
| | | d. Carbonatación | |

En la parte I, hay una modificación en las propiedades del suelo siendo estas irreversibles.

En la parte II, tiene lugar la acción de cementación del material y aumento a la resistencia al corte por aumento de cohesión.

3.4.1 Características del material a estabilizar

El material a estabilizar debe cumplir con ciertos requerimientos básicos, para que se pueda llegar al objetivo de alterar sus propiedades físicas e incrementar su resistencia o capacidad de soporte del suelo; Por lo general recomiendan el uso de la cal, cuando el suelo tenga el índice de plasticidad mayor a 15 y el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 sea mayor a 25. Sin embargo la cal es poco efectiva en suelos altamente orgánicos o con pocas cantidades de arcilla capaz de reaccionar con la cal. Por ello se recomienda la presencia tolerable de 1 a 2% de materia orgánica ya que puede inhibir las reacciones puzolánicas, retardando los efectos de la cal sobre el suelo. También altas concentraciones de sales puede afectar reacción suelo – cal, ocasionando inestabilidad en el resultado, como presencia de fisuras en la superficie. Para el caso de los sulfatos solubles debe contener como máximo 0.3% de la solución agua de 10 a 1.

También se puede considerar los suelos de granulometría fina (100% pasando Tamiz N°10), como aquellos más gruesos con algún contenido de fino, pueden mejorar sus características con la incorporación de cal. Suelos altamente granulares con arcilla activa, cuyas variaciones volumétricas con el agua reducen la capacidad portante del mismo, han sido considerablemente mejorados mediante el tratamiento con cal.

Los ensayos realizados en el laboratorio, para el estudio del suelo con la cal son:

a) **Ensayos de identificación de suelos:** (Límites Atterberg, granulometría, hinchamiento, humedad natural, contenido de sulfatos solubles, carbonatos, materia orgánica, etc.). Con los resultados obtenidos se podrán clasificar los suelos.

Para tener mejor referencia del suelo que se va estabilizar se tiene el ensayo químico realizado al material de la subrasante que se especifica mejor en el ANEXO 01, y en resumen tenemos lo siguiente:

Cuadro 3-1: Componentes del material de la Subrasante Km 230+100

Componente	Fórmula	Contenido, %
Calcita	CaCO ₃	65.3
Dióxido de Silicio	SiO ₂	22
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	12.7

Del resultado del ensayo de los componentes del material sólido de la subrasante podemos decir que no presenta elementos perjudiciales tal y como se indica en el cuadro 3-1, por lo que no debería presentar problemas durante el mezclado con la cal hidratada.

b) **Ensayos de comportamiento:** Los ensayos realizados son fundamentalmente el de la compactación (Próctor Estándar para el caso de suelos finos) y la capacidad portante (C.B.R. y/o Resistencia a Compresión Simple).

3.4.2 Variaciones en las propiedades del suelo.

a) **Reducción de la humedad natural de suelo:** Para tales efectos se tiene que adicionar el agua necesaria para la hidratación de los óxidos de calcio existentes en la mezcla y su conversión en hidróxidos cálcicos. Además, y dado que la reacción que se produce es exotérmica, el propio calor producido en la hidratación facilita la evaporación del exceso de humedad.

b) **Modificación de la granulometría:** Este hecho se justifica en los mecanismos de floculación y aglomeración de las partículas que se originan por el intercambio iónico en la superficie de las mismas, siempre en cuando existan partículas finas en la muestra de suelo para la estabilización.

- c) Mayor trabajabilidad:** La aplicación de la cal en el suelo tendrá consecuencias en el secado de la masa del suelo, la reducción del volumen de partículas pequeñas, pérdidas de las fuerzas de unión entre las partículas de arcillas y de la alteración de la disposición ordenada y laminar de la misma, suele ser también un aumento de la trabajabilidad de los suelos arcillosos. El efecto que se logra es la conversión de un suelo típicamente cohesivo en otro de comportamiento granular.
- d) Reducción del Índice de Plasticidad (L.L y L.P):** La aplicación de la cal en un suelo arcilloso tiene como consecuencia variaciones en los límites de Atterberg (cálculo de límite líquido y límite plástico), determinación usual en el mundo. Provoca de manera generalizada un aumento del límite plástico y disminución del límite líquido, como consecuencia de ellos, se identifica la reducción del índice de plasticidad, que es la diferencia aritmética entre límite líquido y plástico, se manifiesta no obstante en mayor medida en suelos con mayor plasticidad. Otra característica de este efecto es que es progresivo, es decir, se incrementa con cantidad de cal aplicada. A mayor cantidad de cal, mayor reducción de la plasticidad. Sin embargo esta reducción no es lineal sino regresiva o asintótica, tendiendo a un límite a partir del cual el aumento de cal no produce reducciones sustanciales ni mucho menos proporcionales de la plasticidad del suelo.
- e) Reducción del potencial de cambios volumétricos:** Las reacciones que se generan entre la cal y las partículas de arcilla sirven no solo para reducir el nivel de humedad en las mismas, sino también para fijar en este nivel de humedad de una manera más estable y evitar su reducción o aumento ante aportes externos. Con ello se reduce el riesgo que esta reducción o incremento pueda tener en el volumen del suelo, y que en caso contrario se traduciría en expansiones o retracciones del mismo.
- f) Modificación de las características de compactación:** Además de las alteraciones granulométricas que genera la aplicación de la cal en los suelos arcillosos, también es la modificación de valores de humedad y densidad. La redistribución de las partículas de las fracciones de mayor tamaño hace que ante una misma energía de compactación sea posible obtener una menor densidad máxima. Un mayor tamaño de las partículas supone mayor proporción de la porosidad entre las mismas,

aun cuando estas hayan sido sometidos a un proceso de compactación. La justificación es puramente geométrica y similar a la referida al tratar el aumento de la permeabilidad.

g) Influencia sobre la densidad seca: Si se compacta una mezcla de suelo cal se obtiene por lo general una densidad seca menor que el correspondiente al suelo solo, para las mismas condiciones de compactación. Esta disminución puede alcanzar hasta un 5%. La reducción anotada en la densidad puede explicarse por el efecto de la cal sobre la textura del suelo. En efecto, el hecho que la adición de cal incrementa la resistencia de un suelo mientras reduce su densidad no debe extrañarse. En el caso de un material específico la resistencia generalmente aumenta con la densidad. Sin embargo, cuando algún agente químico, tal como la cal, es agregado a un suelo natural se forma un nuevo material, el cual puede tener propiedades físicas y químicas enteramente diferentes que el original y por lo tanto, su propia densidad máxima puede tener mayor resistencia que el suelo no tratado, aunque éste se encuentre más densificado.

h) Influencia sobre la resistencia de los suelos: La adición de cal produce aumento de la resistencia del suelo, estos cambios son causados por los cambios en las películas que rodean las partículas de arcilla, como también una granulación de estas partículas.

El curado de las probetas durante cierto período de tiempo produce un aumento de resistencia. También puede observarse un efecto parecido aumentando la compactación de las probetas y ensayándolas después de un período de curado. El efecto debido a la acción cementante de la cal, no aparece inmediatamente después de la compactación, sino al cabo de cierto tiempo en que tiene lugar la iniciación del fraguado.

El ensayo de Valor de Soporte de California sobre suelos tratados con cal muestra un pronunciado aumento de la estabilidad en relación con la del suelo, en la generalidad de los casos. Esta manifestación se presenta como un incremento de lo que se podría llamar su capacidad portante, por diferenciarla del aumento de la resistencia son radicalmente diferentes. Tal como ya se ha cuantificado en otros efectos, el incremento del C.B.R. es una consecuencia general para todos los suelos analizados, al igual que la variación del índice de

plasticidad; en la relación entre la capacidad de soporte vs. la variación de contenido de cal en el suelo existente, existe un punto de fijación en el incremento de cal donde la adición de cal ya no afecta la capacidad de soporte esto es variable con las características del suelo.

3.5 Contenido Óptimo de Cal

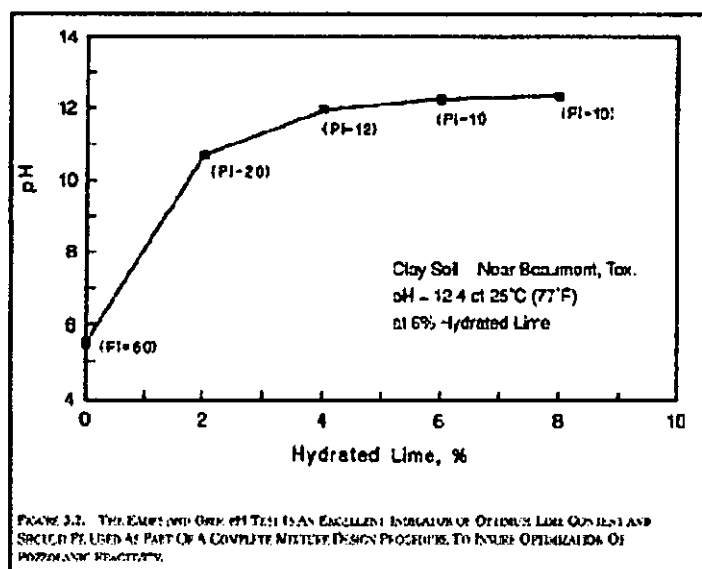
Por lo general depende del tipo de suelo, cuyos parámetros que se emplean usualmente para caracterizar los suelos son la granulometría, índice de plasticidad y la composición química, además del tipo de cal que se utilice para el mejoramiento de las propiedades del suelo.

Los objetivos buscados contemplan por lo general dos casos: Aumentar la resistencia a los esfuerzos normales y tangenciales y reducir el hinchamiento.

Para medir el primer factor, se puede utilizar ensayos como: compresión confinada, ensayo triaxial, capacidad de soporte (C.B.R) y otros. La comparación de los resultados debe hacerse entre los valores correspondientes a la mezcla del suelo con diferentes porcentajes de cal.

Otra manera del diseño del suelo cal es por el "Método del pH" que se indica en la norma ASTM C 977. Este procedimiento se basa en el hecho que la adición de la cal necesaria para estabilizar un suelo es aquella que garantiza el mantenimiento de un elevado pH que permita el desarrollo de las reacciones puzolánicas. Para ello, se ensayan muestras con distintos porcentajes de cal, midiéndose el pH en determinadas condiciones. El porcentaje óptimo es aquel que permite alcanzar el valor de 12,4.

Gráfico 3-2: Gráfico del "Método del pH" para el diseño suelo - cal



También se debe tener en cuenta las condiciones iniciales de humedad del suelo y las condiciones meteorológicas para la época, ya que puede alterar significativamente en la etapa de compactación, el objeto de ello es que la humedad se encuentre en rangos permisibles. Otra condición es el tiempo máximo y mínimo para realizar las operaciones de trabajo en una temperatura que puede oscilar desde los 5° C y 35° C, que la ejecución de la mezcla no tarde más de una hora desde la extensión de la cal, la compactación debe ser desde 4 a 6 horas desde el mezclado, el curado de la mezcla es de 3 a 7 días salvo que sea cubierta por otra capa superior.

La elección de la cantidad óptima de cal será el menor porcentaje de cal incorporado al suelo que sea capaz de satisfacer las propiedades físico-mecánicas buscadas para la construcción del pavimento. Una vez seleccionado dicho porcentaje, es aconsejable por razones prácticas adicionarle entre 0.5% y 1%, para tener en cuenta los desperdicios inevitables por proceso constructivo.

Se recomienda los siguientes procedimientos para la determinación del contenido de cal óptimo en suelos estabilizados:

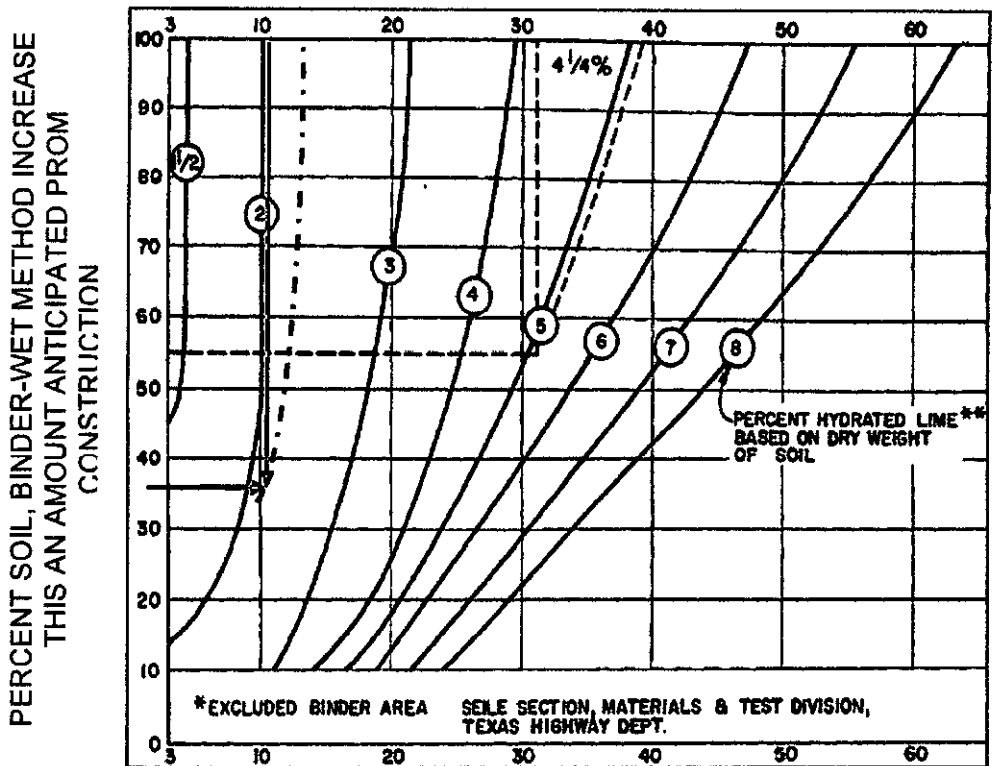
Paso 1.

El contenido inicial de cal se calculará empleando el gráfico 3-3, donde utilizaremos datos del ensayo de granulometría y límites de consistencia del material de la subrasante, siendo estos los siguientes:

- El índice de Plasticidad (IP) de la subrasante.
- Y el porcentaje de material acumulado que pasa la malla N° 40.

Según resultados que se muestran en el Anexo 01 de los ensayos mencionados de la subrasante, podemos decir que los valores correspondientes son:

- IP = 10.48 %
- % Acumulado pasa la malla N° 40 = 36.73 %



P.I. – WET METHOD

Gráfico 3-3: Abaco para determinar el contenido inicial de cal para la mezcla.

Fuente: Soil Stabilization For Pavements

Ingresando los valores que pide el ábaco, se obtiene el porcentaje inicial de cal igual a 2.2 %. Por lo tanto para poder determinar el óptimo contenido de cal se realizó el ensayo de CBR con mezclas de suelo - cal en los porcentajes de 2, 3 y 4 % de cal en peso.

Paso 2. Usando el diseño inicial de cal para la mezcla, se debe hacer el ensayo de Próctor Estándar, el material que se tiene en la subrasante no tiene parte granular siendo material arcilloso, se vio por conveniente no aplicar demasiada carga de compactación ya que no sería necesaria para simular el comportamiento real destructivo del suelo sometido a cargas externas. Con este ensayo para cada porcentaje de cal en la mezcla se tendrá los respectivos Óptimos Contenido de Humedad y la Máxima Densidad Seca de la mezcla suelo - cal. Los procedimientos contenidos en la norma ASTM D 3551 se utilizaron para preparar la mezcla de suelo-cal.

Paso 3. El ensayo de CBR se empleó como parámetro mínimo para determinar el óptimo contenido de cal considerando que el terreno que se está tratando de mejorar es la subrasante y que la estructura superior depende de los resultados de este para su dimensionamiento. Se realizó el

ensayo para cada porcentaje de cal definido, preparando tres probetas para cada porcentaje con 10, 25 y 56 golpes respectivamente distribuidos en 5 capas cada una. Las muestras se curaron en un recipiente cerrado para evitar la pérdida de humedad y la carbonatación de cal como bolsas de plástico, también pueden utilizarse latas de sellado de metal, entre otros. En diversas investigaciones se ha comprobado que si la temperatura de curado acelerado es demasiado alta, los compuestos formados puzolánica durante el curado de laboratorio podrían diferir sustancialmente de los que se desarrollan en el campo.

Cuadro 3-2: Resumen del ensayo de CBR, para cada % de cal en peso.

CAL (% en peso)	CBR (95% MDS)
2 %	5.8
3 %	6.8
4 %	8.5

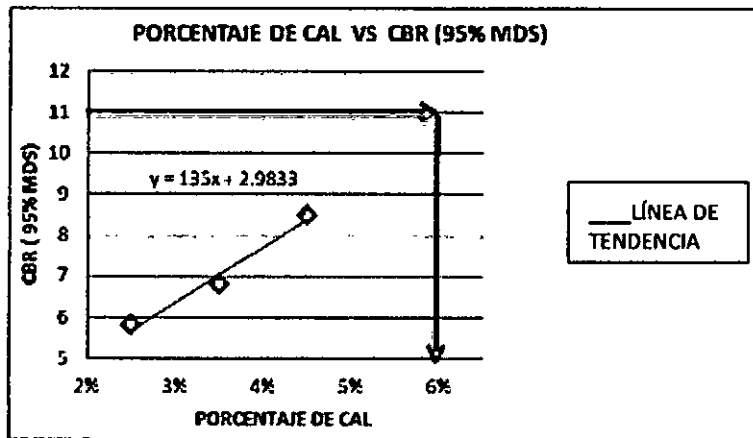
Paso 4. De acuerdo a la clasificación de la subrasante según el valor de CBR, existen cinco categorías de las cuales según el "Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito" considera para mejoramientos en la subrasante a suelos que no llegan a tener un CBR mayor de 10%, por lo que recomienda que el suelo esté dentro de la categoría de subrasante buena comprendido entre CBR=11-19%. El objetivo que se busca es que el valor del CBR no sea demasiado bajo, ya que la estructura superior resultará sobredimensionado ocasionando mayor costo, con relación a caminos de bajo volumen de tránsito.

Cuadro 3-3: Categorías de definición de la subrasante según el CBR.

S0 : Subrasante muy pobre	CBR < 3%
S1 : Subrasante pobre	CBR = 3% - 5%
S2 : Subrasante regular	CBR = 6 - 10%
S3 : Subrasante buena	CBR = 11 - 19%
S4 : Subrasante muy buena	CBR > 20%

Paso 5. En resumen se tiene una gráfica entre el porcentaje de cal en la mezcla y en la columna el valor del CBR para cada porcentaje. Por consideraciones de la subrasante como buena, se consideró como mínimo un CBR de 11%, este valor se ingresa en la gráfica y se intersecta con la línea recta de ajuste correspondiente a los tres pares de valores calculados inicialmente que corresponde a los porcentajes de cal y los CBR respectivamente.

Gráfico 3-4: Relación entre el porcentaje de cal y el CBR al 95% del MDS.



Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico 3-4 podemos observar, para un CBR de 11% considerado tendremos un porcentaje de cal de 5.9% en peso. Por lo que se consideró para el cálculo del espesor y el presupuesto un porcentaje de 6% de cal, considerando desperdicios durante el proceso constructivo.

3.6 Proceso Constructivo

Para la estabilización de esta capa no se consideró material de préstamo al que debería agregarse la cal, sino se considera el mejoramiento del material existente en la subrasante, por lo que se escarifica y se remueve en el espesor calculado según el diseño para la capa mejorada con cal, además se tiene que eliminar elementos gruesos o grumos de gran tamaño que puedan impedir la homogeneidad de la mezcla, así como malezas de origen orgánico que puedan presentarse después de remover la subrasante. Si se dispone de una estabilizadora rotativa mecánica lo mejor es mover el suelo antes de la dosificación de la cal mediante una pasada que afecte todo el espesor que se va estabilizar, ya que si se utiliza esta máquina se debe considerar que puede remover y mezclar hasta espesores de 40 a 50 cm, siendo inferior el espesor de la capa estabilizada con cal.

Resulta conveniente medir la humedad inicial del suelo, así como de cada capa extendida, determinar la densidad in situ, la porosidad y el grado de saturación para tener un mejor control de la mezcla, lograr una homogeneidad adecuada tanto longitudinalmente como transversalmente del camino. Esto permite obtener mejores resultados en la compactación y una mejor eficiencia en el uso de la cal pudiéndose mostrarse en lo económico.

3.6.1 Escarificación y pulverización inicial

Equipos: Motoniveladora con escarificador o escarificador de discos; estabilizadora de suelos para pulverización inicial.

La subrasante debe ser escarificada a la profundidad y ancho según las especificaciones del proyecto con el uso de un ripper acoplado en la parte trasera de una motoniveladora o un tractor sobre orugas y luego pulverizarse parcialmente. Es deseable remover los materiales que no sean suelos y que sean mayores que 3 pulgadas, como troncos, raíces, césped y piedras.

La subrasante escarificada o pulverizada ofrece más área de contacto superficial de suelo para la cal en el momento de la aplicación.

En el pasado era una práctica común escarificar antes de la aplicación. Hoy en día, debido a la disponibilidad de mezcladores superiores, la cal a menudo es aplicada sin la escarificación. La principal desventaja de este procedimiento, sin embargo, se da por factores meteorológicos; cuando la cal es colocada sobre una superficie lisa, hay mayor posibilidad para la pérdida debido al viento y al proceso, particularmente si la mezcla no se realiza de inmediato. Para eliminar la pérdida hacia los lados, se puede construir un pequeño camellón, utilizando material del camino (Figura 3-3).



Figura 3-2: Escarificación antes de esparcir la cal



Figura 3-3: Camellón utilizado para contener la cal antes de la mezcla

Cuando el suministro no sea manual y se considere equipos mayores para la aplicación directa de la cal al suelo, se debe tener consideraciones de almacenamiento, desplazamientos, accesibilidad durante la distribución, en muchos casos la geometría de la carretera podría no ayudar, ya que en promedio la vía en estudio tiene un ancho de 3 a 5 m. por lo que es recomendable antes de elegir la posibilidad del uso de equipos mayores la evaluación adecuada. El almacenamiento de la cal en obra debe hacerse en contenedores herméticos y dotados de sistemas de filtros que eviten el contacto con la humedad y con el aire para evitar la recarbonatación con el CO_2 .

Además la técnica de estabilización con cal utilizada en un proyecto debería estar basada en múltiples consideraciones, tales como la experiencia del contratista, la disponibilidad de equipo, la ubicación del proyecto (rural o urbano) y la disponibilidad de una fuente cercana y adecuada de agua.

3.6.2 Aplicación y Extendido de la Cal Hidratada

La cal viva o la cal hidratada seca pueden ser entregadas de manera convencional, en bolsas de papel o plástico considerado para proyectos pequeños, o bien en equipos como camiones auto descargables o trayler en forma neumática o mecánica en un ancho similar al ancho del camión, considerando la aplicación para grandes proyectos.

Debido a que el flujo de cal viva granular y sin triturar es más controlable que el de la cal hidratada, resulta una práctica común usar camiones con

aplicadores incorporados. Para asegurar la aplicación de la cantidad correcta de cal, se puede colocar sobre el suelo una bandeja o un paño de área conocida, entre las ruedas del camión que esparce la cal. La bandeja o paño, donde se recolectó la cal, se pesa para verificar que la cantidad de cal es la correcta.

Otro método para aplicar la cal viva, es por gravedad, dejándola caer formando un camellón. Es usual utilizar camiones graneleros con sistemas de compuertas inferiores neumáticas. La motoniveladora se utiliza, ocasionalmente, para esparcir la cal viva. Este método requiere que el área sea nivelada y esté suficientemente seca, para que no se produzca ahuellamiento en el suelo bajo las llantas del camión, lo que evitaría el extendido uniforme. Es difícil de medir la proporción de aplicación de cal, cuando se extiende utilizando una motoniveladora. El mejor método es marcar un área en la cual se extenderá una cantidad conocida de cal y observar la motoniveladora para asegurar la uniformidad en el extendido.



Figura 3-4: Extendido manual de la cal.



Figura 3-5: Esparcido de la cal con el camión dispensador.

Las consideraciones tanto en el uso de cal viva seca o cal hidratada seca son los siguientes:

- La cal hidratada en polvo puede ser utilizada para secar arcillas, pero no es tan eficaz como la cal viva.
- Las partículas hidratadas de cal son finas. De modo que el polvo puede ser un problema y este tipo de uso generalmente es inadecuado en áreas pobladas.
- Económica porque la cal viva es una forma más concentrada de cal que la cal hidratada, conteniendo de 20 a 24 por ciento más de óxido de calcio "disponible". Así, aproximadamente 3 por ciento de cal viva es equivalente a 4 por ciento de cal hidratada, cuando las condiciones permiten la hidratación completa de la cal viva con suficiente humedad. Debido a su mayor densidad requiere de menos instalaciones de almacenaje.
- El tiempo de ejecución puede ampliarse debido a que la reacción exotérmica causada por el agua y la cal viva puede calentar el suelo. La cal viva seca es excelente para secar suelos mojados. Tamaños de partícula más grandes pueden reducir la generación de polvo.
- La cal viva requiere 32 por ciento de su peso en agua para convertirse en cal hidratada y puede haber pérdida adicional por la evaporación significativa debido al calor de hidratación. Se debe tener cuidado con el empleo de la cal viva para asegurar una adecuada adición de agua, fraguado y mezcla. Estos mayores requerimientos de agua pueden ocasionar problemas en la logística o costos en áreas remotas sin una fuente cercana de agua. La cal viva puede requerir más mezcla que la cal hidratada seca o que las lechadas de cal, porque las partículas de cal viva que son más grandes, primero deben reaccionar con el agua para formar la cal hidratada y luego debe ser mezclada con el suelo.
- La cal hidratada seca no debería ser extendida en condiciones de viento debido al polvo excesivo. En condiciones de viento, en áreas pobladas, o en zonas adyacentes al tráfico de vehículos pesados, la aplicación de lechada o una aplicación adecuada de cal viva pueden reducir al mínimo los problemas relacionados con el polvo.
- Equipo para aplicación de cal hidratada seca: Para envíos en camión, los camiones con tanques auto-descargables son los más eficientes para transportar y esparcir la cal porque no se requiere ningún manejo adicional. La descarga se realiza neumáticamente o por uno o varios

- transportadores de tornillo. La extensión puede ser lograda por una paleta mecánica colocada en la parte posterior u otros dispositivos.
- La cal, en particular la cal viva, es un material alcalino que es reactivo en presencia de humedad. Los trabajadores que manipulan cal deben ser entrenados y utilizar el equipo protector apropiado. Las aplicaciones en suelos pueden crear la exposición al polvo de cal a través del aire, lo que debería ser evitado.
 - La cal puede causar la irritación severa de los ojos o quemaduras, incluyendo daño permanente. La protección ocular (gafas protectoras químicas, gafas de seguridad y/o careta) debería ser utilizada donde exista un riesgo de exposición a la cal. Los lentes de contacto no se deben utilizar mientras se trabaja con cal.
 - La cal puede causar irritación y quemaduras en la piel sin protección, especialmente en presencia de humedad. El contacto prolongado con la piel sin protección debe evitarse. Se recomienda la utilización de guantes protectores y ropa que cubra totalmente brazos y piernas. Se debe prestar cuidado especial con la cal viva porque su reacción con la humedad genera el calor suficiente para causar quemaduras.
 - El polvo de cal es irritante si se inhala. En la mayoría de casos, las mascarillas anti-polvo proporcionan la protección adecuada. En situaciones de alta exposición, es apropiado contar con una mayor protección respiratoria, dependiendo de la concentración y el tiempo de exposición.
 - Se debe tener cuidado para evitar la mezcla accidental de cal viva y agua (en cualquier forma, incluyendo sustancias químicas que contienen agua de hidratación) para evitar crear calor excesivo. El calor liberado por esta reacción puede encender materiales combustibles o causar daño térmico a propiedades o personas.

3.6.3 Mezclado

Este proceso requiere de una mezcla preliminar, para distribuir la cal dentro del suelo y pulverizar inicialmente el suelo, para luego adicionar agua e iniciar la reacción química de la estabilización. Esta mezcla puede iniciar con la escarificación y para el mezclado se puede utilizar aperos agrícolas con gradas de discos, arados de vertedera, roto cultor, cuchilla de la motoniveladora o equipos más modernos como equipos estabilizadores (rotobadores), entre otros ejecutadas en varias pasadas respecto a la forma convencional de tal manera que se logre

homogeneidad en la mezcla. Durante este proceso o inmediatamente después, debe agregarse el agua.

En las obras donde se estabiliza el suelo con cal, en el cual los requerimientos estructurales son exigentes por razones de calidad, la maquinaria específica para realizar el mezclado son los "estabilizadores de suelos". También se utilizan los equipos recicladores de pavimentos.



Figura 3-6: Escarificación después de extensión de cal



Figura 3-7: Adición de agua después de la aplicación de cal seca

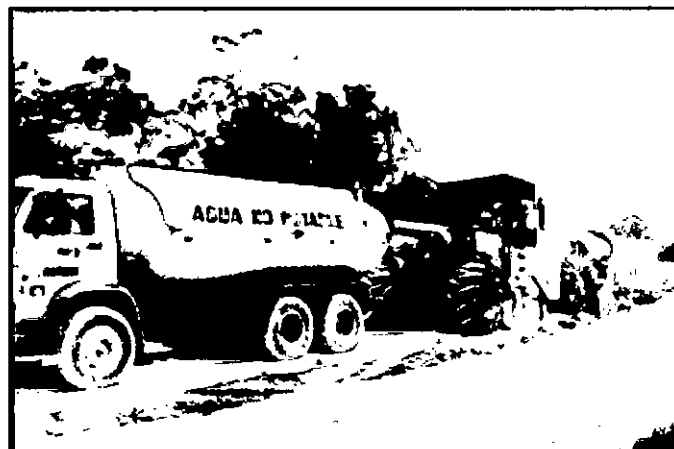


Figura 3-8: Mezclado del suelo cal mediante equipo estabilizador (rotobadores)

3.6.4 Periodo de Fraguado

La mezcla de suelo y cal debería fraguar suficientemente, para permitir la reacción química que cambia las propiedades del material. La duración de este periodo de fraguado debería basarse en el juicio de ingeniería y del tipo de suelo. El periodo de fraguado, comúnmente, es de 1 a 7 días. Después del fraguado, el suelo deberá ser mezclado nuevamente antes de la compactación. Para suelos con Índice de Plasticidad bajos o cuando el objetivo es el secado o la modificación, por lo general, el fraguado no es necesario.

3.6.5 Compactación

La mezcla suelo-cal debe ser compactada hasta llegar a la densidad requerida por la especificación, comúnmente el control debe ser al menos al 95 por ciento de la densidad máxima o mayor de la obtenida en el ensayo AASHTO T99 (Proctor estándar), antes debe ser nivelado o enrasado con la cuchilla de la motoniveladora u otras técnicas convencionales. El valor de densidad deberá basarse en la curva Próctor de una muestra representativa de la mezcla de suelo-cal y no del suelo sin tratar. La compactación debe iniciar inmediatamente después de la mezcla final. Si esto no es posible, los retrasos de hasta cuatro días no deberían ser un problema si la mezcla es ligeramente compactada y se mantiene húmeda mientras se lleva a cabo la compactación. Para demoras más largas, puede ser necesario incorporar una pequeña cantidad adicional de cal en el suelo.

Para el proceso de compactación se puede utilizar los equipos como: vibrantes o pata de cabra (para suelos arcillosos), compactadores neumáticos y/o lisos para dar el acabado final.



Figura 3-9:
Compactador "Pata de
cabra"

Figura 3-10: Compactación de la capa estabilizada con rodillo liso



3.6.6 Curado Final

Antes de la colocación de la siguiente capa de sub-base (o capa de base), se debe tratar para que la subrasante compactada (o sub-base) se endurezca, hasta que vehículos livianos y pesados puedan operar sin ocasionar ahuellamiento en la superficie. Durante este tiempo, la superficie del suelo tratado con cal deberá mantenerse húmeda para ayudar al incremento de resistencia. Esto se conoce como "curado" y puede hacerse de dos maneras:

- (a) **Curado húmedo**, que consiste en mantener la superficie en una condición húmeda a través de un rociado leve de agua y compactándolo cuando sea necesario.
- (b) **Curado con membrana**, que implica el sellado de la capa compactada con una emulsión bituminosa, ya sea en una o varias aplicaciones. Una dosificación típica de aplicación es de 0.12 a 0.30 gal/m², esto variará de acuerdo al tipo de suelo y superficie final después de la última compactación.

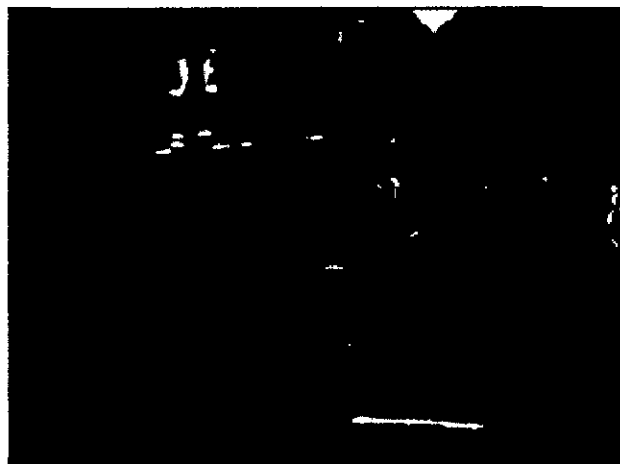


Figura 3-11: Imprimación con emulsión

3.6.7 Apertura al Tránsito.

La solución ideal para el problema de mantener el tráfico durante la construcción de la estabilización con cal, es desviar el tráfico del área de trabajo, hasta que una parte de la superficie de rodadura haya sido aplicada. Si el tráfico debe ser acomodado durante el curado y antes del uso de la superficie de rodadura, existe una menor probabilidad de daño a la capa estabilizada si el número y el peso de vehículos pueden ser reducidos al mínimo. Aunque los camiones que llevan cargas de 25 toneladas puedan ser soportados adecuadamente por una base de arcilla-cal bien compactada con un día de curado, las cargas muy pesadas pueden causar hundimientos localizados en bases recién compactadas. Tal hundimiento por lo general revela una compactación inadecuada. Estos ahuellamientos o puntos débiles deben ser re TRABAJADOS y recompactados. Por lo general en promedio debe liberarse sin mayor contratiempo a los 7 días debido al proceso lento de carbonatación, en el cual el óxido de calcio reacciona con el CO_2 de manera lenta, reacción que influye en la resistencia de compresión simple o la capacidad portante, que puede obtenerse a través del ensayo de CBR.

CAPÍTULO IV

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.1 Generalidades

En este capítulo trataremos un tema muy importante, que es una aplicación moderna que ayuda a la conservación de energía y evita la contaminación ambiental, estos en lugar de los asfaltos rebajados "cut-backs", permite un considerable ahorro del combustible que se emplea como solvente para estos asfaltos rebajados diluidos.

Las emulsiones asfálticas son una mezcla de aplicación en frío, de color negro, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto, adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión que se requiera.

Las emulsiones del tipo asfáltico aparecieron en el mercado a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy variados, por primera vez se utilizó la emulsión del tipo aniónica en riegos preventivos para evitar el polvo en las vías de la ciudad de Nueva York en el año 1905. En ese mismo año, en Hamburgo, Alemania, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varias capas, empleando una emulsión estabilizada la cual reacciona activamente con la arcilla del substrato pétreo.

En 1940 aparecieron las de tipo catiónico, ampliándose el campo de aplicación a todo tipo de suelos. Actualmente se formulan emulsiones adecuadas a cada tipo de suelos, a condiciones climatológicas determinadas y a los diversos sistemas de aplicación. Las emulsiones catiónicas pueden ser de rotura rápida, media, lenta y superestable.

Las emulsiones asfálticas catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos hasta 1958. Aparentemente, su aplicación inicial en la construcción de caminos coincidió con la aparición de nuevos productos químicos tenso-activos en el mercado, los cuales tienen adicionalmente otros

usos como en el campo de las pinturas, en la industria petrolera, en la industria textil, etc.

Al principio, tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales, como riego de liga y de sello. Al reconocerse la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inició la búsqueda de emulsificantes que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con una granulometría para base o para carpeta.

En 1973, los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo mundial, aumentaron el valor del barril de petróleo crudo, resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos rebajados, esto provocó un incremento en el uso mundial de las emulsiones asfálticas.

4.2 Química de Las Emulsiones Asfálticas

4.2.1 Composición de las Emulsiones Asfálticas

La composición básica de las emulsiones asfálticas es; asfalto, agua y un agente emulsivo, en algunos casos la emulsión puede contener aditivos como estabilizantes, mejoradores de recubrimientos, mejoradores de adherencia o agentes de control de rotura. El objetivo es lograr una dispersión estable del cemento asfáltico en el agua, lo suficiente para ser bombeado, almacenada durante tiempo prolongado y mezclado. La emulsión deberá "romper" rápidamente tras entrar en contacto con el agregado. Se puede asemejar lo sucedido cuando se quiere limpiar un objeto engrasado con agua, este tendrá éxito siempre en cuando utilice detergente o un agente jabonoso, las partículas de jabón rodean a los glóbulos de grasa, rompen la tensión superficial que los mantiene unidos y permite que sean eliminados con facilidad. "Rotura" es la separación del agua del asfalto.

a) Cemento Asfáltico: Es el elemento básico de la emulsión asfáltica, en muchos casos constituye entre el 50 – 75 % del total de la mezcla.

El asfalto proviene principalmente de la refinación del crudo del petróleo, está compuesto básicamente de grandes moléculas de hidrocarburos, el cual es usado por las propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, durabilidad, flexibilidad y alta resistencia a los ácidos. Por la compleja interacción molecular de las diferentes

moléculas, hace casi imposible predecir el comportamiento de un asfalto que será emulsificado, ya que depende mucho de la naturaleza del petróleo y del esquema de refinación para su producción, por lo general la mayoría de las emulsiones está hecha con un cemento asfáltico cuyo rango de penetración es de 50-250, donde la compatibilidad entre el agente emulsivo y el cemento asfáltico es esencial para la producción de una emulsión estable.

b) Agua.- Es el segundo componente de importancia en una emulsión, en algunos casos el agua potable puede contener elementos nocivos como minerales que afecten la producción de emulsiones asfálticas estables, por lo que el agua potable puede no ser recomendable para este uso. El agua encontrada naturalmente en los ríos, lagunas pueden contener impurezas ya sea en solución o en suspensión coloidal, preocupa especialmente la presencia de iones de calcio y magnesio. Estos iones favorecen a la formación de una emulsión catiónica estable, pero puede suceder lo contrario para las emulsiones aniónicas.

Por lo que el control de calidad del agua para un determinado tipo de emulsión es de suma importancia, para garantizar la calidad el producto final.

c) Agentes Emulsivos.- Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida de los agentes químicos utilizados como emulsivos. El emulsivo es un agente tenso-activo o surfactante, son sustancias solubles en agua cuya presencia en la solución cambia marcadamente las propiedades del solvente y de las superficies que entra en contacto, este elemento mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura, es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas. Antiguamente se utilizaban la sangre de buey, arcilla como agente emulsivos. Se clasifica por la forma en que se disocian o ionizan en el agua.

Cabe mencionar que el valor del PH de una emulsión asfáltica es independiente de su identificación como catiónica o aniónica, la acidez o alcalinidad no determina el signo de la carga; este signo es determinado por el tipo de emulsión.

4.2.2 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas

a) De acuerdo el agente emulsionante de las emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas se clasifican según sea el agente emulsionante en tres categorías: aniónica, catiónica y no iónica.

- ✓ **Emulsión aniónica:** Si una corriente eléctrica pasa a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, estas migrarán al ánodo, de aquí el nombre de emulsión aniónica. En las moléculas aniónicas, los emulsificantes contienen un grupo hidrófilo que se oriente hacia la fase acuosa y un grupo lipófilo que se dirige hacia la parte orgánica, es decir el asfalto. Los emulsificadores reaccionan con el hidróxido de sodio para liberar los iones en la solución en un proceso de saponificación.

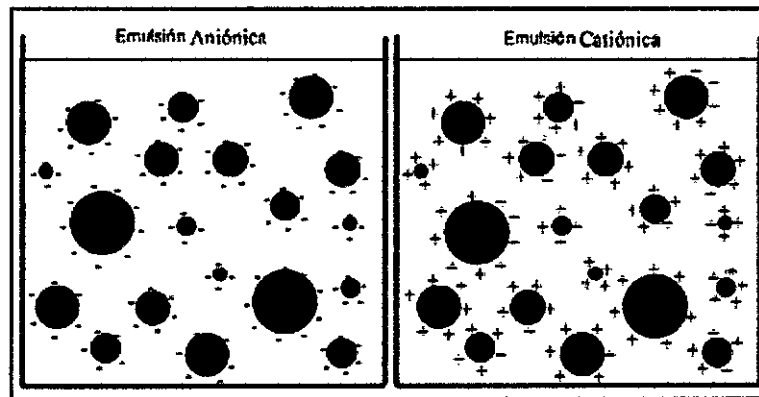
En general los factores que influyen en la ruptura de una emulsión aniónica son: La evaporación en la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y en menor grado factores físicos, químicos y la absorción superficial de una parte del emulsificante en los materiales pétreos.

- ✓ **Emulsión catiónica:** En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, como las sales de aminas grasas. Estos emulsificadores se ven reaccionar con un ácido (generalmente ácido clorhídrico) antes de que puedan funcionar. El tipo de aminas (por ejemplo, diamina v/s aminas alcoxiladas) determina si el quiebre va a ser rápido o lento (respectivamente).
- ✓ **Emulsión no-iónica:** Son aquellas emulsiones que son fabricadas con emulsificadores no cargados, en las que el grupo hidrófilo es polar covalente disolviéndose en agua sin ionización. Estas emulsiones no son utilizadas en el reciclado en frío, ya que son eléctricamente neutras y no emigran a polo alguno, pueden ser usadas como emulsiones de alta performance.

En la práctica las dos primeras son las más utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. Las denominaciones de aniónica y catiónica se refieren a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto. Cuando una corriente eléctrica circula a través de un líquido

en el que están sumergidos dos polos (ánodo y cátodo), el ánodo se carga positivamente y el cátodo se carga negativamente. En el caso que la corriente pasara a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto negativamente, éstas migrarán hacia el cátodo, en el caso contrario migrará hacia el ánodo. En el caso de las emulsiones no iónicas, las partículas de asfalto son eléctricamente neutras y no emigran a polo alguno. En la siguiente figura se ve una representación gráfica de la emulsión aniónica y catiónica.

Figura 4-1: Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica



b) De acuerdo a la estabilidad de las emulsiones asfálticas

Es una segunda forma de clasificar a las emulsiones, según las especificaciones ASTM (American Society For Testing and Materials) y la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation officials), está relacionado con la rapidez con que la emulsión se vuelve inestable y rompe tras entrar en contacto con la superficie del agregado. Para simplificar y normalizar esta clasificación se mencionan los tipos a continuación:

Cuadro 4-1: Tipos de Emulsión Asfáltica según su estabilidad

RS	RAPID - SETTING	ROTURA RÁPIDA
MS	MEDIUM - SETTING	ROTURA MEDIA
SS	SLOW - SETTING	ROTURA LENTA
QS	QUICK - SETTING	ROTURA RÁPIDA

✓ De Rompimiento Rápido - RS (RR)

Están diseñadas para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto, formando una película relativamente gruesa.

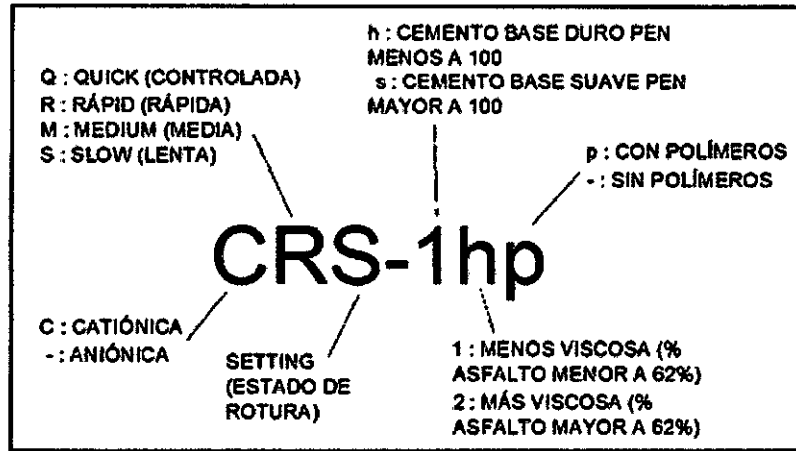
- ✓ De Rompimiento Medio – MS (RM)
Están diseñadas para mezclarse con agregados gruesos y no con agregado fino, y no rompen inmediatamente al entrar en contacto con el material pétreo.
Las mezclas con estas emulsiones permanecen trabajables por algunos minutos, los cuales deben elaborarse en mezcladora, en plantas, ya sean móviles o fijas en el camino.

- ✓ De Rompimiento Lento - SS (RL) y QS (RR QS)
Están diseñadas para lograr mezclas estables, para mezclarse con agregados finos, esperándose que la QS (RR QS) rompa más rápidamente que la SS (RL). Los grados de rotura lenta presentan bajas viscosidades. Las emulsiones lentas dependen totalmente de la evaporación para alcanzar la coalescencia de las partículas de asfalto. Para acelerar el proceso de ruptura se puede agregar cemento o cal hidratada a los agregados. Las más lentas se conocen como superestables.

Las emulsiones se identifican con una serie de números y letras que aluden a la viscosidad de las emulsiones y a la consistencia de la base de cemento asfáltico por ejemplo: La letra "C" identifica el tipo de emulsión, típico de una emulsión catiónica, la ausencia de esta letra identifica las emulsiones del tipo aniónicas, según especificaciones de ASTM y de AASHTO. Tales como RS-1 (RR-1) es una emulsión aniónica y CRS-1 (CRR-1) es una emulsión catiónica.

En el caso de los números indican la viscosidad relativa de la emulsión, por ejemplo el MS-2 (RM-2) es más viscosa que una emulsión MS-1 (RM-1), cuando está incluida la letra "h" indica que la base asfáltica es más consistente o dura y la letra "s" significa que la base asfáltica es más blanda.

El caso de la letra "HF" presentes en algunos grados de emulsiones aniónicas indican alta flotación (high – float), las emulsiones de alta flotación permiten la formación de películas más gruesas de asfalto alrededor de los agregados, impidiendo la separación del asfalto y el material pétreo, este tipo de emulsiones se utilizan en mezcla de planta en caliente, en frío, para sellados y para mezclas en camino.



Cuadro 4-2: Tipos de grados de emulsión según ASTM y AASHTO

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

4.2.3 Variables que afectan la calidad y el rendimiento.

Hay muchos factores que afectan no solo la producción sino también el almacenamiento, uso y rendimiento de una emulsión asfáltica, entre ellos tenemos:

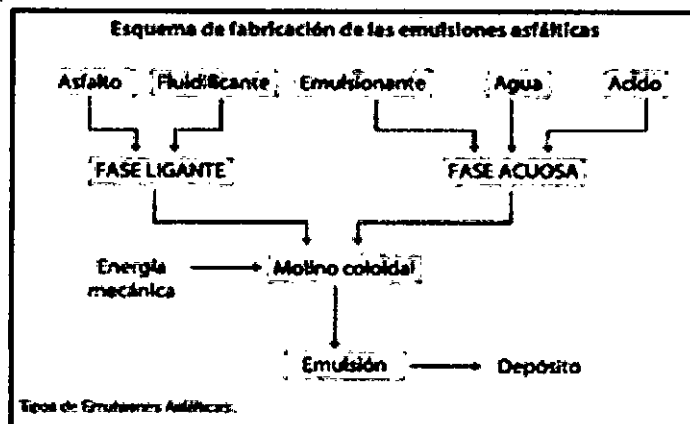
- Tipo de material por estabilizar.
- Calidad del agua
- Tipo y tamaños de las partículas de asfalto en la emulsión.
- Proceso constructivo empleado, equipos y recursos humanos.

4.2.4 Elaboración de la Emulsión

El equipo y producción para la fabricación de emulsiones es muy simple. El problema está en la formulación de las emulsiones que deben adaptarse a

los materiales pétreos. Los requerimientos para la fabricación de las emulsiones asfálticas son sencillos, como se muestra en el esquema.

Figura 4-2: Esquema de fabricación de las emulsiones asfálticas



4.2.5 Rotura y Curado

a) **Rotura.**- Para que la emulsión actúe como ligante el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse, la velocidad de separación del asfalto se conoce como tiempo de rotura. Las emulsiones están formuladas para romper químicamente al entrar en contacto con una sustancia extraña como el agregado. La velocidad de rotura básicamente está controlada por el tipo específico y la concentración del agente emulsivo. Este fenómeno de rompimiento o ruptura de la emulsión, ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo, esta carga neutraliza la carga de las partículas del asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño; estos agregados son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica. En el proceso de desestabilización, la emulsión como va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente cuando se deposita la capa de asfalto son eliminadas. En general, los factores que influyen en la ruptura de la emulsión aniónica; son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo, lo que significa que agregados de mayor absorción precipitarán el rompimiento por la remoción más rápida del agua emulsificante. En la figura 4-3 podemos observar el proceso de ruptura de una emulsión en tres pasos: primero

se observa la emulsión, enseguida cuando se inicia el rompimiento y después cuando se produce la ruptura completa y queda el material pétreo cubierto por el asfalto. La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, garantizando la apertura de caminos al tránsito en un corto período de tiempo.

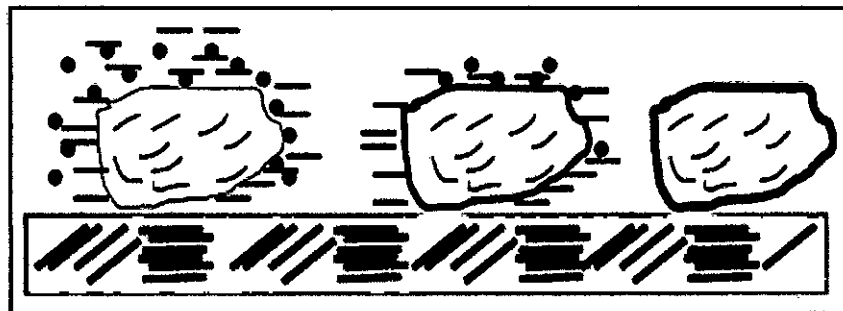


Figura 4-3: Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo

b) Curado.- El curado involucra el desarrollo de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico, resultando una película cohesiva continua que mantiene a los agregados con una fuerte unión de carácter cohesivo, para que esto suceda el agua debe eliminarse por completo y las partículas de la emulsión asfáltica tienen que coalescer y unirse al agregado. La evaporación del agua puede ser bastante rápida; por la aplicación de presión (compactación con rodillo), por absorción del agregado, por condiciones favorables del clima o lo contrario por excesiva humedad, bajas temperaturas, lluvias inmediatamente después de la aplicación pueden demorar un curado apropiado. Las emulsiones para mezcla, usualmente contienen algún solvente de petróleo para facilitar el proceso de mezclado y recubrimiento, durante el curado, parte de este solvente se evapora. Se están desarrollando emulsiones para mezclado sin solventes. Por ejemplo el curado de micro-aglomerado es lo suficientemente rápido para liberar el camino al tráfico en el lapso de una hora.

c) Factores que afectan la rotura y el curado.- Algunos factores que afectan la velocidad de rotura y curado de las emulsiones asfálticas son:

Factores Ambientales:

- Condiciones climáticas.- La temperatura, la humedad y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Las altas temperaturas pueden originar la formación de "piel" en tratamientos superficiales, atrapando el agua y retardando el curado.

Factores de los Agregados:

- Agregados Ácidos o Silicios.- (Más del 66% de dióxido de silicio SiO_2), son los recomendados para emulsiones catiónicas, en estos casos hay reacción entre el radical aminado con carga positiva del emulsionante y el agregado con carga negativa, pueden formarse silicatos de aminas insolubles en agua.
- Agregados Básicos o Calcáreos.- (Menos del 52% de dióxido de silicio SiO_2), son los recomendables para emulsiones aniónicas, en este caso la superficie calcárea compuesta en general de iones CO_3^- y Ca^{++} es atacada por el ácido fuerte contenido en la fase que reacciona sobre iones Ca^{++} y los disueltos, mientras que los iones CO_3^- reacciona sobre los radicales R-NH_3^+ dando sales insolubles, así como buena adhesividad.

Cuadro 4-3: Clasificación de las rocas según su contenido de sílice

ROCAS ÁCIDAS	ROCAS INTERMEDIAS	ROCAS BÁSICAS
1. Granito	1. Sienita	1. Gabro
2. Granodiorita	2. Traquita	2. Basalto
3. Granito pórfido	3. Traquiandesita	3. Peridotitas
4. Riolita	4. Diorita	4. Piroxenita
5. Dacita	5. Andesita	5. Diabosa
	6. Fonolitas	6. Dolenita

Fuente: Tesis de Grado – Soriano Alava Horacio "Aplicación de las Emulsiones Asfálticas en los Pavimentos" UNI – FIC 2005

- Absorción de agua.- Un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.
- Contenido de humedad de los agregados.- Los agregados húmedos tienden a hacer más lento el proceso de curado al incrementar el tiempo necesario para la evaporación.

- Superficie específica.- Una mayor superficie específica de los agregados, particularmente finos en exceso o agregado sucio, acelera la rotura de la emulsión.
- Química de superficies.- La intensidad de la carga de la superficie del agregado en combinación con la intensidad de la carga del agente emulsivo, puede influir en la velocidad de rotura. Por ejemplo el caso de iones calcio y de magnesio en emulsiones catiónicas en el agregado pueden reaccionar y desestabilizar a ciertos emulsivos aniónicos acelerando la rotura.
- Temperatura de la emulsión y del agregado.- La rotura se demora cuando las temperaturas de la emulsión y del agregado son bajas.
- Tipo y cantidad de emulsivo.- El surfactante empleado en la elaboración de la emulsión, determina las características de rotura de los agregados de las emulsiones para sellados y para mezclas.

Factores Constructivos:

- Fuerzas mecánicas.- La presión de los rodillos y hasta cierto punto el tráfico a baja velocidad, desalojan el agua de la mezcla y ayudan a lograr la cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla, pero también pueden obligar al agua a ascender.
- Aditivos empleados.- Estos factores son muy importantes para tomar en cuenta, el tiempo de trabajo después que la emulsión haya sido mezclada con el agregado en la obra. Como sugerencia siempre es bueno tomar como fuente la información del proveedor.

4.3 Selección del Tipo y Grado Apropriado

La selección de la emulsión asfáltica idónea, para el tramo de investigación dependerá de muchos factores como: Tipo de agregado, curva granulométrica, cantidad de finos que pasan la malla N° 200, grado de absorción, el clima, proceso constructivo eficiente, entre otros, garantizarán el éxito de la aplicación.

4.3.1 Usos generales de las Emulsiones

a) Emulsiones de Rotura Rápida (Rapid – Setting)

Estas emulsiones se aplican normalmente mediante riego, como tratamientos superficiales, sellados con arena y tratamientos de superficie, presentando un excelente rendimiento en diferentes zonas geográficas a distintas altitudes y climas.

b) Emulsiones de Rotura Media (Medium – Setting)

Pueden utilizarse para recubrir una amplia variedad de agregados graduados. Los grados CRM poseen altas viscosidades para prevenir escurrimientos. No son recomendables para baches ya que producen mezclas abiertas las cuales deberán ser selladas con arena gruesa. Las mezclas para mantenimiento requieren de emulsiones de rotura media con solventes.

c) Emulsiones de Rotura Lenta

Se utilizan con agregados de gradación densa y alto contenido de finos. Poseen largos períodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con los agregados, estas mezclas no se diseñan para ser acopiadas.

d) Emulsiones de Rotura Rápida CQS y para Micro-aglomerantes

Estos se diseñan específicamente para aplicaciones de lechadas asfálticas (Slurry seals), en las que se necesita un rápido tiempo de curado, permitiendo la rápida liberación del tránsito vehicular a diferencia de la aplicación de las emulsiones de rotura lenta para lechadas asfálticas. Las emulsiones para micro-aglomerantes están modificadas con polímeros y permiten colocar mezclas en espesores mayores que las lechadas asfálticas, pudiéndose liberar el tránsito antes que cumpla una hora de colocado.

4.3.2 Pautas para una performance exitosa

Se debe tener consideración de las siguientes pautas para tener éxito en el uso de estos elementos:

- Seleccionar los grados de acuerdo con la Tabla 4-1 y la información previa disponible exactamente para lo que se va usar y las características que se desea que tenga el producto final.
- Determinar en qué condiciones climáticas se va usar el producto o tratamiento de emulsión asfáltica.
- Realizar los ensayos respectivos de la mezcla entre la emulsión y el agregado que se utilizará en el proyecto.
- Cumplir las especificaciones y las guías de uso.
- Batir la emulsión de tal manera que tenga homogeneidad, evitando sedimentación de pequeñas gotas de asfalto o la coalescencia prematura.

- Mantener contacto con el proveedor en caso se presenten inconvenientes en el uso del producto.
- Saber si se puede interrumpir el tráfico.
- Disponibilidad de equipo.
- Transporte y almacenamiento adecuado para prevenir el deterioro de la emulsión (coalescencia y/o asentamiento).

TABLA 4-1: Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	ASTM D977 AASHTO M 208							ASTM D2397 AASHTO M 140							
	RS-1	RS-2	HFRS-2	MS-1, HFMS-1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezclas de Asfalto y Agregados:															
Mezcla en Planta (En caliente)						XA									
Mezcla en Planta (en Frío)															
Granulometría Abierta					X	X					X	X			
Granulometría Cerrada							X	X	X				X	X	
Arena							X	X	X				X	X	
Mezclado in-situ															
Granulometría Abierta					X	X					X	X			
Agregado bien Graduado							X	X	X				X	X	
Arena							X	X	X				X	X	
Suelo Arenoso							X	X	X				X	X	
Aplicaciones de Asfalto y Agregado															
Tratamientos Superf. (Simples y Múlt)	X	X	X						X	X					
Sellado con Arena (Sand Seal)	X	X	X	X					X	X					
Lechada Asfáltica (Slurry Seal)							X	X	X				X	X	
Micro - aglomerado (Micro-surfacing)															XE
Sellado Doble (Sandwich Seal)		X	X							X					
Cape Seal		X								X					
Aplicaciones Asfálticas															
Riego Pulverizado (Fog Seal)				XB					XC	XC				XD	XC
Imprimación (Prime Coat)					XC				XC	XD				XC	XD
Riego de Liga (Tack Coat)				XB					XC	XC				XC	XC
Paliativo de Polvo (Dust Palliative)									XC	XD				XC	XC
Protección con Asfalto (Mulch treat.)									XC	XD				XC	XC
Sellado de Fisuras (Crack fillen)									X	X				X	X
Mezclas de Mantenimiento															
Uso Inmediato							X					X	X		
Acopio							X								

A Pueden emplearse otros grados que el HFMS-2h cuando la experiencia demuestra que han tenido un comportamiento satisfactorio
 B Diluido en agua por el fabricante
 C Diluido con agua
 D Mezclado sólo para imprimación
 E El polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación

4.4 Óptimo contenido de Emulsión Asfáltica

El diseño de la mezcla se hace en el laboratorio, siendo los ensayos que más se utilizan para ello; el de durabilidad, llamado también de humedecimiento y secado y el de compresión simple sobre probetas compactadas bajo condiciones especificadas. En relación con el primero, las especificaciones fijan los valores aceptables en función del tipo de suelo que se estabilice, mientras que con respecto al segundo, fueron los ingleses quienes establecieron el ensayo de compresión para el diseño, luego de encontrar que para su medio ambiente, una resistencia a la compresión de 17.5 kg/cm² sobre probetas curadas a 15°C durante 7 días, equivale a los resultados del ensayo de humedecimiento y secado.

El siguiente procedimiento es recomendado para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica para la mezcla de suelos estabilizados:

(1) Paso 1:

Determinar la clasificación y gradación de los suelos sin tratamiento siguiendo los procedimientos en la norma **ASTM D 422 y D 2487**, respectivamente:

Cuadro 4-4: Resumen de la granulometría del material de cantera km 237+400

Tamiz (Pulg.)	Peso Retenido (grs)	Porcentaje Parcial retenido (%)	Porcentaje Acumulado	
			Retenido (%)	Que pasa (%)
3 "	0.00	0.00	0.00	100.00
2 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2 "	145.00	3.60	3.60	96.40
1"	198.00	4.92	8.52	91.48
3/4 "	269.60	6.70	15.22	84.78
1/2 "	390.00	9.69	24.91	75.09
3/8 "	398.00	9.89	34.80	65.20
1/4 "	285.00	7.08	41.88	58.12
N° 4"	324.00	8.05	49.93	50.07
N° 6"	0.00	0.00	49.93	50.07
N° 8"	0.00	0.00	49.93	50.07
N° 10"	740.00	18.38	68.31	31.69
N° 16"	0.00	0.00	68.31	31.69
N° 20"	453.29	11.26	79.57	20.43
N° 30"	110.00	2.73	82.31	17.69
N° 40"	186.00	4.62	86.93	13.07
N° 50"	0.00	0.00	86.93	13.07
N° 60"	204.00	5.07	91.99	8.01
N° 100"	32.00	0.80	92.79	7.21
N° 200"	65.00	1.61	94.40	5.60
Fondo	13.05	0.32		
Finos	225.25	5.60	100.001	0

Fuente: Ensayo de Granulometría – Cantera 237+400 "Anexo 01"

(2) Paso 2:

Utilizando la clasificación del suelo, seleccionar un contenido de emulsión asfáltica estimado para iniciar las pruebas de Próctor Modificado y CBR. La estimación inicial se hará en base a diversas metodologías tales como:

a) La Fuerza Aérea - EUA

La Fuerza Aérea – EUA, propone como ecuación para poder determinar el contenido teórico de emulsión asfáltica, una expresión basada en los porcentajes retenidos en los tamices (Ver tabla 4-2). Siendo la ecuación la siguiente expresión:

$$E = \left[\frac{0.02a + 0.07b + 0.15c + 0.20d}{(100 - S)} \right] \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ec. (4.1)}$$

Dónde:

E = % de Emulsión

a = % de material retenido en el tamiz No. 50

b = % de material que pasa No.50 y retenido en el tamiz No. 100

c = % de material que pasa No.100 y retenido en el tamiz No. 200

d = % de material que pasa No. 200

S = % contenido de solvente

Los valores que se reemplazan en la ecuación son:

a =	4.62
b =	5.87
c =	1.61
d =	5.92
S =	40
E =	3.21

b) Método del Instituto del Asfalto

El Instituto del Asfalto presenta la siguiente expresión para el cálculo del óptimo contenido de emulsión teórica:

$$\%E = \frac{0.035a + 0.045b + Kc + F}{\%R} \quad \dots\dots\dots \text{Ec. (4.2)}$$

Dónde:

%E=% de emulsión en la mezcla

a=% retenido en la malla 2.36mm.

b=% que pasa la malla 2.36mm.

c=% de agregado que pasa la malla 0.075mm

K= 0.15 si el % que pasa la malla 0.75 está entre 11 y 15 %

0.18 si el % que pasa la malla 0.75 está entre 6 y 10 %

0.20 si el % que pasa la malla 0.75 es 5% o menos.

F= de 0 a 2.0% que varía según la absorción del material (0.7 a 1.0%)

%R=Residuo de asfalto en la emulsión.

Los valores que se reemplazan en la ecuación son los siguientes:

a =	49.93
b =	50.07
Kc =	88.8
F =	0.9
R =	60
E =	1.56

c) Método Illinois

El método Illinois, propone como ecuación para poder determinar el contenido teórico de emulsión asfáltica, una expresión basada en los porcentajes retenidos en los tamices (Ver tabla 4-2). Siendo la ecuación la siguiente expresión:

$$E = \left[\frac{0.00138 \times A \times B + 6.358 \times \text{Log}(C) - 4.655}{R} \right] \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ec. (4.3)}$$

Dónde:

E = % de Emulsión

A = % de agregado retenido en el tamiz No. 4

B = % de agregado que pasa No.4 y retenido en el tamiz No. 200

C = % de material que pasa No. 200

R = % de residuo asfáltico en la emulsión.

Los valores que se reemplazan en la ecuación son los siguientes:

A =	8.05
B =	44.47
C =	5.92
R =	60
E =	1.25

Ingresando los valores de acuerdo a los resultados del ensayo de granulometría de la tabla 4-2, tendremos los siguientes resultados:

Cuadro 4-5: Resumen de resultados del porcentaje inicial teórico de EA.

MÉTODOLÓGÍA	ESTIMADO INICIAL DE EMULSIÓN ASFÁLTICA (% en peso)
FUERZA AÉREA EE.UU.	3.22
INSTITUTO DEL ASFALTO	1.56
MÉTODO DE ILLINOIS	1.25

(3) Paso 3:

Como los valores tentativos para el porcentaje inicial de emulsión son cercanos se consideró los porcentajes de 2, 3 y 4% de emulsión en peso de la mezcla con el suelo, luego se realizó ensayos de Próctor Modificado para determinar la densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo de la mezcla de suelo - emulsión asfáltica, para cada porcentaje de emulsión. Luego se preparó muestras para el ensayo del CBR (Capacidad de soporte del suelo), con datos obtenidos en los ensayos del Proctor Modificado. Los resultados de estos ensayos se muestran en el Anexo 01.

A continuación presentamos un cuadro resumen de los ensayos realizados a la mezcla suelo – emulsión asfáltica:

Cuadro 4-6: Resumen de resultados de los ensayos de la mezcla suelo – emulsión

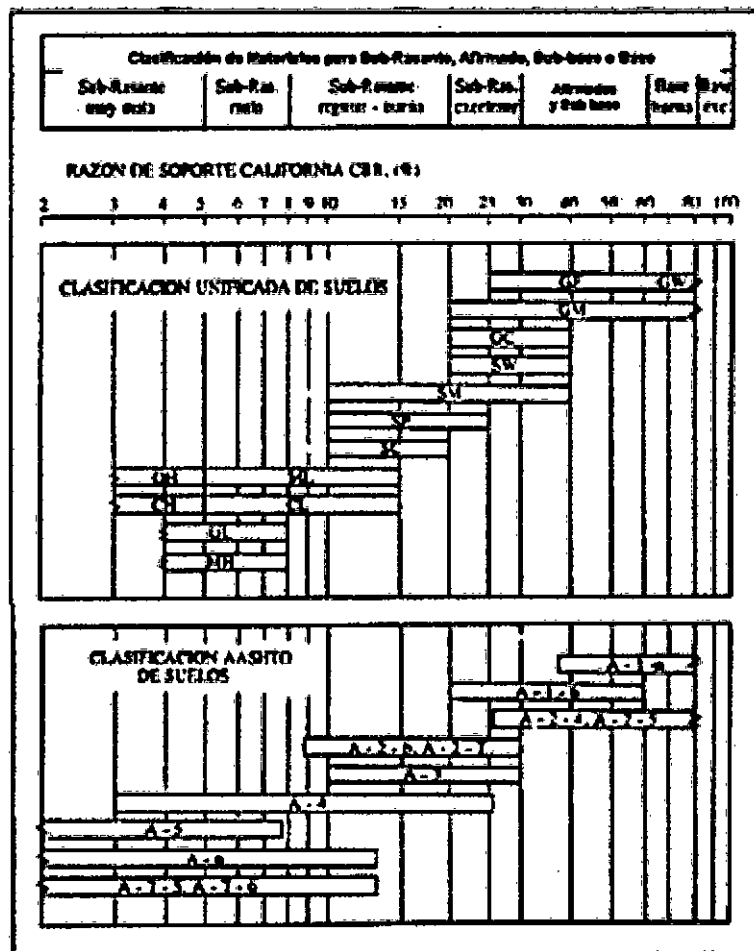
PORCENTAJE DE E.A. (%)	ENSAYOS		
	PROCTOR MODIFICADO		CBR
	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)	95 % MDS
2.0	2.258	5.80	34.2
3.0	2.263	6.45	39.0
4.0	2.274	7.20	49.0

Fuente: Elaboración Propia (Ensayos de Laboratorio – Anexo 01)

(4) Paso 4:

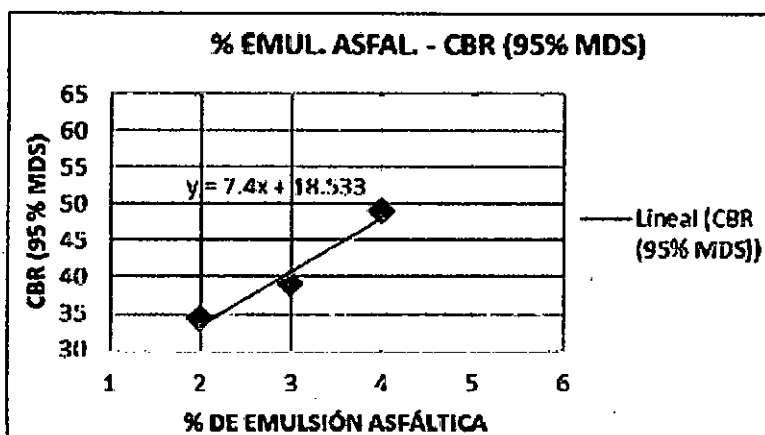
Para poder estimar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, se hizo una gráfica entre % de emulsión asfáltica vs CBR (95 % MDS), luego según el gráfico 4-2 la línea de tendencia es lineal. Por lo que podemos proyectar para el valor mínimo de CBR de acuerdo a diversas fuentes para la base estabilizada o mejorada, tales como: según normas colombianas se considera un CBR de 80% como mínimo para las bases mejoradas, mientras que la norma peruana considera un CBR entre 60-80% para considerar como buena y como excelente el CBR debería estar entre 80-100%, tal como se muestra en la tabla 4-5.

Tabla 4-2: Clasificación de Materiales para Subrasante, Afirmado, Sub-base o Base



Por lo tanto consideró el CBR igual a 60% como mínimo para la base estabilizada, con el cual debemos calcular la cantidad óptima de emulsión que se debe agregar a la mezcla suelo-emulsión para poder garantizar el valor mínimo de capacidad de soporte del suelo mejorado.

Gráfico 4-1: Relación entre Emulsión Asfáltica (%) y CBR (95% MDS)



Reemplazando en la ecuación de tendencia lineal el valor de $y=60$ (Correspondiente al valor de CBR mínimo), tendremos el valor del % de emulsión asfáltica:

$$X = 5.50 \% \text{ (Contenido Óptimo de EA)}$$

4.5 Proceso constructivo

Antes de elegir el tipo de proceso constructivo del suelo-cemento debemos tener en cuenta los siguientes factores:

- Ubicación del proyecto
- Volumen o magnitud del proyecto
- Condiciones del Tráfico
- Disponibilidad de agregados
- Tipo y espesor del pavimento
- Condiciones climáticas

Las operaciones constructivas de una capa de suelo-emulsión constan de las siguientes etapas:

4.5.1 Preparación del terreno, escarificado y esparcimiento de material para la base.

La superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla de suelo-emulsión debe estar conformada y compactada, debe ser limpiada con barredora mecánica para sacar el polvo y otros materiales extraños. Puede ser necesario un riego de imprimación dependiendo de la condición o tipo de la sub-base.

También se puede considerar previamente la escarificación, pulverización y pre-humedecimiento del suelo sobre el cual se colocará la mezcla, si fuera necesario. Los materiales gruesos de naturaleza friccionante no suelen requerir escarificación, pero los suelos plásticos usualmente si la necesitan. El pre-humedecimiento puede ayudar en las operaciones de escarificación y pulverización, reduciendo muchas veces los tiempos de maniobra. Inmediatamente se ira distribuyendo el material de préstamo en varios puntos del eje de la vía, para luego ser esparcido a lo largo y ancho de la carretera con la motoniveladora.



Fotografías 4-1: Proceso de escarificado antes de esparcir y hacer la mezcla de suelo - emulsión



Fotografía 4-2: Traslado de material de cantera a obra

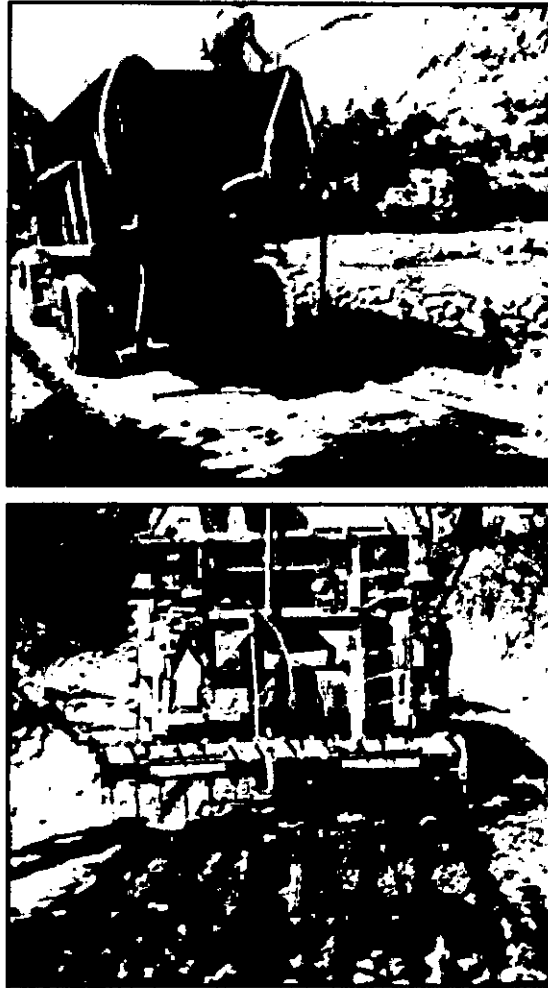
4.5.2 Dosificación y aspersión de emulsión asfáltica mezclado con agua.

La dosificación y la preparación de la mezcla diluida entre la emulsión asfáltica y el agua deberán mezclarse antes que se aplique con el material de préstamo. La dilución debe ser con agua no contaminada a una concentración residual de 30 a 40%. Para la aplicación en la base se considera 60% de bitumen o asfalto residual y la diferencia 40% completado con agua. En estas proporciones se hará la dosificación de la emulsión asfáltica y el agua que será posteriormente esparcido en obra.

Cuadro 4-7: Proporciones mezcla estabilizada con Emulsión Asfáltica.

Material granular		Estabilizante	
Volumen (m ³)	Peso (kg)	Contenido (5.5%)	Volumen (gal)
1.00	1500.00	5.50	22.00

El traslado y suministro de la mezcla diluida de la emulsión asfáltica y el agua se debe hacer por medio de una cisterna, para la aplicación en la obra deberá tener un esparcidor de tal manera que se aplique homogéneamente en toda el área de la carretera. También se debe disponer de equipos adecuados para que hagan la mezcla in-situ, y posteriormente la compactación, esta es una forma convencional de hacer la aplicación del líquido estabilizante en obra, de seguro que habrá muchas otras formas que pueden tener mayor éxito, pero el factor económico será determinante.



Fotografías 4-3: Esparcido de la dilución de la Emulsión Asfáltica en el material de préstamo

4.5.3 Mezclado de los materiales

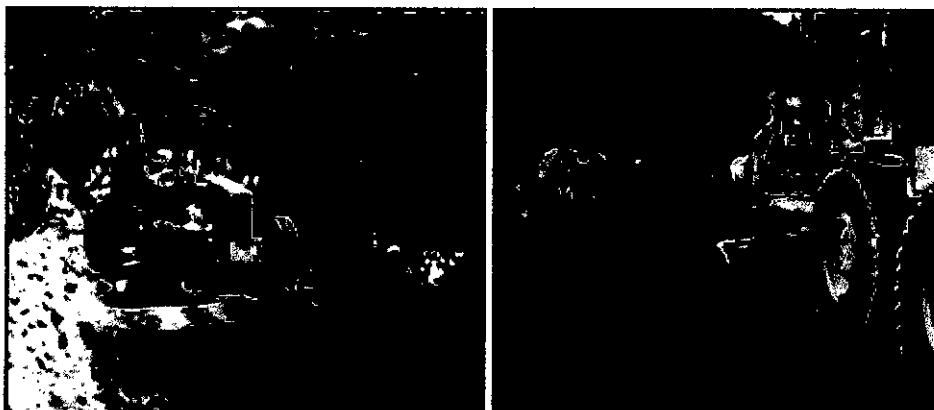
Existen un sinnúmero de métodos para tender y mezclar al suelo-emulsión, que van desde el manejo en camellones y tendido con motoniveladora, hasta el empleo de diferentes mezcladoras, de varios pasos o de uno solo o hasta el empleo de plantas mezcladoras. Pero cuanto más íntima sea la mezcla suelo-emulsión-agua se tendrá un mejor resultado y una mayor resistencia. Debemos tener presente también que rara vez las resistencias de campo serán igual a las obtenidas en el laboratorio para las mismas proporciones, debido a las diferentes condiciones de aplicación. La condición de homogeneidad del mezclado, el tiempo de mezclado son factores importantes para que el resultado sea satisfactorio. El mezclado se puede realizar de diferentes formas como:

a) Mezcla con Motoniveladora

Realizar por este método es menos eficaz y preciso que los otros métodos de mezclado in-situ, por lo que es aplicable principalmente en la estabilización de tramos cortos y pequeñas áreas.

La emulsión se aplica con un distribuidor ya sea sistema u otro similar, de tal manera que haga el esparcido en toda la superficie de la carretera, inmediatamente después de la escarificación si fuera necesario y el esparcido y mezcla del material de préstamo distribuido en la carretera.

La cuchilla mezcla el material por medio de una serie de acciones de volteado y volcado. Existe la posibilidad de variaciones de la gradación de los agregados y por consiguiente fluctuaciones en la demanda de asfalto, por lo tanto debe ponerse mucha atención a la apariencia de la mezcla, es importante que se obtenga uniformidad en la gradación y en la humedad por lo tanto el mezclado debe consistir de tantas manipulaciones de la cuchilla de la motoniveladora como sean necesarias para poder dispensar el asfalto y así cubrir las partículas del agregado, tenemos que tener en cuenta que demasiadas pasadas puede producir limpiado del recubrimiento de asfalto en el agregado.



Fotografías 4-4: Mezcla con motoniveladora

b) Mezcla en sitio:

Si se usa una planta central los agregados pueden combinarse con precisión por medio de sistemas de tolvas en la planta. Pero si usamos una planta viajera o se mezcla in-situ se tendrá que utilizar dos o más caballetes cuyos volúmenes están plenamente establecidos para luego

realizar la mezcla la cual debe ser reacomodada antes de añadir la emulsión.

c) Plantas viajeras:

Son molinos autopropulsados que dosifican y mezclan en sitio los agregados con la emulsión, a medida que se desplaza a lo largo del camino, existen dos tipos de plantas viajeras:

La primera se mueve a lo largo del caballete de agregado preparado sobre la vía, recoge el material, añade y mezcla la emulsión mientras avanza y descarga posteriormente un cordón, mezclado listo para aireación y extendido.

La segunda, que recibe agregados en una tolva de camiones, añade y mezcla emulsión y esperarse la mezcla posteriormente a medida que avance sobre la vía.

Más allá del equipo usado, el propósito de la planta viajera es dejar sobre la vía una mezcla agregado emulsión apropiadamente cubierta u uniforme.

d) Mezcladores Rotatorios:

Consiste en una cámara mezcladora móvil montada sobre una máquina auto propulsada, la cámara está abierta en el fondo, en el interior van uno o más ejes rotatorios sobre los cuales se montan piñones o cuchillas, estas cuchillas sirven para cortar el material colocándolo a una profundidad determinada y mezclado con la emulsión. Cuando la máquina avanza, expulsa el material mezclado fresco a un nivel predeterminado. La emulsión puede introducirse de dos maneras, en algunos mezcladores entra a través de una barra de irrigación y luego se extiende a través de la cámara de mezclado, siendo la cantidad irrigada determinada por la velocidad de la unidad, el otro modo de agregar la emulsión es a través de un distribuidor de asfalto que irriga la emulsión sobre el agregado y va delante de la mezcladora móvil (los materiales se vierten a la cámara mezcladora a medida que avanza la máquina).

NOMBRE EQUIPO: MEZCLADOR ROTATORIO AUTO PROPULSADO

4.5.4 Extendido y Compactación

La mezcla debe siempre extenderse con espesor uniforme sea solo en una pasada o en varias capas más delgadas de modo que en la capa final no haya áreas de poco espesor, ninguna de las capas tendrá un espesor menor que a dos veces el diámetro máximo del agregado, cada vez que se extiende una capa debe hacerse la compactación casi inmediatamente después. Las mezclas no necesitan aireación pueden extenderse en el espesor necesario después de mezclarlo y compactarse entonces con un vibrador de llanta neumática o compactador de rueda METÁLICA, de preferencia se debe utilizar rodillos neumáticos y no tanto el rodillo metálico a fin de sellar y alisar la superficie, porque pueden ocasionar fracturas en los agregados. Los rodillos neumáticos fuerzan la penetración del agregado dentro del ligante asfáltico. Los neumáticos ejercen presión en las pequeñas depresiones, resultando un mejor acomodo de las partículas.

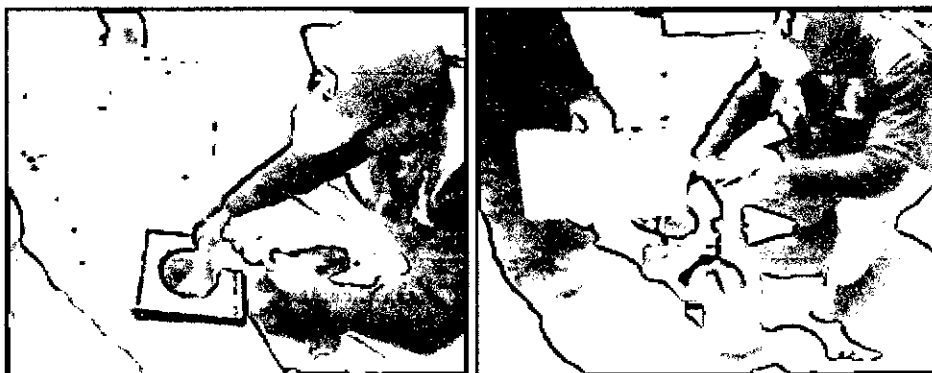
La experiencia ha demostrado que la compactación de las bases emulsionadas debe comenzar inmediatamente antes o al mismo tiempo en que la emulsión comience a romper (hecho que es producido en la práctica por un marcador cambio de color marrón a negro), en este instante el contenido de humedad de la mezcla es suficiente para actuar como lubricante entre las partículas del agregado, pero no se ha reducido al punto que no llena los vacíos, permitiendo la reducción del volumen bajo las fuerzas de compactación, luego si en algún momento de la compactación el asfalto muestra canales o deformaciones indefinidas, esta debe suspenderse, no se debe intentar compactar hasta cuando haya una reducción de diluyentes lo que ocurre espontáneamente por aireación mecánica, después de haber compactado y curado suficientemente una capa, recién se puede colocar sobre estas las siguientes capas, los compactadores más frecuentes empleados en la compactación de mezclas con emulsión son los neumáticos, vibratorios de ruedas metálicas lisas, de uno o dos rodillos, estáticos de ruedas metálicas. Finalmente podemos concluir que el equipo de compactación y como emplearlo dependerá del tipo de propiedades de la capa de la mezcla con emulsión.



Fotografía 4-5: Compactación de suelo estabilizado con emulsión asfáltica

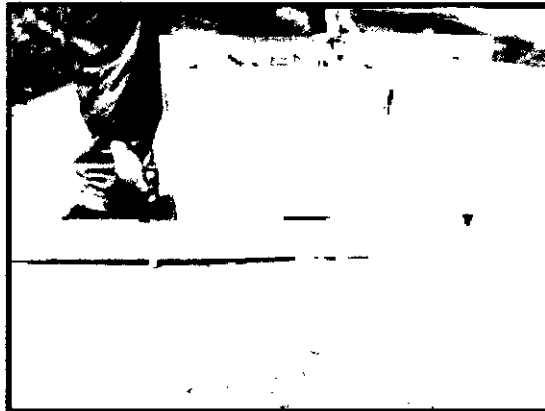
4.5.5 Pruebas de campo

Las pruebas de campo son por lo general para verificar la aplicación descrita por ensayos de laboratorio, por lo que son necesarios para verificar y controlar la calidad del producto terminado. Para este caso el ensayo común que se hace es la densidad de campo que debe ser el equivalente al menos al 95% de la MDS del laboratorio. En el caso que no llegara se deberá escarificar si fuera necesario, esparcir nuevamente y volver a compactar. De seguro que los resultados finales no serán como los previstos inicialmente ya que al aplicar demasiadas veces la carga de los rodillos las partículas de gravas sufrirán fracturas y esto hará cambiar la granulometría del material por lo que necesitará mayor cantidad de emulsión asfáltica para cubrir la mayor área posible de los agregados.



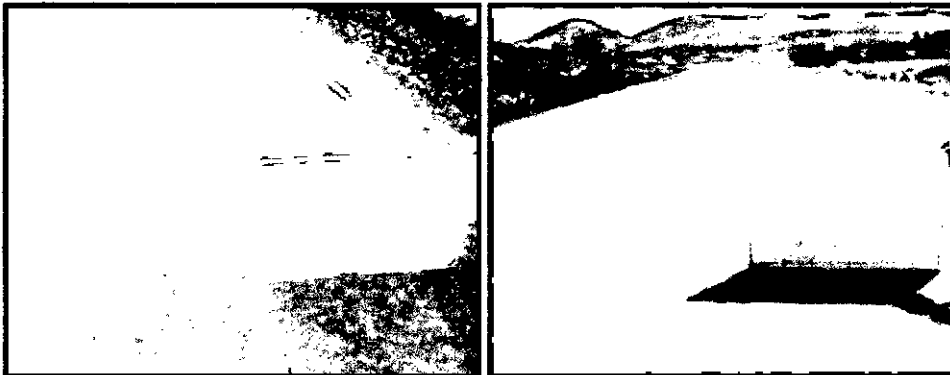
Fotografía 4-6: Pruebas de densidad de campo

Medida de Ahuellamiento:



Fotografía 4-7: Medidas de deflexión después de construido la base

Presencia de fisuras:



Fotografía 4-8: Presencia de fisuras en la base estabilizada con EA

4.5.6 Capa de recubrimiento o imprimado

Es una aplicación inicial sobre una superficie absorbente (base), para impermeabilizar la superficie, reducir sus vacíos capilares, revestir y trabar las partículas minerales sueltas, endurecer la superficie y promover la adhesión entre la base y la carpeta asfáltica o tratamiento superficial según sea el caso. La base debe ser adecuadamente perfilada y compactada, el material suelto deberá ser barrido de la superficie, la cual deberá estar seca o ligeramente húmeda. La cantidad de emulsión diluida está en proporción de 1:1 hasta 10:1 dependiendo de la naturaleza de la base granular, si se encuentra un exceso de residuo asfáltico después de haber roto la emulsión de deberá espolvorear ligeramente la arena para absorber el material sobrante.

La penetración se realiza mientras no haya terminado el proceso de coalescencia del asfalto una vez terminado este proceso será imposible

que los glóbulos de asfalto aglutinados continúen penetrando, lo único que puede ocurrir es que el agua emulsificado ya separada del asfalto penetre, esto si la base no ha sido previamente humedecido, en condiciones normales se eliminará por evaporación.

Finalmente podemos decir que la base imprimada está lista para recibir el revestimiento cuando la emulsión ha roto completamente presentando un color negro opaco, la cantidad de aplicación es de 2.3 lt/m² para bases de material muy fino y granulometría cerrada y 6.8 lt/m² para arenas sueltas y superficies porosas. Este proceso se deberá considerar en casos que la superficie final quedara en la base estabilizada, cuando se considera que tardará varias semanas la aplicación del tratamiento superficial (monocapa, bicapa, tricapa, slurry, entre otros). En el caso que quedara como la capa final de la vía hará que la erosión sea menor y el deterioro prematuro con presencia de baches, fisuras sea menos intenso y sea más extenso el tiempo de vida previsto.



Fotografía 4-9: Camión imprimador

CAPÍTULO V

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE CON CEMENTO PORTLAND

5.1 INTRODUCCIÓN

Esta práctica se inicia desde 1917, cuando en Filadelfia Joseph Hay Amies patentó un primer procedimiento de mejoramiento de suelos a base de mezclas en diferentes proporciones del Cemento Portland, al cual lo denominó "Alkaline Cement" manufacturado en una planta central con 60% de Cemento Portland, 30% de hidróxido de calcio y 10% soda cáustica, el resultante de esto se mezcló con suelo natural agregándole cierta proporción de agua. Desde entonces se ha popularizado la utilización del suelo-cemento dándose a conocer por el mundo entero, está en constante crecimiento ya que el uso no es exclusivo solo en vías de bajo costo o calles residenciales sino también se utiliza en explanadas, patios, áreas de estacionamiento, aeropuertos, etc. Por lo que resulta muchas veces una solución práctica y económica a comparación de otras alternativas.

En 1932 el Departamento de Caminos Estatales de Carolina del Sur creó un laboratorio encargado en la investigación y estudio del suelo cemento, con bases sólidas se empezó con la construcción con suelo cemento obteniéndose resultados significativos de tal manera que fue divulgado en los demás departamentos de EE.UU, la Portland Cement Association, la Highway Research Board y la Transport Research Board, para su aplicación en sus respectivos estados. También se usó durante la segunda guerra mundial para la construcción de aeropuertos, por parte de las fuerzas aéreas como de la Alemania Nazi, estos debían de resistir los constantes bombardeos de los enemigos, también debían enfrentarse a las condiciones climáticas adversas que es propio de la gran mayoría de países europeos.

A decir verdad esta técnica no está muy desarrollada pero está en constante estudio e investigación, ya que no existe una norma única que considere todos los casos que se puedan presentar en su aplicación, estos fenómenos químicos que ocurren entre el suelo y cemento depende mucho de las propiedades y composición de cada tipo de suelo, así como de los diferentes tipos de cemento que existe en el mercado, ya que si el suelo contiene más

de lo recomendable en elementos nocivos como la materia orgánica, sulfatos de calcio, de magnesio u otras substancias ávidas de agua, pues estos privan a los aglomerantes de la humedad necesaria para que funcione la mezcla en estudio, depende también de muchos otros factores como el clima, el agua, el tráfico proyectado, el mantenimiento, etc.

5.2 Objetivo de la estabilización con Cemento Portland

Las principales consideraciones de la estabilización físico química considerado en el suelo cemento son:

- Procurar que dicha mezcla sea soporte para cualquier condición de tiempo y de servicio manteniendo las características mecánicas obtenidas después de su construcción, asegurando la permanencia en el tiempo y la satisfacción del usuario.

5.2.1 Definición del suelo cemento

Existen diversas apreciaciones por las experiencias obtenidas en las investigaciones realizadas en el laboratorio y el campo, aunque no exista vastas referencias bibliográficas, la mayoría coincide en afirmar que el suelo cemento es un material con características propias que se diferencian del concreto, cuya mezcla contiene mayor cantidad de cemento y el suelo sin cemento que puede ser material afirmado o suelo natural, pero esas diferencias aún no son muy claras por lo que se sigue estudiando y experimentando. Existen muchas definiciones de los cuales los más relevantes son:

Según la Portland Cement Association (PCA), el suelo cemento es una mezcla altamente compactada de suelo, cemento, agregado y agua, debe ser adecuadamente hidratado o curado para que la mezcla alcance su máxima densidad y se transforme en un material sólido, rígido y durable al pasar el tiempo.

La Federación Interamericana del Cemento (FICEM), lo define como un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y/o granulares, cemento y agua, la cual se compacta y se cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas. El suelo-cemento se usa normalmente como capa de apoyo de otros materiales tratados con cemento o de concreto hidráulico o bien como capa resistente, bajo capas bituminosas. Puede fabricarse en planta central o bien ejecutarse in situ.

5.2.2 Clasificación del suelo cemento

a) Suelo cemento compactado:

Se usa en subrasantes o explanadas, especialmente en estructuras de pavimentos para tráficos pesados. Es una mezcla de suelo, cemento y agua, con un contenido mínimo de conglomerante en peso del 2%, a fin de obtener un material dotado de una cierta rigidez y resistencia mecánica después de una adecuada compactación. Puede utilizarse con todos los tipos de suelo con excepción de aquellos que contengan material orgánico, sulfatos, cloruros, etc. que pueden afectar la reacción con el cemento.

Su proporción en peso varía entre 4 y 25% aproximadamente. Debe considerarse que mientras más finos tenga el suelo, principalmente de tipo arcilloso, mayor cantidad de cemento se requerirá y por lo tanto mayor será su costo.

b) Suelo cemento plástico:

Consiste en la mezcla de suelo fino, cemento y agua o aditivos suficientes para conseguir una consistencia fluida. Frecuentemente se usa en zonas difíciles donde no es posible compactar, también en la construcción de bases de pavimentos, donde se usan mezclas plásticas y no fluidas, diseñadas de tal forma que se puedan colocar y enrasar fácilmente teniendo además la menor contracción posible.

Requiere una cantidad de cemento mayor que el tipo compactado, esto es mayor del 10% y no se compacta.

c) Suelo modificado con cemento:

El material de suelo es mezclado o tratado con una proporción relativamente pequeña de Cemento Portland, aproximadamente menor a 2 % en peso, es menor que la necesaria para producir suelo-cemento compactado. Si bien es cierto la mejoría que se puede esperar de la mezcla, depende de la cantidad de cemento y del tipo de suelo, para este caso lo que se busca es mejorar algunas propiedades de los suelos pasando a ser suelos utilizables o adecuados para la construcción. Estas se convierten en apelmazados con cierto grado de compactación, que se diferencia muy poco del suelo solo compactado. Sin embargo, aún funciona esencialmente como un suelo, aunque uno mejorado.

5.3 El proceso de la estabilización con cemento

El cemento que se incorpora al suelo actúa según dos procesos que se describen a continuación:

1. **Fijación de los iones cálcicos por el suelo.** Este primer proceso modifica las propiedades del suelo (LP), los silicatos cálcicos del cemento al ponerse en contacto con agua originan silicatos cálcicos hidratados tomando 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 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 suelo adhiriendo sus partículas, dando lugar a una cementación casi irreversible que origina una cohesión por cementación que aumenta la resistencia al corte del producto resultante. Ocurre algo así como una modificación íntima en el material de cada partícula que las suelda unas a otras.

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

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

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

Los porcentajes de cemento pueden expresarse en peso o en volumen:

$$\% P = \frac{P_C}{P_{SS}} \cdot 100$$

$$\% V = \frac{V_C}{V_{SS}} \cdot 100$$

Observación: El porcentaje se expresa como relación entre peso de cemento y peso de suelo seco.

5.4 Características del cemento

5.4.1 Cemento Portland Hidráulico: Se puede definir como una sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda (aglomerante), al mezclarse con el agua se produce una reacción química (hidratación del cemento) y empieza a fraguar espontáneamente en contacto con el aire, a medida que transcurre el tiempo aumenta su resistencia y su rigidez, constituyendo al final una masa sólida y resistente a la compresión.

El Cemento Portland es un material que tiene propiedades de adhesión y cohesión para unir materiales inertes y conformar masas muchos más sólidos.

5.4.2 Tipos de Cemento Portland: Cabe resaltar que en nuestro país, no se fabrica el tipo III, y el que más se utiliza viene siendo el Tipo I. Pero a la vez existe una variedad de cementos, para varias condiciones iniciales, tales como:

- Tipo I: Para uso que no requiera propiedades especiales.
- Tipo II: De uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- Tipo III: Para utilizarse cuando se requiera alta resistencia inicial.
- Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

5.4.3 Materias Primas

- **Componente calcáreo:** La caliza (CaCO_3), representa entre 70-80% de las materias primas necesarias para fabricar el clincker.
 - a) Caliza
 - b) La Creta
 - c) La Marga
- **Componente arcilloso:** Arcilla (silicato de aluminio hidratado), representa entre el 15-25% de las materias primas necesarias para fabricar el Clincker.
- **Componentes correctores:** Se añade en los casos en que las materias primas disponibles no contienen la cantidad suficiente de uno de los químicamente necesarios en el crudo.

Los principales materiales correctores son: Diatomeas, Bauxita, Cenizas volantes, Cenizas de piritita, mineral de hierro, polvo de tragante de alto horno, arena.

- **Componentes adicionados:**

- ✓ Oxido de manganeso Alcalis: K_2O , Na_2O
- ✓ Azufre Cloruros, Fluoruros

5.4.4 Principales fases minerales del Clinker

a) **Silicato Tricálcico - $3CaO.SiO_2$ (C_3S):**

- Se hidrata y endurece rápidamente.
- Es el más importante de los compuestos del cemento.
- Determina la rapidez o velocidad de fraguado.
- Determina la resistencia inicial del cemento.
- Libera gran cantidad de calor de hidratación es equivalente a 120 cal/gr., este compuesto tiene mucha importancia en el calor de hidratación de los cementos.
- Contribuye una buena estabilidad de volumen.
- Contribuye a la resistencia al intemperismo.

b) **Silicato Dicálcico - $2CaO.SiO_2$ (C_2S):**

- ✓ Contribuye al incremento de la resistencia a edades mayores de 7 días.
- ✓ Por su porcentaje en el Clinker es el segundo en importancia
- ✓ Se hidrata y endurece con lentitud.
- ✓ Endurece más lentamente que el C_3S , sin embargo a largo plazo alcanza la misma resistencia.
- ✓ Contribuye a la resistencia al intemperismo junto al C_3S .
- ✓ Su contribución a la estabilidad de volumen es regular.

c) **Aluminato Tricálcico - $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A):**

- ✓ Es el primero en hidratarse, o sea fragua con mucha rapidez (hidratación violenta).
- ✓ Libera gran cantidad de calor durante los primeros días del endurecimiento.
- ✓ Incide levemente en la resistencia mecánica.
- ✓ Tiene baja resistencia al intemperismo (acción del hielo y deshielo).
- ✓ Tiene mala estabilidad de volumen.

- ✓ Los cementos con bajos contenidos de C_3A son resistentes a los suelos y aguas que contengan sulfatos.

d) Ferrito aluminato tetra cálcico - $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF):

- ✓ Reduce la temperatura de clinkerización.
- ✓ En la resistencia mecánica no está definida su influencia.
- ✓ La estabilidad de volumen es mala.
- ✓ Influye en el color final del cemento.

Nota: El Silicato Tricálcico (C_3S) y el Silicato Dicálcico (C_2S) constituye el 75% del cemento. Por eso la resistencia mecánica se debe a éstos dos compuestos.

5.4.5 Calidad del cemento

El cemento tiene una vida de almacenamiento definida por lo que no se debería usar luego de tres meses a partir de su fecha de fabricación. Determinar la edad del cemento es difícil, en particular cuando se importa a granel. Si se tiene cualquier duda de la edad, o de cualquiera de los aspectos de calidad, se debieran obtener muestras para verificar los parámetros de resistencia en el laboratorio.

5.5 Química entre el suelo y el cemento

La acción química del cemento en la mezcla con el suelo, consta de varias etapas; la primera está relacionada a la naturaleza fibrosa del silicato de calcio que se forma cuando las partículas del cemento entran en contacto con el agua. Debido a esta reacción se forma masas de fibras minúsculas que se traban fuertemente unas con otras y con otros cuerpos. La solución formada por la mezcla cemento y agua reacciona con las partículas del suelo, reacción en la que los iones de calcio tienden a agrupar las partículas de suelo cargadas negativamente produciéndose su floculación por acción de la gravedad.

Por último, si se compacta la mezcla, se produce una reacción del calcio con la sílice y alúmina de tamaños coloidales, produciéndose complejos compuestos de silicato y aluminatos que aumentan lentamente la resistencia de la mezcla con el tiempo. A esta acción se conoce como puzolánica.

5.5.1 Componentes inadecuados para la mezcla suelo - cemento

- a) **La materia orgánica:** La presencia de materia orgánica en el suelo impide la reacción con el cemento, ya que los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan, dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas. Por esta razón las especificaciones de casi todos los países exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo no sobrepase de 1-2% en peso, si ha de ser considerado apropiado para ser estabilizado con cemento.
- b) **Sulfatos:** La presencia en el suelo de sulfatos de calcio, de magnesio u de otras sustancias ávidas de agua, privan a los aglomerantes de la humedad necesaria para su función.

5.5.2 Factores que afectan la mezcla suelo – cemento

5.5.2.1 El tipo de suelo: Casi todos los suelos pueden ser estabilizados con cemento, ya que no es necesario que sean materiales bien graduados pues la cohesión se alcanza por hidratación del cemento. En la mezcla tiene influencia importante por su composición química y su granulometría. Es lógico que los suelos mal graduados requerirán mayor cantidad de cemento, de allí la conveniencia que los vacíos estén rellenos con material sólido (grueso), de lo contrario se requerirá utilizar mayor cantidad de cemento aumentando considerablemente el costo, siendo este el elemento de mayor valor.

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

- Excavaciones o zonas de préstamo.
- Agregados locales de baja calidad.
- Mezcla de ellos.

Cualquiera que sea el material a emplear, no deberá contener materia orgánica u otra sustancia que pueda impedir la reacción del cemento en el fraguado del concreto.

Podemos distinguir tres tipos de suelos:

- ✓ **Arenosos con grava**, en ellos es posible afectar un adecuado trabajo de pulverización y mezcla con cemento observándose que la cantidad de cemento no es elevada en relación con las demás mezclas.
- ✓ **Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas**, como puede ser una arena de playa que demanda mayor cantidad de cemento. En la etapa constructiva pueden generarse problemas debido a la falta de cohesión la que es suplantada mediante humedad adecuada para la conformación.
- ✓ **Suelos limosos arcillosos**, suelen dar lugar a problemas de pulverización y mezcla intima, fenómeno más notorio en aquellos suelos que contiene elevada cantidad de arcilla. Generalmente cuando más arcilloso es el suelo cemento es necesario para estabilizarlo, además se encuentra con la dificultad de pulverizarlo por ello en las arcillas es poco aplicable el cemento, utilizándose mayormente la cal.

Deberá, además, cumplir los siguientes requisitos generales:

a) Granulometría (Agregados)

La granulometría del material a estabilizar puede corresponder a los siguientes tipos de suelos A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7.

Además el tamaño máximo no podrá ser mayor de cincuenta milímetros (50 mm) o un tercio (1/3) del espesor de la capa compactada. El espesor total de la capa de suelo estabilizado será de 150 mm.

b) Plasticidad

Las restricciones en Límite Líquido (LL) e Índice de Plasticidad (IP) del suelo, están indicadas en el Anexo 02 - (Guía referencial para la selección del tipo de aditivo estabilizador). El Límite Líquido (LL) e Índice de Plasticidad (IP) serán determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111.

c) Composición química

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

d) Abrasión

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

e) Solidez

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

5.5.2.2 La cantidad de cemento: Se debe de considerar con suma importancia que el cemento es el elemento más caro del suelo-cemento, entonces nuestro objetivo será encontrar la cantidad óptima de cemento que cumpla los requisitos para la factibilidad técnica, garantizando el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto en el tiempo de vida útil de la vía. También las propiedades que alcance la mezcla suelo-cemento depende esencialmente de la cantidad de cemento que se emplee.

Debemos también tener presente que la resistencia de una mezcla de suelo-cemento se ve favorecida por el aumento de temperatura, lo que es benéfico en áreas tropicales, donde las temperaturas de curado suelen ser superiores a las recomendadas por las normas utilizadas por países ubicados en zonas templadas.

Teniendo en cuenta que al fabricar la mezcla suelo-cemento, se llegan a obtener altas resistencias a la compresión (70 kg/cm² ó más), los cuales no son convenientes por su susceptibilidad al agrietamiento, pues finalmente se reflejan en la capa de rodadura; en la actualidad se fija un límite superior de 56 kg/cm², valor hasta el cual se considera que el suelo-cemento presenta un comportamiento acorde con las exigencias de un pavimento flexible.

5.5.2.3 La cantidad de agua que se agrega a la mezcla: Como referencia debemos considerar las pruebas de laboratorio concernientes al ensayo del próctor que nos permite encontrar la humedad óptima para una alta densidad seca y considerar al momento de hacer la mezcla, ya que esta se verá afectada en la compactación si es que la humedad no es la adecuada. En los diseños de suelo cemento se usa generalmente como ensayo de control el próctor normal en lugar del modificado, por cuanto aquel tiene una humedad óptima mayor, que proporciona la cantidad de agua adecuada para la correcta hidratación del cemento. Además, como la densidad máxima del ensayo normal es menor, se evita el riesgo de obtener compactaciones muy elevadas y resistencias demasiado altas, que como ya se indicó resultan también inconvenientes.

5.5.2.4 La compactación de la mezcla: Como se mencionó anteriormente debemos tener como referencia los ensayos de laboratorio para poder obtener una mezcla satisfactoria de suelo cemento después de compactarla adecuadamente.

La demora entre la mezcla y la compactación producen también una disminución de la densidad que puede alcanzarse al compactar la mezcla y por lo tanto de su resistencia. Por ese motivo, en casi todos los países se prohíbe que pasen más de 2 horas entre la mezcla y la compactación.

Debe tenerse presente que la mezcla de laboratorio presenta una resistencia mucho mayor que las que se elaboran en la obra. El TRRL ha encontrado valores de resistencia a la compresión de 40 a 60% para mezclas elaboradas con equipo agrícola y de 60 a 80% al emplear un mezclador de tipo rotativo.

5.5.2.5 Curado de la mezcla compactada: La resistencia a la compresión de la mezcla de suelo-cemento, también se ve influida por su tiempo de curado. Experiencias de laboratorio indican que ésta aumenta cuando crece el tiempo de curado a que se somete la mezcla después de ser compactada.

5.5.3 Variaciones en las propiedades del suelo

La variación en las propiedades de ingeniería del suelo debido a la adición del cemento pueden ser medidos de varias formas tales como:

- Aumento de la resistencia a la compresión simple y a la flexión.
- Aumento de la capacidad de soporte C.B.R.
- Reducción en las características de plasticidad, medida por índice de plasticidad (IP).
- Disminución del cambio de volumen de las propiedades.
- Aumento de la cohesión y del ángulo de fricción interno.
- Disminución de la permeabilidad.
- Aumento del módulo elástico y dinámico.
- Reducción en la cantidad de sedimentos y partículas de tamaño arcilla.

Es muy importante que la velocidad de fraguado que pueda resultar del tipo de cemento que se utilice sea relativamente lenta, de tal manera que permita los procesos de fabricación, transporte, extendido y compactación y una de las características físico-químicas apta para reaccionar con suelos finos arenosos-arcillosos.

a) La Densidad: La densidad del suelo cemento se mide usualmente en términos del máximo peso volumétrico seco, el cual se utiliza en los parámetros de control de campo. La relación máxima densidad y humedad óptima puede variar de acuerdo al tipo de suelo y contenido de cemento si se cambia la energía de compactación, el incremento del máximo peso volumétrico por una mayor energía de compactación sin que llegue a fracturar las partículas del suelo, aumenta notablemente la resistencia a compresión del suelo cemento y mejora el resto de las propiedades estructurales.

Tradicionalmente los diseños de suelo cemento se han realizado en función de la energía de compactación ASTM D 588 o AASHTO T134, sin embargo en los últimos tiempos se ha usado la compactación según norma AASHTO T180, este cambio se da por los equipos que se dispone actualmente, al aumentar la energía se disminuye la cantidad de cemento.

b) Resistencia a la compresión simple:

Este es un indicador de la reacción cemento, suelo y agua, este parámetro se incrementa progresivamente con respecto al tiempo. Los valores que se obtengan en laboratorio dependen de muchos factores.

- Contenido y tipo de cemento.
- La energía de compactación.
- La homogeneidad lograda en el mezclado.
- La cantidad y la calidad del agua.
- El tiempo transcurrido después de realizado el mezclado y la compactación.
- La duración y el curado de la mezcla compactada.
- El tipo de materias orgánicas, sales y materiales deletéreos existente en el suelo.

De acuerdo al ACI 230.1 R los rangos típicos de resistencia a la compresión simple a los 7 y 28 días (saturados previamente al ensayo) de edad varían de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5-1: Rangos típicos de compresión simple

Tipo de Suelo SUCS	F'c a 7 días kg/cm ²	F'c a 28 días kg/cm ²
GW,GC,GP,GM,SW,SC,SP,SM	21.09 - 42.18	28.12 - 70.3
ML, CL	17.58 - 35.15	21.09 - 63.28
MH, CH	14.06 - 28.12	17.58 - 42.18

Capa de suelo estabilizado	Resistencia mínima a la compresión a 7 días (kg/cm ²)
Base	35.15
Sub-base	14.06

Estos valores son referenciales y sugeridos por el ACI de acuerdo a la experiencia del suelo cemento en diversos países.

De los distintos ensayos en diversas instituciones relacionadas en la investigación del suelo cemento consideran que los primeros 90 días es de una a tres veces la resistencia a los 7 días, variando de acuerdo al tipo de suelo, contenido de cemento, etc.

c) Resistencia a la flexión: El comportamiento del suelo cemento referente a la resistencia a la flexión se ha obtenido directamente o indirecta a través de ensayos como el de la elaboración de vigas según la norma ASTM D1635 o mediante el ensayo de tracción indirecta. Estos ensayos se distinguen en dos grupos de mezclas de materiales finos y los materiales granulares.

Algunos autores coinciden con la resistencia a la flexión puede variar de $1/3$ a $1/5$ de la resistencia a la compresión simple, ello proporciona una idea de la rigidez y capacidad de carga que puede obtenerse en la estructura del pavimento utilizando este tipo de mezcla.

d) Retracción: Este es el resultado de la pérdida de agua por secado y de las reacciones ocurridas durante la hidratación del cemento. Los factores que influyen en el grado de agrietamiento como consecuencia de la misma son numerosos y complejos, entre ellos están, el tipo y cantidad de cemento utilizado, contenido de agua aplicado en el campo, propiedades de los agregados, procedimientos de curado realizados, las condiciones del clima, el tiempo de colocación y el rozamiento entre la capa de suelo cemento y la subyacente.

En la actualidad países de Francia, España y USA han desarrollado y puesto en práctica sistemas para minimizar la reflexión de las fisuras en las capas superiores del pavimento mediante creación de juntas en fresco a distancias cortas (prefisuración). Así mismo se ha logrado también minimizar el agrietamiento a través de mejoras a los requerimientos de diseño de mezclas y especialmente en el tipo de cemento.

e) Resistencia al desgaste: Esta propiedad no es evaluada en el suelo cemento cuando se utiliza en estructuras de pavimentos, ya que tal se ha demostrado la experiencia y diversas investigaciones, es un material excelente para soportar esfuerzos perpendiculares a la superficie, pero muy deficiente de resistir las fuerzas abrasivas del tránsito circulando directamente sobre él, por tal razón en este tipo de aplicaciones se recurre a proteger las capas de suelo cemento

colocando sobre ellas una capa de rodadura de concreto hidráulico, concreto asfáltico o tratamiento superficial asfáltico.

Se ha observado una mejora en la resistencia al desgaste cuando se incrementa el contenido de cemento y se utilizan suelos granulares no plásticos. El suelo cemento presenta una mayor resistencia al desgaste provocado por la acción erosiva de las lluvias, que por la acción erosiva del tráfico vehicular. Al igual que las losas de concreto pueden soportar una elevada resistencia debido al paso de los vehículos.

- f) **Permeabilidad:** En general, la permeabilidad de la mayoría de suelos disminuye con la adición de cemento, depende también principalmente del tipo de suelo, contenido de cemento de una mezcla homogénea y compactación adecuada.

Las mezclas de suelo cemento elaborada con suelos finos son las que presentan y mantienen con el tiempo una menor permeabilidad. Los valores típicos del coeficiente de permeabilidad K de mezclas de suelo cemento elaboradas con suelos areno-limosos, varían entre 0.4×10^6 y 3×10^6 cm/s. El porcentaje de cemento en estos casos suelen ser inferior al 5% en peso.

5.6. Óptimo Contenido de Cemento

El diseño de la mezcla se hace en el laboratorio, siendo los ensayos que más se utilizan para ello, el de durabilidad, llamado también de humedecimiento y secado y el de compresión simple sobre probetas compactadas bajo condiciones especificadas según (ASTM D1633). En relación con el primero, las especificaciones fijan los valores aceptables en función del tipo de suelo que se estabilice, mientras que con respecto al segundo, fueron los ingleses quienes establecieron el ensayo de compresión para el diseño, luego de encontrar para su medio ambiente, una resistencia a la compresión de 17.5 kg/cm² sobre probetas curadas a 15°C durante 7 días, equivale a los resultados del ensayo de humedecimiento y secado. Para la aplicación de la investigación se realizó el ensayo de compresión simple ensayado al séptimo día de curado.

La cantidad de cemento puede variar entre el 2 y 25% del peso de la mezcla. El promedio es de 10% y se procura que no pase de 15% por razones económicas. La comprobación de la dosificación de cemento en cada

Tabla 5-3: Cantidades de cemento requerido - PCA

Grupo de suelo AASHTO	Gama usual de cemento necesario		Contenido de cemento que se utiliza en la prueba de humedad densidad % por peso	Contenido de cemento para las pruebas de seco, húmedo y hielo-deshielo % por peso
	% por volumen	% por peso		
A-1-a	5-7	3-5	5	3-5-7
A-1-b	7-9	5-8	6	4-6-8
A-2	7-10	5-9	7	5-7-9
A-3	8-12	7-11	9	7-9-11
A-4	8-12	7-12	10	8-10-12
A-5	8-12	8-13	10	8-10-12
A-6	10-14	9-15	12	10-12-14
A-7	10-14	10-16	13	11-13-15

Fuente: AASHTO

Según la referencia del ACI en la tabla 5-4, muestra según el tipo de suelo (clasificación USCS y AASHTO), los contenidos teóricos iniciales recomendados para la estabilización.

Tabla 5-4: Rango típico de cemento según clasificación de suelo.

AASHTO	ASTM (SUCS)	RANGO TÍPICO DE CEMENTO (% en peso)
A-1-a	GW,GP,GM,SW,SP, SM	3-5
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9
A-3	SP	7-11
A-4	CL, ML	7-12
A-5	ML, MH, CH	8-13
A-6	CL, CH	9-15
A-7	MH, CH	10-16

Fuente: ACI 230 1R

En ambas referencias muy importantes a nivel mundial, el porcentaje inicial de cemento para el tipo de material de cantera según la clasificación AASTHO o SUCS siendo A – 1a y GW-GC respectivamente, coinciden entre 3 – 5% en peso. Por lo que para los ensayos de compresión simple se consideró el porcentaje inicial teórico de cemento de 4%, entonces para el ensayo de compresión simple se tomó los porcentajes de 3, 4 y 5% de cemento en peso de la mezcla.

(2) Paso 2:

Para estimar la cantidad óptima de cemento, se debe realizar ensayos de Próctor Modificado para determinar la densidad seca máxima y contenido óptimo de agua de la mezcla suelo-cemento, para cada porcentaje de cemento.

El procedimiento que figura en la norma ASTM D 558 se utilizará para preparar la mezcla de suelo-cemento y para hacer los cálculos necesarios.

(3) Paso 3:

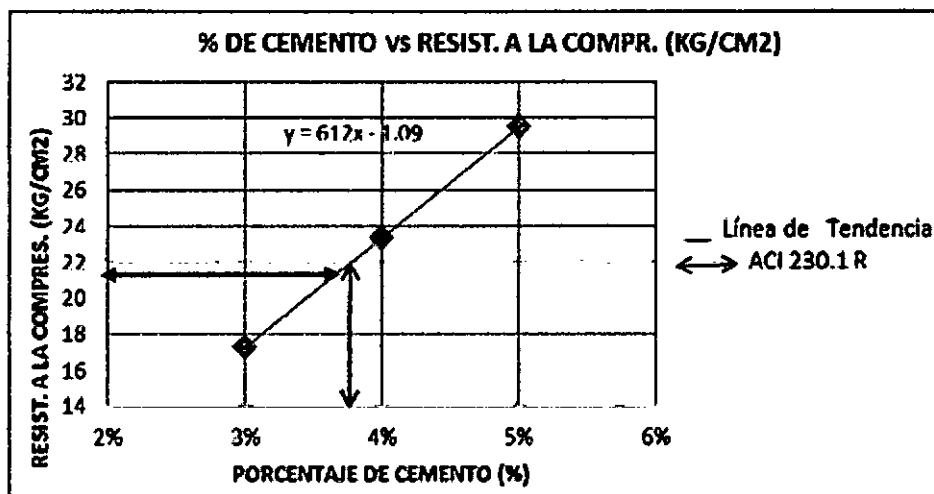
Las probetas que se prepararon para el ensayo de compresión simple se ensayaron después de 7 días de curado. Se elaboró una gráfica similar a la gráfica 5-1, de tal manera que se pueda conocer la línea de tendencia de los puntos calculados en la relación entre el porcentaje de cemento y la resistencia a la compresión simple a los 7 días de curado.

Para el cálculo del Óptimo Contenido de Cemento consideraremos los siguientes criterios:

- Según la norma peruana la resistencia mínima que debe tener la probeta debe ser de 18 kg/cm², con la sugerencia de utilizar este parámetro para suelos finos.
- Según la tabla 5-1, que recomienda el ACI 230.1 R para suelos GW-GC consideraremos para la compresión simple a los 7 días el valor mínimo de 22 kg/cm², saturados previamente antes del ensayo.

De los dos criterios considerados, tomaremos el segundo ya que el primero no contiene al tipo de material que se quiere estabilizar.

Gráfica 5-1: % Cemento vs Resistencia a la compresión (kg/cm²)



De la gráfica se calcula con la ecuación de la línea de tendencia el porcentaje de cemento equivalente para una resistencia mínima de 22 kg/cm².

Reemplazando en la ecuación $y = 612(x) - 1.09$, el valor de $y = 22$, tendremos:

$$x = 3.80 \% \text{ de cemento en peso.}$$

Por lo tanto utilizaremos como Óptimo Contenido de Cemento 4 % en peso, considerando desperdicios debido al proceso constructivo.

5.7 Proceso constructivo

En esta etapa lo que debe buscar el constructor es verificar lo que ha probado en el laboratorio, haciendo reajustes tales que se adecuen de acuerdo a la zona de trabajo, en la búsqueda de la mezcla pulverizada con cemento en proporciones correctas con la humedad necesaria para lograr una compactación adecuada. Existen muchos casos como para tomar en cuenta, tales como cuando se quiere mejorar el mismo material del camino, parte del material del camino, completando con material de préstamo o el total solo con material de préstamo, para el caso de la investigación se considera el último caso.

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones generales:

5.7.1 Equipos para el manejo y la difusión de cemento

- 01 Motoniveladora CAT 140G.
- 01 Rodillo Autop. Liso vibratorio CAD25D.
- 01 Rodillo Autop. Neumático AP 22
- 01 Camión distribuidor de cemento.
- 01 Recicladora estabilizador suelos Terex RS 425
- 01 Camión sistema 256 HP.
- 01 Camión Volquete 15 m³.
- 01 Camión tanque imprimador.

5.7.2 Medidas generales previas a la construcción

- Perfilar el camino longitudinalmente y transversalmente.

- Escarificar, pulverizar y humedecer previamente el suelo si fuese necesario, para eliminar todos los grumos, de manera que la mezcla posterior sea homogénea. La adición de agua en suelos con defecto de humedad debe realizarse antes de la mezcla con cemento, o a lo sumo, dentro de las 2 horas siguientes al vertido de cemento en el suelo, sin haber mezclado este. Esta última práctica es poco recomendable ya que se produce el fraguado del cemento antes de ser mezclado. El mejor método de proceder a la humectación correcta del suelo antes del extendido del cemento, proceder a la extensión o inmediatamente realizar la mezcla y compactación.
- Conformar el camino nuevamente longitudinalmente y transversalmente.

5.7.3 Colocación del material de préstamo

Para esto se utilizará equipo pesado como camiones volquete de capacidades de 15 – 18 ton., dependiendo de la necesidad y factibilidad económica. Se irá distribuyendo a lo largo y ancho del camino cada cierta distancia dependiendo de la cantidad necesaria por área de vía.

5.7.4 Distribución del cemento

Cuando el cemento se extienda por la superficie del terreno que se va estabilizar, el primer control de calidad que se debe de efectuar es el de la homogeneidad del extendido, evitando la formación de zonas longitudinales con diferentes proporciones de cemento, fenómeno que se puede presentar si se distribuye éste:

- Sacos formando cuadrillas, hay que suspender el extendido de cemento cuando haya viento debido a la emisión de finos que se presenta y desde luego la afectación económica del proyecto, la heterogeneidad y seguridad del operario.
- El cemento no debe ser aplicado cuando el suelo se encuentra con una humedad superior a la óptima.

El camión dispensador distribuye el cemento en todo el ancho del carril de trabajo, el cálculo de la tasa de cemento en pista se realiza de la misma forma que el suelo cal.

$$Tasa\ de\ cemento\ (kg / m^2) = M.D.S\ x\ espesor\ de\ capa\ x\ (\%)$$

Máxima densidad seca: 2.250 kg/m³

Humedad óptima: 7.25 %

Espesor de la capa: 0.15 m

Porcentaje de cemento: 4.0%

Tasa de cemento = $2.250 \times 0.10 \times 0.040 = 9.0 \text{ kg./m}^2$

5.7.5 Mezcla y aplicación de agua

El proceso de mezclado tiene como objetivo lograr la mixtura correcta entre el suelo cemento y agua a fin de obtener una mezcla homogénea que pueda trabajarse y compactarse.

La mezcla del cemento con el suelo debe de realizarse lo más inmediatamente posible desde el extendido de cemento no pudiendo permanecer más de media hora (1/2 h.), sin que se proceda a su compactación y acabado a una remoción y mezclado. Con temperaturas bajas del orden de 10° C este límite puede ampliarse a 1 hora con ensayos previos correspondientes.

La calidad del agua debe cumplir ciertos parámetros químicos, el PH entre 5.5 a 8.0 y ya su vez los sulfatos expresado en ión SO₄ menores a 1gr/l, determinado por la norma ASTM D-516.

Normalmente para el mezclado y humedecimiento se emplean dos horas, este es el 50% del tiempo total para la terminación, por lo que la sección de trabajo es del orden de los 300 m. de longitud, esto variará de acuerdo a la geografía, el clima y otros factores que incidan en el rendimiento diario.

5.7.6 Compactación

Para poder ejecutar una adecuada compactación se deberán tener las siguientes consideraciones y otras que especifique el expediente del proyecto en ejecución:

- El comportamiento de un suelo limoso o arcilloso tratado con cemento es de gran sensibilidad a la densidad seca respecto a la energía de compactación. Cuando el porcentaje de cemento es pequeño y la humedad alta, el índice de CBR puede descender si se sobrepasa una determinada energía de compactación de manera que el suelo cemento

se acerque a la saturación. Con dosificaciones altas de cemento en materiales limosos o con dosificaciones medias o bajas en materiales arenosos, la susceptibilidad descende y el CBR aumenta fácilmente al aumentar la energía de compactación.

- La maquinaria más adecuada para compactar los suelos estabilizados con cemento con preponderancia de elementos arcillosos suele ser el rodillo de impacto o camping combinados con rodillo vibratorio liso para el acabado superficial. Si el suelo es de tipo arenoso, la maquinaria más adecuada es la combinación de rodillo vibratorio y compactadores neumáticos, pudiéndose suprimirse estos últimos si se trata de arenas limpias estabilizadas para crear un suelo-cemento de alta calidad.
- Los equipos de compactación no deben actuar más allá de 4 horas desde la incorporación de cemento al suelo, o 3 horas si la temperatura es mayor de 30°C, sino implicaría una caída de la resistencia, durabilidad, etc. por pérdida de la densidad. La operación de compactación debe ser lo más breve posible con utilización de suficiente número de aparatos compactadores y nunca debe durar más de dos horas en un mismo punto, se corre el riesgo de destruir las uniones moleculares producidas por el fraguado, para no recurrir a escarificaciones o recompactaciones que no serían admitidos por el suelo cemento. Pues de esta manera habría que desecharlo y reconstruirlo.

5.7.7 Juntas de contracción

Hoy en día, la realización de juntas de contracción o control a distancias cortas después de la compactación, como método para minimizar las fisuras de las capas superiores, es una práctica habitual en varios países. El tema de juntas de contracción o de control es relativamente reciente. Hasta el momento son pocos los países que han desarrollado o aplicado de forma sistemática la técnica de formación de juntas en fresco aproximadamente de 2.5 a 3.0 m, también conocidas como prefisuración que trata de un método muy eficaz para el control de reflexión de fisuras en las capas superiores del concreto asfáltico; Francia, España y Alemania son países más activos en el desarrollo y la técnica, podemos mencionar dos métodos:

- o **Método Olivia:** Se inserta simultáneamente a la formación de la junta una cinta o lamina flexible de lasticoidera, la inclusión de cintas plásticas en la junta del fresco.

- o **Método Craft:** Simultáneamente a la creación de la entalla en el material fresco, se aplica un riego de emulsión asfáltica en las juntas, para impedir que se vuelvan a adherir las paredes de las juntas.

5.7.8 Curado

El suelo estabilizado se debe someter a un curado adecuado, bien por adición de agua durante 7 días de manera que la superficie aparezca húmeda, o mediante la aplicación de un riego asfáltico de adherencia que puede realizarse hasta alcanzar una dosificación del orden de 0.7 a 1.5 lt/m² según el tipo de terreno, el objetivo de esta actividad es que se impida que el agua sea liberada rápidamente por evaporación, permitiendo que el cemento logre fraguar satisfactoriamente y evolucionar la resistencia, pero antes de efectuarse el riego asfáltico deberá realizarse un riego de agua para llenar los vacíos de la capa, pues de otra manera el asfalto penetraría impidiendo la correcta adherencia entre las partículas. La manera de comprobar la correcta aplicación del sellado asfáltico es verificar que la capa asfáltica del suelo se mantenga húmeda durante una semana.

Para la apertura al tráfico es necesario proteger la superficie del suelo cemento ante la abrasión y el desgaste provocado por los neumáticos, la extensión de arena cuando todavía se encuentra fresco el riego de curado. Deberá preverse la ejecución de una imprimación reforzada pues el tránsito despegaría el riego simple.

En general los suelos granulares pueden abrirse inmediatamente al tráfico de obra local, en caso de los suelo finos es conveniente esperar algunos días, a los 7 días de curado puede realizarse la apertura al tráfico general.

El suelo cemento no debe construirse con temperaturas inferiores a 4 ó 5 °C pues por debajo de tales temperaturas el cemento no hidrata y no hay desarrollo de las propiedades cementantes.

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

6.1. GENERALIDADES

6.1.1. Definición de Pavimento

Un pavimento puede definirse de este modo: "Estructura que aporta una superficie adecuada para operar un vehículo a una velocidad determinada en forma cómoda y segura en cualquier circunstancia" (Yang, 1972); o bien, puede definirse como una estructura conformada por capas de espesores y características específicas que se apoya sobre el terreno de fundación y que cumple la función principal de soportar las cargas impuestas por el tráfico, brindando seguridad y confort a los usuarios en el periodo concebido de diseño.

El diseño del pavimento consiste en establecer una estructura para una duración determinada bajo las sollicitaciones del tránsito y el medio ambiente. Estas producirán fatiga hasta llevarla a la falla. Para el diseño se debe seguir un procedimiento o método donde intervienen de forma explícita o implícita varios elementos.

6.1.2. Clasificación y Tipos de Pavimentos

a) Clasificación de Pavimentos:

- Por la calidad de los materiales: de concreto, de asfalto, afirmados, estabilizados, empedrados.
- Por su vida útil.- Temporales o definitivos.
- Por su estructura.- Simples o reforzados.
- Por el tránsito que soportan.- Urbanos, carreteras, aeropuertos, pisos industriales, etc.
- Por la forma de distribución de los esfuerzos.- Rígidos y flexibles

b) Tipos de pavimento:

b.1. Pavimentos Flexibles

Tiene una base flexible o semirrígida sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa.

1) Pavimento de Mezcla Asfáltica en Caliente

- Asfalto Convencional – CAP PEN
- Asfalto Modificado

2) Pavimento de mezcla asfáltica en frío.

- Asfaltos Líquidos, Asfaltos Rebajados o CUTBACKS
- Emulsión Asfáltica

3) Pavimento a nivel de T. Superficial.

- Monocapa
- Bicapa
- Tricapa

b.2. Pavimentos Rígidos

Tipos de Pavimentos de Concreto

1) Pavimento de Concreto Simple

- 1.1 Sin elementos de transferencia de carga.
- 1.2 Con elementos de transferencia de carga.

2) Pavimentos de concreto con refuerzo de acero y elementos de transferencia de carga.

- 2.1) Con refuerzo de acero no estructural.
- 2.2) Con refuerzo de acero estructural.

3) Pavimentos con refuerzo continuo.

4) Pavimentos con concreto pre y post-tensado.

5) Pavimentos con reforzado con fibras.

El manual considera principalmente soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2000; también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante.

6.1.3. Métodos de Diseño

- a) **Método Totalmente Empírico:** Generalmente se emplean factores de seguridad muy altos, lo que significa se tendrá resultados de espesores sobre dimensionados que no responden a la realidad y necesidad de la vía. Tenemos dentro de este caso el método que tiene como base el Índice de Grupo (De acuerdo a la clasificación de suelos).
- b) **Método Semi-empíricos:** Relacionado con teorías más razonables y cercanas a la realidad, basados en ensayos de laboratorio tales como el ensayo de CBR, el método de Hveem y el de Texas.
- c) **Métodos Racionales:** Basados en teorías sobre distribución de esfuerzos y deformaciones, entre estos tenemos el Navy, Shell e Instituto del Asfalto (Versión 1981).

La mayoría de teorías existentes para el diseño de pavimentos provienen de los Estados Unidos de América, así como del continente europeo, pero ninguno de ellos garantiza el éxito de la aplicación en el territorio nacional, por lo que se tiene que acondicionar con experimentos y tramos de prueba.

6.2. PARÁMETROS DE DISEÑO

6.2.1 Estudio de Suelos (Subrasante)

Serán estudiados para la determinación del CBR de la subrasante, las capas superficiales de terreno natural o capa de la plataforma en relleno, constituida por los últimos 1.50 m de espesor debajo del nivel de la subrasante proyectada, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente; su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará en la parte superior.

La subrasante correspondiente al fondo de las excavaciones en terreno natural o de la última capa del terraplén, será clasificada en función al CBR representativo para diseño, en una de las cinco categorías siguientes:

Tabla 6-1: Clasificación de la Subrasante en función del CBR

Clasificación	CBR _{95%}
S ₀ : Subrasante muy pobre	< 3%
S ₁ : Subrasante pobre	3% - 5%
S ₂ : Subrasante regular	6 - 10%
S ₃ : Subrasante buena	11 - 19%
S ₄ : Subrasante muy buena	> 20%

Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO para carreteras contempladas en este manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, como se tiene según estudios realizados por el contratista ejecutor y se muestra en el "Anexo 02 – Perfil Estratigráfico de la subrasante", a partir del cual se determinará los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos y/o correlaciones para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

Para calcular el Valor Soporte Relativo del suelo de fundación, se efectuarán ensayos de California Bearing Ratio (CBR) para cada tipo de suelo y de control cada 2 km de espaciamiento como máximo.

6.2.2 Estudio de Tráfico y Cargas

Para el estudio de tráfico del tramo: km 220+000 al 240+000 de la carretera "Cañete - Dv. Yauyos - Chupaca (RN 22)", se ubica geográficamente en la Región Junín, entre las provincias de Concepción y Chupaca, se tomó los datos de la estación E-5 ubicada en el Distrito Roncha, la más cercana al tramo de referencia.

Puntos de Aforo:

Para el relevamiento de los datos de campo se consideró el trabajo simultáneo de dos Brigadas de Tráfico, compuesta cada una por un Jefe de Brigada que efectuó simultáneamente funciones de Conteo y clasificación. Los turnos fueron rotativos.

La ubicación de los puntos de conteo a lo largo del eje de la vía se indica en el cuadro 6-1, incluyendo del interés de esta investigación la Estación Ronchas (E-5).

Cuadro 6-1: Ubicación de los Puntos de Aforo

CÓDIGO	UBICACIÓN	RUTA	NOMBRE
E 1	Cañete (Imperial) - Lunahuaná	RN 22	Lunahuaná
E 2	Lunahuaná - Pacarán - Zúñiga	RN 22	Pacarán
E 3	Zúñiga - Dv. Yauyos - San José de Quero	RN 22	Zúñiga
E 4	San José de Quero - Ronchas	RN 22	Yauyos
E 5	Ronchas-Chupaca	RN 22	Ronchas

Fuente: CGC – “Estudio de Tráfico 2008”

La programación de estaciones de control vehicular, se efectuó de acuerdo a los antecedentes entregados por el contratista del proyecto, considerando las actividades de mantenimiento requeridas y según los tramos más o menos homogéneos en volumen y composición vehicular, en que se sub-divide el Eje Vial en estudio, los cuales se indican en el cuadro siguiente:

El gráfico 6-1 y cuadro 6-2, muestran el cronograma y la ubicación de las Estaciones de Control vehicular.

Cuadro 6-2: Cronograma de estudio de campo

Código Estación	ESTACION	TRAMO	DIAS	CONTEO	
				UBICACIÓN	FECHA (2008)
CONTEO VEHICULAR					
E 1	Cañete	Cañete (Imperial)-Lunahuaná	7	Peaje Km. 12+730	12/15 y 23/25 Mayo
E 2	Lunahuaná	Lunahuaná - Pacarán	7	Romaní Km. 53	Del 21 al 27 de Abril
E 3	Pacarán	Pacarán – Zúñiga	7	Entrada Zúñiga KM. 58	Del 16 al 22 de Mayo
E 4	Dv. Yauyos	Zúñiga - Dv. Yauyos-San José de Quero	7	Salida de Magdalena Km. 127+400	Del 21 al 27 de Mayo
E 5	Roncha	San Jose de Quero – Roncha	7	Salida de Roncha Km. 25	Del 13 al 19 de Mayo

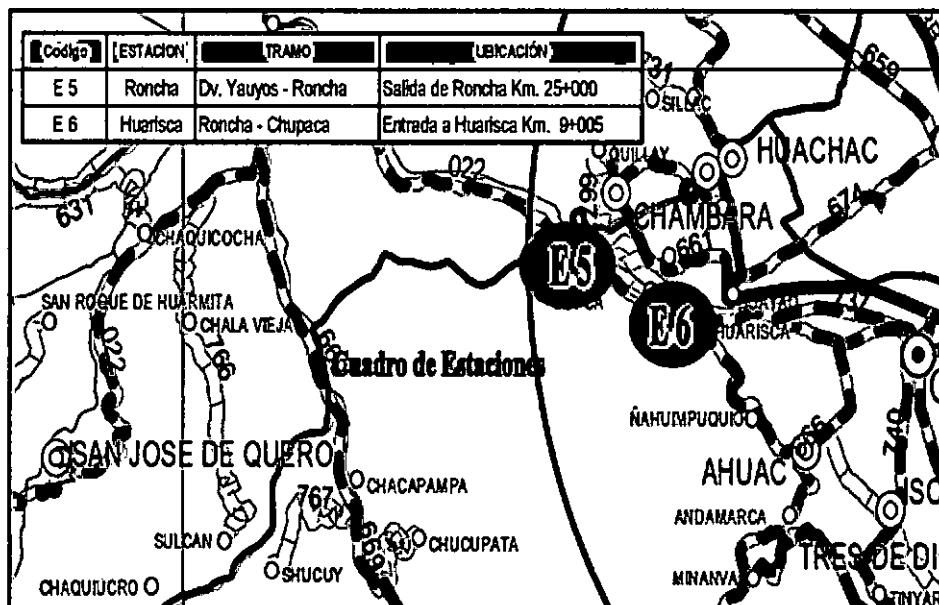
Fuente: CGC – “Estudio de Tráfico 2008”

La clasificación vehicular correspondió a: autos-camionetas, camioneta rural, micros, ómnibus de 2 ejes, ómnibus de 3 o más ejes, camiones de dos ejes, camiones de tres ejes, camiones de cuatro ejes camiones, vehículos articulados de 3 ejes, cuatro ejes, de cinco ejes, de seis ejes y siete eje desagregados en trailers y semitrailers.

Se utilizaron contómetros manuales para el control vehicular.

A continuación se incluye el Gráfico de Ubicación de la Estación de Control.

Gráfico 6-1: Gráfico de Ubicación de las Estaciones de Control Región Junín



El Índice Medio Diario Anual de Tránsito (IMDA).

El Índice Medio Diario Anual de Tránsito (IMDA), representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica.

La carretera se diseña para un volumen de tránsito que se determina como demanda diaria promedio a servir al final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual, normalmente determinada por el MTC para las diversas zonas del país.

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1+i)^{n-1}$$

Donde:

- T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh./día.
- T_o = Tránsito actual (año base o) en veh./día.
- n = Años del período de diseño.
- i = Tasa anual de crecimiento del tránsito. Definida en correlación con la dinámica de crecimiento socio- económico (*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

(*) La proyección puede también dividirse en dos partes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población y una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la región que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

Resultados de los Conteos Vehiculares

Los cuadros y gráficos incluidos a continuación, contienen el resumen por grandes tipos de vehículos, el porcentaje de participación de cada gran grupo de vehículos en el IMDa y la curva de variación horaria por sentido de circulación, para el punto de control vehicular E-5 (Ronchas).

Cuadro 6-3: Volumen Diario Clasificado de las Estaciones E-2 hasta E-6

Tramo	Lunahuaná- Pacarán	Pacarán- Zúñiga	Zúñiga- Dv. Yauyos- San José de Quero	San Jose de Quero- Ronchas	Ronchas- Chupaca
Tipo Vehículo	E 2	E 3	E 4	E5	E6
VL (Auto+SW+Camioneta)	210	223	21	217	336
Camta Rural+Micro	132	122	4	42	38
Ómnibus	10	8	8	8	9
Camión Unitario (2,3,4 Ejes)	49	46	20	44	41
Camión Acoplado	16	19	0	36	30
IMDa (Veh/día)	417	418	53	347	454

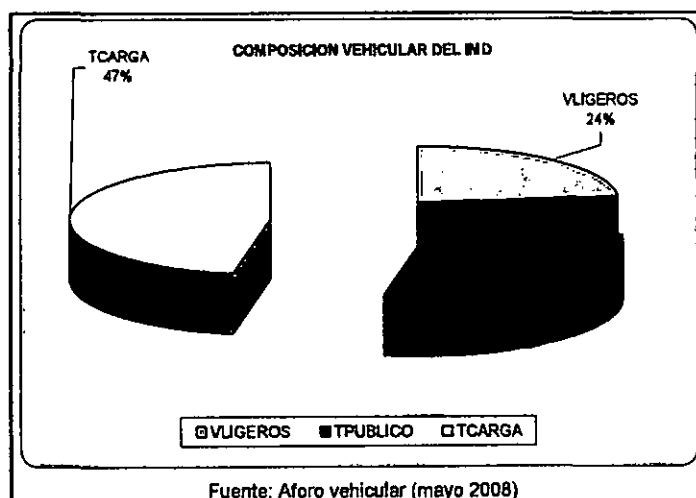
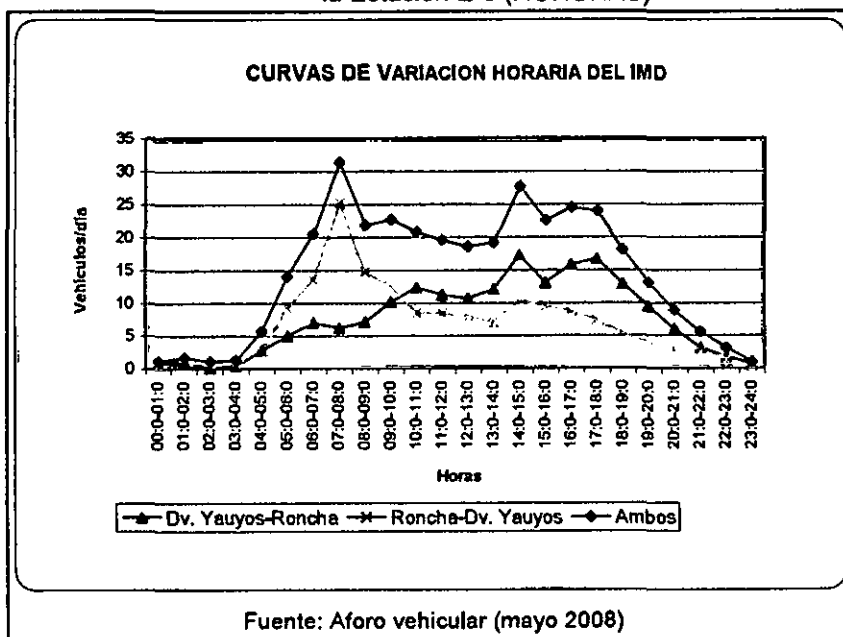
Fuente: CGC – "Estudio de tráfico 2008"

Cuadro 6-4: Porcentaje de Participación por Cada Grupo de Vehículos

Tramo	Lunahuaná-Pacarán	Pacarán-Zúñiga	Zúñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero	San Jose de Quero-Ronchas	Ronchas-Chupaca
Tipo Vehículo	E 2	E 3	E 4	E5	E6
VL (Auto+SW+Camioneta)	50%	53%	40%	63%	74%
Camta Rural+Micro	32%	29%	8%	12%	8%
Ómnibus	2%	2%	15%	2%	2%
Camión Unitario (2,3,4 Ejes)	12%	11%	38%	13%	9%
Camión Acoplado	4%	5%	0%	10%	7%

Fuente: CGC -- "Estudio de tráfico 2008"

Gráficos 6-2: Curva de Variación Horaria del IMD por Sentido de Circulación de la Estación E-5 (RONCHAS)



El cuadro 6-5, contienen el resumen del volumen clasificado diario de la Estación Ronchas (E-5) de control vehicular.

El transporte de carga de vehículos acoplados, en el tramo "Chupaca-Ronchas-Dv. Yauyos", corresponde esencialmente al servicio de las minas de su área de influencia física, hacia las provincias de Concepción, Huancayo y Lima.

Cuadro 6-5: Volumen Diario Clasificado – Estación Ronchas
 (E- 5) - TRAMO SAN JOSE DE QUERO-RONCHAS

Tipo de Vehículo	San José de Quero-Roncha	Roncha-San José de Quero	Ambos	%
Auto	5	4	9	3%
Camioneta	106	102	208	60%
C.R.	19	18	37	11%
Micro	3	2	5	1%
Ómnibus 2	4	4	8	2%
Ómnibus +2				
Camión 2 Ejes	19	18	37	11%
Camión 3 Ejes	3	4	7	2%
Camión 4 Ejes				
Semitraylers	25	11	36	10%
Traylers				
TOTAL	184	163	347	100%
% sentido	53%	47%	100%	

Fuente: CGC – "Estudio de tráfico 2008"

En el Cuadro 6-6, se tiene a la Estación Ronchas (E- 5) de control vehicular, el volumen y clasificación horaria por sentido de circulación y por día de conteo del estudio de campo.

Cuadro 6-6: Resumen del volumen vehicular estación E-5 "San José de Quero-Ronchas" – RN 22

Día	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayer				C 7 Ejes	TOTAL	%
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
Martes	Dv. Yauyos-Roncha	5	79	15	14	2	0	0	18	4	0	0	9	1	21	0	0	0	0	0	168	48.7%
	Roncha-Dv. Yauyos	4	98	24	15	0	0	0	18	4	1	1	5	2	7	0	0	0	0	0	177	51.3%
	Ambos	9	175	39	29	2	0	0	36	8	1	1	14	3	28	0	0	0	0	0	345	100.0%
Miércoles	Dv. Yauyos-Roncha	5	69	17	12	1	1	0	16	2	0	3	7	1	23	0	0	0	0	0	157	53.0%
	Roncha-Dv. Yauyos	4	70	16	11	1	0	0	21	4	0	2	1	0	9	0	0	0	0	0	139	47.0%
	Ambos	9	139	33	23	2	1	0	37	6	0	5	8	1	32	0	0	0	0	0	296	100.0%
Jueves	Dv. Yauyos-Roncha	3	67	17	12	1	1	0	20	4	0	0	5	0	23	0	0	0	0	0	153	50.5%
	Roncha-Dv. Yauyos	3	75	12	14	2	3	0	19	5	1	0	6	0	10	0	0	0	0	0	150	49.5%
	Ambos	6	142	29	26	3	4	0	39	9	1	0	11	0	33	0	0	0	0	0	303	100.0%
Viernes	Dv. Yauyos-Roncha	2	117	25	33	11	5	0	42	1	0	0	6	0	11	0	0	0	0	0	253	51.0%
	Roncha-Dv. Yauyos	6	112	22	33	7	7	0	33	2	0	0	2	0	7	0	0	0	0	0	231	46.6%
	Ambos	8	229	47	66	18	12	0	75	3	12	0	8	0	18	0	0	0	0	0	488	97.6%
Sabado	Dv. Yauyos-Roncha	11	96	14	25	2	14	0	18	7	0	0	6	0	21	0	0	0	0	0	214	55.7%
	Roncha-Dv. Yauyos	5	83	10	21	3	16	0	18	6	0	1	0	0	7	0	0	0	0	0	170	44.3%
	Ambos	16	179	24	46	5	30	0	36	13	0	1	6	0	28	0	0	0	0	0	384	100.0%
Domingo	Dv. Yauyos-Roncha	3	81	11	18	1	5	1	8	1	0	0	3	1	19	0	0	0	0	0	152	57.8%
	Roncha-Dv. Yauyos	1	71	5	18	3	0	0	7	1	0	0	1	0	6	0	0	0	0	0	111	42.2%
	Ambos	4	152	16	34	4	5	1	15	2	0	0	4	1	25	0	0	0	0	0	263	100.0%
Lunes	Dv. Yauyos-Roncha	3	90	13	14	1	5	0	13	1	0	0	6	0	20	0	0	0	0	0	166	53.4%
	Roncha-Dv. Yauyos	3	84	6	10	2	2	0	18	6	0	1	3	3	7	0	0	0	0	0	145	46.6%
	Ambos	6	174	19	24	3	7	0	31	7	0	1	9	3	27	0	0	0	0	0	311	100.0%

Fuente: Elaboración Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/a)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayer				C 7 Ejes	TOTAL	%
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
IMD	Dv. Yauyos-Roncha	5	89	17	19	3	4	0	19	3	0	0	6	0	19	0	0	0	0	0	184	53%
	Roncha-Dv. Yauyos	4	88	14	18	2	4	0	18	4	0	1	2	1	7	0	0	0	0	0	163	47%
	Ambos	9	177	31	37	5	8	0	37	7	0	1	8	1	26	0	0	0	0	0	347	100%

Fuente: "CGC – Estudio de Tráfico 2008"

Según el documento del estudio del CGC - "Estudio de Tráfico 2008"; para el cálculo de los factores de equivalencia de cargas, se ha tomado como referencia los definidos en el "Thickness Desing Asphalt Pavements for Highways & Streets" MS-1 del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos; sin embargo teniendo en consideración que las sobrecargas actuales en camiones acoplados son muy altas, en especial si el producto transportado proviene de la actividad minera, se estableció como medida de precaución en el diseño de la estructura del pavimento las sobrecargas indicadas en el siguiente cuadro:

Cuadro 6-7: Peso por Eje Según Reglamento MTC y Asumido por el Consultor

ÍTEM	Eje Delantero	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Tridem
Reglamento	7000	11000	18000	25000
Peso-Sobrecarga estimada	6000	8000	23400	35000
Sobrecarga aplicada	0%	0%	30%	30%

Fuente: CGC "Estudio de Tráfico 2008"

Aplicando a cada tipo de vehículo (ómnibus y camiones), las fórmulas correspondientes al Factor de Carga (Fc), se obtienen los factores destructivos indicados en el cuadro siguiente:

Cuadro 6-8: Factores de Deterioro

TIPO VEHÍCULO	Factor de Carga
Ómnibus 2 Ejes	4.24
Camión 2 Ejes	4.24
Camión 3 ejes	2.57
Semitraylers	6.3

Fuente: CGC "Estudio de Tráfico 2008"

A continuación tenemos el volumen vehicular asignado para el cálculo del EAL para un periodo de diseño de 5 años.

Cuadro 6-9: Volumen Vehicular Asignado Para el Cálculo de EAL

TRAMO	Autos – Camionet	C.Rural+ Micros	Omnib 2 Ejes	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	Semitrayler				TOTAL PESADO
						2S1/ 2S2	2S3	3S1/ 3S2	3S3	
Ronchas - San Jose de Quero	217	42	8	37	7	1	8	1	26	88
San José de Quero - Alis	43	17	8	9	7	1	4	1	14	44
Alis - Dv. Yauyos	21	4	8	9	11	0	0	0	0	28

Fuente: CGC – "Estudio de Tráfico 2008"

Estimación del EAL:

El análisis de tráfico recomendado permite determinar el número de aplicaciones de cargas equivalentes a un eje simple de 18,000 lb (80 KN) (EAL), a ser usado en la determinación de los espesores del pavimento. La siguiente terminología es utilizada:

Factor Camión.- Es el número de aplicaciones equivalentes a una carga por eje simple de 80 KN (18,000 lb) en una pasada de un vehículo dado.

Factor de Equivalencia de Carga.- Es el número de aplicaciones equivalentes a una carga por eje simple de 80 KN (18,000 lb) en una pasada de un eje dado.

Número de Vehículos.- Es el número total de vehículos considerados.

El EAL se calcula multiplicando, el número de vehículos en cada clase de peso, por el Factor Camión apropiado y sumando los productos.

Al volumen vehicular del Cuadro 6-9, se le aplican las tasas promedio de crecimiento de 3.6% anual y los factores de deterioro indicados en el Cuadro 6-8, obteniendo los EAL de cada tramo, para un periodo de diseño de 5 años

Cuadro 6-10: Resumen de EAL proyección para 5 años

TRAMO	EAL 2009 - 2013
Ronchas - San José de Quero	4.8 E+05
San José de Quero - Alis	2.4 E+05
Alis-Dv. Yauyos-Zúñiga	8.4 E+04

Fuente: CGC – “Estudio de Tráfico 2008”

6.2.3 Periodo de diseño

Es la hipótesis de duración del diseño. Es necesaria para realizar el análisis económico y el cálculo del tránsito de diseño. Algunos métodos anteriores al ensayo vial de la AASHTO no tenían un periodo de diseño de forma explícita.

Actualmente las entidades (AASHTO, 1993) recomiendan vidas de diseño entre 15 y 20 años, aunque aconsejan considerar estrategias de largo plazo para un análisis con base en el costo del ciclo de vida. Conviene hacer distinción entre la vida de diseño del pavimento (periodo de análisis) y el periodo de comportamiento del pavimento

(tiempo transcurrido desde que se da al servicio hasta que alcanza un nivel de servicio inadecuado), porque la experiencia indica que de forma general un pavimento requiere una acción principal de rehabilitación o refuerzo a los 10 años de estar en servicio.

Las vías urbanas requieren periodos de análisis mayores que las rurales. Pero se debe tener especial consideración para vías donde el volumen de tránsito no es considerable, un periodo de diseño de 10 años sería muy extenso más aún si no se considera el mantenimiento rutinario después de la construcción, por lo que se sugiere utilizar un periodo más real como de 5 años, considerando también la rapidez de crecimiento en el desarrollo económico de la región.

6.3 DETERMINACIÓN DE ESPESORES

Para efectos del diseño de espesores se ha analizado la metodología de:

- Diseño AASHTO 1993

6.3.1 MÉTODO DE LA GUÍA AASHTO 1993 PARA BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

1. Requerimientos de diseño

Restricción del Tiempo:

- Periodo de Análisis Seleccionado: 05 años
- Periodo de performance (Vida de servicio): 05 años

Se considera la construcción del pavimento flexible en una sola etapa.

2. Tráfico

Basado en el Índice Medio Anual (IMDa) y la información de cargas según el Reglamento de Peso y Dimensión Vehicular para la circulación en la Red Vial Nacional (D.S. N° 013-98-MTC), tenemos el ESAL para el periodo de diseño de 5 años de servicio.

Según el Cuadro 6-10 para el Tramo:

- Ronchas - San José de Quero: $4.8 \text{ E}+05$ ó $0.48 \text{ E}+06$

3. Estimación de la Confiabilidad

En comparación con el diseño de pavimentos convencionales, para pavimentos para bajo volumen de tránsito, la principal diferencia está en el nivel de confiabilidad que se puede usar. Debido relativamente al

bajo uso y al bajo nivel de riesgo asociado con los caminos de bajo volumen de tránsito, el nivel de confiabilidad recomendado es de 50%. Pudiendo el proyectista seleccionar un mayor nivel, acotado entre 60% y 80%, de acuerdo a la factibilidad de una rehabilitación, a la importancia de un corredor, al nivel proyectado del tránsito, etc.

Por lo tanto se consideró para el tramo:

El nivel de Confiabilidad = 75%

y la Desviación Estándar Normal será de -0.674

4. Estimación de la Desviación Standard Total (So)

El conjunto total de las desviaciones estándar (So), se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimentos flexibles : 0.40 – 0.50

En construcción nueva : 0.35 – 0.40

En sobre-capas : 0.50

Por lo tanto la Desviación Estándar Total será:

$$So = 0.45$$

5. Estimación de la Serviciabilidad

La Serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de Serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la Serviciabilidad inicial y la Serviciabilidad final; la inicial (Po) es función directa del diseño de la estructura del pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal (Pt) va en función de la categoría del camión y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador; los valores que se recomiendan son:

Serviciabilidad inicial:

Po=4.5 para pavimentos rígidos

Po=4.2 para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

Pt=2.5 ó más para caminos principales

Pt=2.0 para caminos de tránsito menor

Por lo tanto los valores que adoptaremos para efectos del diseño serán:

$$P_o=4.0$$

$$P_t=2.0$$

Entonces la pérdida de serviciabilidad es:

$$\Delta PSI = 4.0 - 2.0 = 2.0$$

6. Estimación del Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)

En las cartas de diseño se utiliza el módulo resiliente de la subrasante, determinado en laboratorio de acuerdo al procedimiento que indica el Asphalt Institute (M.S.-10). Ante la carencia de los equipos requeridos para la determinación del módulo, se propone el uso de la conocida correlación con el CBR:

$$Mr \text{ (psi)} = 1500 \times \text{CBR}$$

Dónde:

$Mr = 1500 \times \text{CBR}$ para CBR \square 10% sugerida por AASHTO.

$Mr = 3000 \times \text{CBR}^{0.65}$ para CBR de 7.2% a 20% esta ecuación fue desarrollada en Sudáfrica.

$Mr = 4326 \times \ln \text{CBR} + 241$ utilizada para suelos granulares por la propia guía AASHTO.

Entonces:

Para el caso de la subrasante considerando CBR= 11%, obtenido de los ensayos en el laboratorio con el mejoramiento de cal al 6% en peso del tramo en estudio, tendremos:

$$Mr = 14257 \text{ psi } \text{ ó } 14.3 \text{ ksi}$$

7. Cálculo del Número Estructural

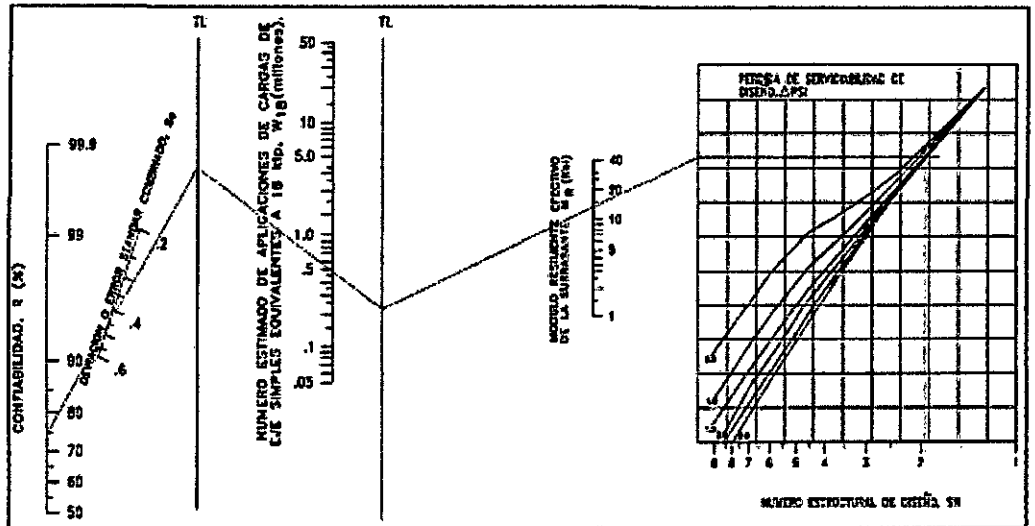
El cálculo se hace según la siguiente expresión:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log (\text{SN}+1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \times \log M_R - 8.07$$

$$0.40 + \frac{0.40}{(\text{SN}+1)^{5.19}}$$

También podemos considerar la carta de diseño de AASHTO 1993.

Gráfico 6-3: Ábaco para el cálculo del Número Estructural



De donde se obtiene lo siguiente:

El Número Estructural (SN): 1.98

La expresión que relaciona el número estructural con los espesores de capa es:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_1 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_2 \cdot D_3$$

Dónde:

$a_1; a_2; a_3$ = Coeficientes estructurales o de capas de la superficie de rodadura, base y sub-base respectivamente.

$m_1; m_2$ = Coeficientes de drenaje para base y sub-base

$D_1; D_2; D_3$ = Espesores de capa en pulgada para la superficie de rodadura, base y sub-base

8. Cálculo de espesores de las capas del pavimento

a) Cálculo del espesor de la subrasante mejorada:

Para la capa de la subrasante se tiene las siguientes consideraciones, según el manual de diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito; La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado o estabilización con cemento, cal o aditivos químicos) o podrá ser una nueva capa construida sobre la subrasante existente.

En general, se recomienda que cuando se presenten subrasantes clasificadas como muy pobre y pobre ($CBR < 6\%$), se proceda a eliminar el material inadecuado y a colocar un material granular de reemplazo con CBR mayor a 10% e IP menor a 10 ; con lo cual se permite el uso de una amplia gama de materiales naturales locales de bajo costo, que cumplan la condición. La función principal de esta capa mejorada será dar resistencia a la estructura del pavimento. Por ello se consideró CBR igual al 11% para el cálculo del Módulo Resiliente.

El espesor de una capa de subrasante mejorada no debe ser menor del espesor determinado mediante el método que a continuación se describe:

- i. El número estructural según AASHTO está dado por la ecuación:

$$SN_o = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

- ii. Se añade a la ecuación SN , la capa subrasante mejorada expresada en términos de $a_4 \times D_4 \times m_4$, donde:

a_4 : Coeficiente estructural de la capa de subrasante mejorada, se recomiendan los siguientes valores:

- $a_4 = 0.024$, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR $6 - 10\%$.
- $a_4 = 0.030$, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR $11 - 19\%$.
- $a_4 = 0.037$, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con $CBR \geq 20\%$.
- $a_4 = 0.035$, para mejorar la subrasante muy pobre y pobre a una subrasante regular, con la adición mínima de 3% de cal en peso de los suelos.

D_4 : Espesor de la capa de subrasante mejorada (cm).

m_4 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 4, según el cuadro 6-4 se determina el valor de m_4 .

Tabla 6-2: Coeficiente de drenaje

Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos de 1 %	1 - 5 %	5- 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Entonces la nueva ecuación será:

$$SN_r = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 + a_4 \times D_4 \times m_4$$

o

$$SN_r = SN_0 + a_4 \times D_4 \times m_4$$

Esta ecuación se puede reducir a la siguiente expresión:

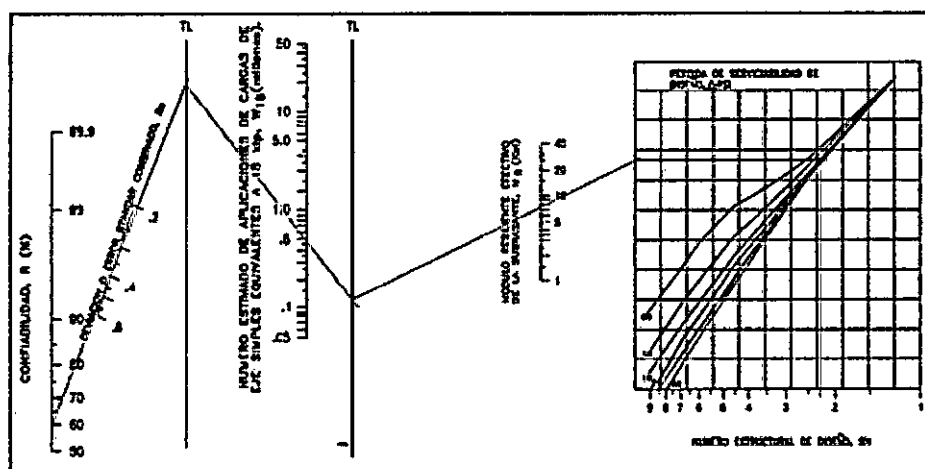
$$D_4 = (SN_r - SN_0) / (a_4 \times m_4)$$

Dónde:

SNr = Número estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena, según se requiera mejorar.

SNo = Número estructural del pavimento con subrasante muy pobre o pobre.

- iii. Del cálculo del número estructural $SN_r = 1.98$; ahora el valor de SNo que corresponde con la subrasante en malas condiciones con un CBR inicial de 5.0%. Por lo que el número estructural para esas condiciones es:



El valor según la gráfica de $SN_0 = 2.38$

Considerando también los valores de:

$$a_4 = 0.035 \text{ y } m_4 = 0.90$$

Entonces el valor del espesor será:

$$D_4 = 12.70 \text{ cm} \cong 15 \text{ cm (Considerar para el presupuesto)}$$

b) Cálculo de las capas sub-base y base:

Como la propuesta de la superficie de rodadura o capa de rodadura incluye un tratamiento superficial bien monocapa o bicapa, no se debe considerar aporte estructural de esta capa; pero tiene un gran efecto en la base y la sub-base ya que impermeabiliza la superficie y no permite el ingreso de agua a la estructura del pavimento.

Por lo que podemos deducir el valor del coeficiente $a_1 = 0$

Para el cálculo de espesores de las demás capas tendremos dos alternativas; para la base estabilizada con emulsión asfáltica o cemento y la subrasante mejorada con cal para ambas alternativas.

Cuadro 6-11: Características de las alternativas consideradas

ALTERNATIVA				PROPIEDADES FÍSICAS		
CAPA	N°	DESCRIPCIÓN	% EN PESO	CBR (95% MDS)	RESITENCIA COMP. SIMPLE (kg/cm2)	Mr (psi)
Base	1	Estabilizado con emulsión asfáltica	5.5%	60.0%	-	17953
	2	Estabilizado con cemento	4.0%	-	22 kg/cm2	-
Sub-Base	Único	Cantera km 234+700	-	31.50%	-	15166
Subrasante	Único	Estabilizado con cal	6%	11.0%	-	14257

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto para el cálculo de los espesores tendremos:

ALTERNATIVA 1: (BASE ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA AL 5.5%)

La ecuación del número estructural:

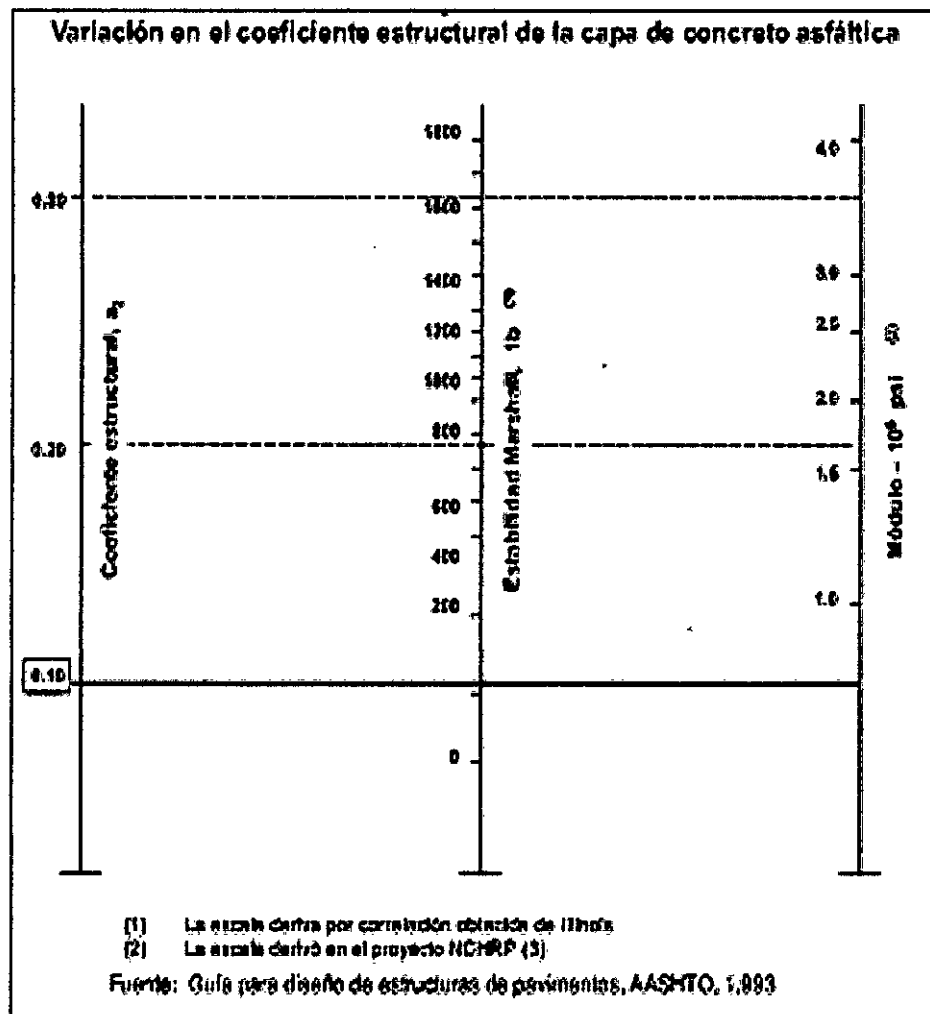
$$SN = 1.95 = a_2 * m_1 * D_2 + a_3 * m_2 * D_3 \dots \dots \dots (I)$$

• **Coefficiente estructural para la BASE**

De la figura 7.4, ingresamos el valor del Módulo equivalente para CBR = 60%, $M_r = 17953 \text{ Lb/pg}^2 \cdot 0.18 \cdot 10^5 \text{ psi}$, tendremos:

$$a_2 = 0.10$$

Figura 6-1: Variación de a_2 en Bases Tratadas con Asfalto para Diferentes Parámetros de Resistencia de la Base



• **Coefficiente de Drenaje para Pavimentos flexibles**

La calidad de drenaje es expresado en la fórmula del número estructural, por medio del coeficiente de drenaje (mx), que toma en cuenta las capas no ligadas.

Tabla 6-3: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (mx)

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

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

Para el caso del material de la base mejorada con emulsión asfáltica, tendremos un coeficiente drenaje, considerando la calidad de drenaje como bueno y un porcentaje entre 5%-25% en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad, por lo tanto:

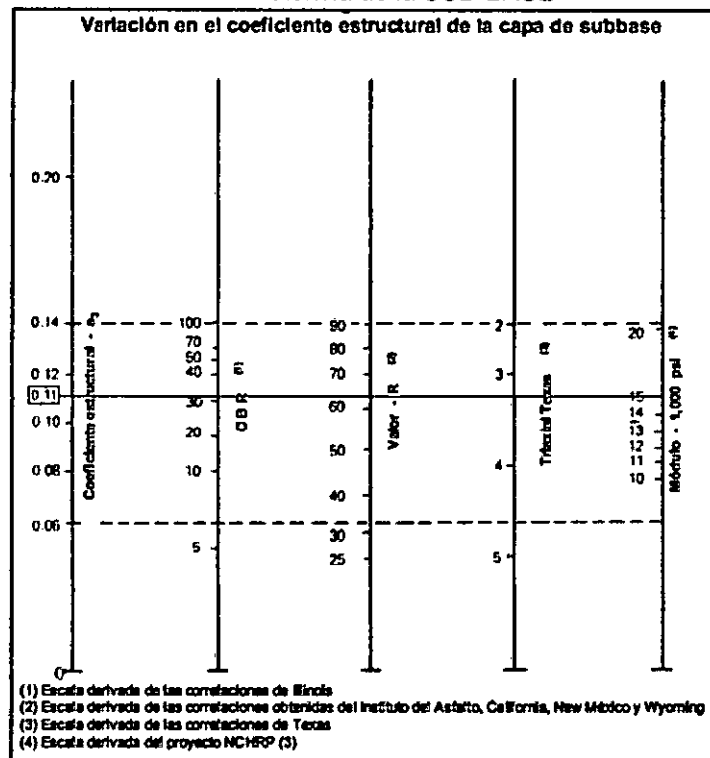
$$m1 = 1.15$$

• **Coefficiente estructural para la SUB-BASE**

De la figura 6-2 tendremos ingresando el valor del $M_r = 15166$ Lb/pg²

$$a_3 = 0.11$$

Figura 6-2: Variación del Coeficiente a_3 con Diferentes Parámetros de Resistencia de la SUB-BASE



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Para el caso de la Sub-Base, el coeficiente de drenaje se consideró; la calidad de drenaje regular por considerarse el material como no tratado, y un porcentaje de exposición a la humedad igual que la base de 5% - 25%, por lo tanto de la tabla 6-2 tendremos:

$$m_2 = 1.00$$

Entonces reemplazamos los valores calculados en la ecuación (I)

$$SN = 1.98 = a_2 * m_1 * D_2 + a_3 * m_2 * D_3 \dots \dots \dots (I)$$

Tendremos:

$$- 1.98 = 0.10 * 1.15 * D_2 + 0.11 * 1.00 * D_3$$

$$- 1.98 = 0.115 * D_2 + 0.11 * D_3$$

$$- 1 = 0.058 * D_2 + 0.056 * D_3$$

Haciendo iteraciones entre diferentes valores para D_2 y D_3 los que dan una mejor solución a la ecuación son los valores tomados:

$D_2 = 6.0''$ y $D_3 = 11.5''$, pero para los espesores finales adoptaremos los siguientes valores:

$$D_2 = 6'' \cong 15 \text{ cm (Espesor de la base mejorada con EA)}$$

$$D_3 = 11.5'' \cong 30 \text{ cm (Espesor de la Sub - Base)}$$

ALTERNATIVA 2: (BASE ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND AL 4%)

La ecuación del número estructural:

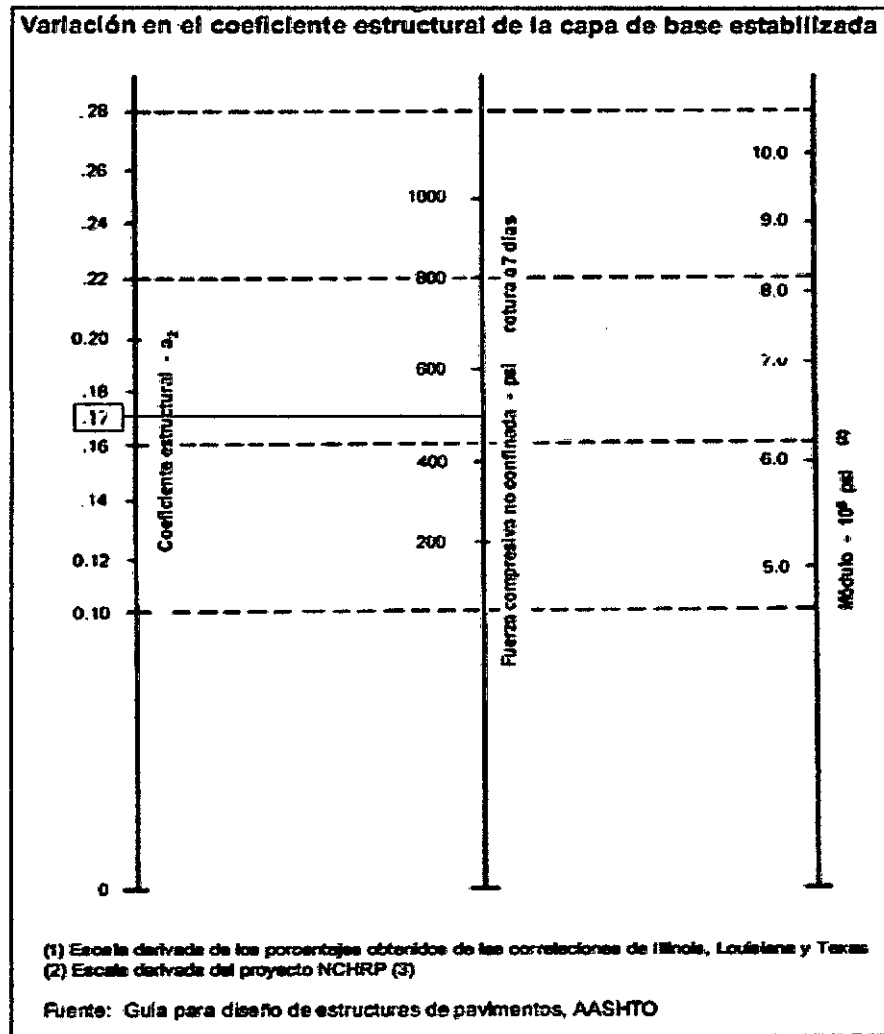
$$SN = 1.98 = a_2 * m_1 * D_2 + a_3 * m_2 * D_3 \dots \dots \dots (I)$$

• Coeficiente estructural para la BASE

De la figura 6-3, ingresamos el valor de la fuerza de compresión no confinada a los 7 días de rotura, igual a 35.15 kg/cm², valor equivalente a 502.14 psi, y tendremos:

$$a_2 = 0.17$$

Figura 6-3: Variación de a_2 en Bases Tratadas con CEMENTO para Diferentes Parámetros de Resistencia de la Base



- **Coefficiente de Drenaje para Pavimentos flexibles**

De acuerdo a la Tabla 6-2: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (m_x), para el caso del material de la base mejorada con Cemento Portland tendremos un coeficiente de drenaje, considerando la calidad de drenaje como bueno y un porcentaje entre 5%-25% en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad, por lo tanto:

$$m_1 = 1.15$$

- **Coefficiente estructural para la SUB-BASE**

Se consideró el mismo valor tomado anteriormente en la alternativa 1:

$$a_3 = 0.11$$

De igual modo para el coeficiente de drenaje tendremos:

$$m_2 = 1.00$$

Entonces reemplazamos los valores calculados en la ecuación (I)

$$SN = 1.98 = a_2 \cdot m_1 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_2 \cdot D_3 \dots \dots \dots (I)$$

Tendremos:

- $1.98 = 0.17 \cdot 1.15 \cdot D_2 + 0.11 \cdot 1.0 \cdot D_3$
- $1.98 = 0.196 \cdot D_2 + 0.11 \cdot D_3$
- $1 = 0.099 \cdot D_2 + 0.056 \cdot D_3$

Haciendo iteraciones entre diferentes valores para D_2 y D_3 , los que dan una mejor solución a la ecuación son los valores tomados:

$D_2 = 5.8''$ y $D_3 = 7.8''$, pero para los espesores finales adoptaremos los siguientes valores:

$D_2 = 6'' \equiv 15 \text{ cm}$ (Espesor de la base mejorada)

$D_3 = 8'' \equiv 20 \text{ cm}$ (Espesor de la Sub – Base)

EN RESUMEN TENDREMOS EL SIGUIENTE CUADRO:

Cuadro 6-12: Resumen de resultados para las alternativas 1 y 2

ALTERNATIVA			ESPESORES (cm)		
CAPA	Nº	DESCRIPCIÓN	BASE	SUB-BASE	SUBRASANTE
BASE	1	Estabilizado con emulsión asfáltica (5.5%)	15.0	30.0	15.0
	2	Estabilizado con Cemento Portland (4%)	15.0	20.0	15.0

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS APLICACIONES CON ESTABILIZADORES

7.1. GENERALIDADES

Para satisfacer sus necesidades el ser humano tiene que producir ciertos Bienes y Servicios, el conjunto de actividades que debemos realizar necesariamente para producir estos Bienes y Servicios, constituyen lo que denominamos un Proceso Productivo, dentro de esto podemos considerar las carreteras como Bienes y Servicios obtenidos en un Proceso Productivo, los medios o recursos empleados se conocen como Insumos y pueden ser como: mano de obra (energía humana), equipos o maquinarias, materiales en general, dirección técnica, dinero, etc.

Las carreteras son bienes que el estado con gran esfuerzo trata de ponerlos en buen estado; para mejorar la calidad de vida por medio del comercio, la comunicación que esta puede generar. Para ellos es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos que nos ayudarán entender mejor los elementos que conlleva hacer un proyecto y en particular una carretera:

Costo: En un Proceso Productivo, costo para el constructor (empresario) es la suma de todos los importes o desembolsos relacionados a la compra de los insumos que demandan la construcción o producción de un determinado bien o servicio. También se puede definir como la cantidad de dinero que se paga por producir o construir un bien determinado.

Precio: Desde el punto de vista del constructor es el monto que se pide por el bien al ofrecerlo a la venta en el mercado y que está en relación al costo de producción, es decir el monto que representa al costo del bien al que se le añade la utilidad o beneficio para ofertarlo al mercado.

$$\text{Precio} = \text{Costo} + \text{Utilidad}$$

Presupuesto o Costo Previsto: Es la cuantificación anticipada del costo que se estima va a demandar la producción de un determinado bien o servicio. También se dice que es el valor estimado más cercano, con el objetivo de predecir el gasto de producción de un bien. Esta estimación constituye un

VALOR PROBABLE. Permite conocer resultados anticipadamente, debe estar formulado en cuadros o documentos para visualizar su estructura y contenido.

Control de Costo: Los costos reales de una obra, los cuales se obtienen como resultado del proceso de ejecución o construcción debe controlarse; es decir debe compararse permanentemente con el Costo Previsto o Presupuesto, procedimiento que constituye el denominado "Control de Costos", es decir:

- Si $\frac{\text{Costo Real}}{\text{Presupuesto}} = 1$ (La obra está bien proyectada)
- Si $\frac{\text{Costo Real}}{\text{Presupuesto}}$ menor a 1 (La obra está sobrevaluada)
- Si $\frac{\text{Costo Real}}{\text{Presupuesto}}$ mayor a 1 (Debe evitarse, que sirva de experiencia)

Características de un presupuesto:

- ✓ **Es Aproximado.**- Existen procesos constructivos que no son iguales, interviene la habilidad de la mano de obra. Existen diversos criterios para el uso de los insumos y en general se presenta muchos factores que se pueden resolver de diferentes formas.
- ✓ **Es Específico.**- Todo bien o servicio tiene sus propias condiciones de calidad, costo y tiempo. Estas condiciones están relacionadas entre sí y no pueden ser genéricas.
- ✓ **Es Dinámico.**- Se presenta constantemente nuevos conocimientos y procesos para el mejoramiento y optimización de los factores de la producción: materiales, procesos, nuevas técnicas de programación, efectos de la inflación, etc.
- ✓ **Existe Precedencia y Procedencia.**- El costo de un componente o producto está precedido de costos anteriores y a su vez es integrante de costos posteriores.

Presupuesto de Obra: El Presupuesto de Obra es denominado también definitivo, es decir el grado de aproximación y exactitud es suficientemente detallado y el necesario para la correcta ejecución posterior de la obra.

El Presupuesto de Obra no solamente contiene el monto total, sino muestra la estructura general de la obra de manera objetiva, subdividida convenientemente en partidas debidamente agrupadas, ordenadas y codificadas.

La elaboración del Presupuesto de Obra considera lo siguiente:

- **Metrados** - Se obtiene de los Planos
 - Uso de Reglamentos
 - Uso de Formatos
 - Ordenamiento y Nomenclatura
- **Análisis de Costos Unitarios Directos:**
 - Se obtiene de las Especificaciones Técnicas
 - Determinación del Costo de los Materiales
 - Determinación del Costo de la Mano de Obra
 - Determinación del Costo de los Equipos y Herramientas
- **Análisis de los Costos Indirectos:**
 - Esta en relación a la empresa constructora
 - Gastos Generales y Administrativos
 - Dirección Técnica
 - Utilidades
 - Impuestos

7.2 OBJETIVOS

En este capítulo se trata de simular rendimientos con recursos como: equipos, herramientas manuales, insumos y humanos, para poder determinar los Costos Directos referenciales con relación a las alternativas de solución que se han tratado de explicar en los capítulos anteriores, donde se ha considerado la subrasante mejorada con cal para los dos casos que se diferencian en la capa de la base siendo uno de ellos la estabilización con emulsión asfáltica y el otro con Cemento Portland, para cada uno de ellos se tratará de hacer cálculos referenciales de tal manera que puedan dar una idea para proyectos de pequeña y mediana envergadura.

7.3 COSTOS DIRECTOS

Los Costos Directos son aquellos que se pueden integrar, de una manera directa a una determinada actividad o partida específica de un proyecto. En este caso, el costo de los insumos que componen la respectiva partida, se puede evaluar y cuantificar con relativa facilidad y suficiente aproximación.

Los Costos Directos de una obra están constituidos básicamente por los que corresponden a los insumos de materiales, de la mano de obra y de los equipos y herramientas.

El Costo Directo Total es la integración de todos los costos directos de las diversas partidas del proyecto. La manera usual y práctica de estimar es efectuando el cálculo de los Metrados y estimar los Costos Unitarios de cada una de las partidas.

$$\text{Es decir: } CD = \sum_{j=i}^n (\text{Metrado})_j \times (\text{Costo Unitario})_j$$

7.3.1 Costos Unitarios

Es el importe o gasto que demanda producir una unidad, de una determinada partida o actividad específica.

Costo Unitario Directo.- Corresponde al que representa solamente a los insumos de materiales de mano obra, de los equipos y herramientas de la partida o actividad, sin considerar el otro tipo de costos que son: Los Gastos Generales y Administrativas, la Dirección Técnica, Utilidades e Impuestos.

Los Costos Directos Unitarios se pueden determinar mediante dos criterios:

- Determinar el Costo Directo Total (CD) y la producción (Q): $Cd = \frac{CD}{Q}$
- Efectuando un estudio o análisis de los componentes del costo de cada partida.

Para el caso de la investigación, los Costos Unitarios Directos se realizan utilizando el segundo criterio, es decir mediante un estudio que se denomina: "Análisis del Costo". En dicho análisis se considera los costos de todos los insumos que componen cada partida, proceso que constituye lo que conocemos como los "Análisis de Costos Unitarios".

7.3.2 Análisis de Costos Unitarios

Como ya se mencionó anteriormente los análisis se hacen en función a todo los recursos que intervienen en cada partida o actividad. En algunos casos, los análisis son relativamente sencillos y pueden estimarse con relativa facilidad a diferencia de otros casos que demanda mayor esfuerzo, como por ejemplo la reparación de estructuras de concreto

armado en una edificación. Asimismo, los Análisis de Costos Unitarios pueden tener diversos grados de aproximación, además de ser aproximado, es un proceso dinámico y a la vez específico para cada partida del proyecto en particular.

Componentes de los Costos Unitarios.- Generalmente se presenta, claramente establecidos, 3 componentes básicos en cada análisis:

- a) Costo de los insumos de los Materiales : Cm
- b) Costo de los insumos de Mano de Obra : Cj
- c) Costo de los insumos de Equipo y Herramientas : Ce

7.3.3 Análisis de Costos Unitarios Aplicado a las Alternativas de Solución

A continuación se hace el Análisis de Costos Unitarios para las partidas más importantes que involucra el desarrollo del tema de la investigación, siendo estos la estabilización de la subrasante con la adición de cal hidratada al 6% en peso, para la sub-base se considera el material de la cantera sin mejoramiento para ambos casos, y para la base se tiene dos opciones; base estabilizado con emulsión asfáltica al 5.5% en peso o con Cemento Portland al 4% en peso. Para el análisis se ha considerado el ancho de la vía promedio de 4.5 metros y 1 km de camino equivalente a 4500 m² de camino. Descripción de las alternativas con las partidas consideradas para cada uno:

a) ALTERNATIVA 1: SUBRASANTE MEJORADO CON CAL, SUB-BASE CON MATERIAL DE CANTERA Y BASE MEJORADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.

PRESUPUESTO

Presup. **ESTUDIO COMPARATIVO DEL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE Y BASE EN LA CARRETERA CAÑETE-CHUPACA, TRAMO: Km 220+000 - Km 240+000**

Ciente **MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES**

Lugar **SAN JOSÉ DE QUERO - CONCEPCIÓN - JUNÍN**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
01	OBRAS PRELIMINARES				54,360.0
01.01	LIMPIEZA DEL TERRENO CON EQUIPO	m2	4,500.0	0.60	2,700.0
01.02	ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CAL, E=15 CM	m2	4,500.0	11.48	51,660.0
02	CONFORMACIÓN DE CAPAS DEL PAVIMENTO				
02.01	CASO I: ESTABILIZACIÓN DE LA BASE CON EMULSIÓN ASFÁLTICA				183,105.0
02.01.01	COFORMACIÓN DE LA SUBRASANTE E=30 CM, MATERIAL DE CANTERA	m2	4,500.0	12.29	55,305.0
02.01.02	ESTABILIZACIÓN DE BASE CON ADICIÓN DE EA AL 5.5%, E=15 CM	m2	4,500.0	28.40	127,800.0
03	SUPERFICIE DE RODADURA				53,550.0
03.01	IMPRIMACION ASFALTICA (SUB CONTRATO)	m2	4,500.0	3.20	14,400.0
03.02	TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA E=4 CM (SUB-CONTRATO)	m2	4,500.0	8.70	39,150.0
				COSTO - DIRECTO =	291,015.0

b) ALTERNATIVA 2: SUBRASANTE MEJORADO CON CAL, SUB-BASE CON MATERIAL DE CANTERA Y BASE MEJORADO CON CEMENTO PORTLAND.

PRESUPUESTO

Presup. **ESTUDIO COMPARATIVO DEL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE Y BASE EN LA CARRETERA CAÑETE-CHUPACA, TRAMO Km 220+000 - Km 240+000**

Cliente **MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES**

Lugar **SAN JOSÉ DE QUERO - CONCEPCIÓN - JUNÍN**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				54,360.0
01.01	LIMPIEZA DEL TERRENO CON EQUIPO	m2	4,500.00	0.60	2,700.0
01.02	ESTABILIZACIÓN DE SUB-RASANTE CON ADICIÓN DE CAL, E=15 CM	m2	4,500.00	11.48	51,660.0
02	CONFORMACIÓN DE CAPAS DEL PAVIMENTO				
02.01	CASO II: ESTABILIZACIÓN DE LA BASE CON CEMENTO PORTLAND				100,080.0
02.01.01	CONFORMACION DE LA SUB-BASE E=20, MATERIAL DE CANTERA	m2	4,500.00	11.28	50,760.0
02.01.02	ESTABILIZACIÓN DE BASE CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND AL 4% EN PESO, E=15 CM	m2	4,500.00	10.96	49,320.0
03	SUPERFICIE DE RODADURA				53,550.0
03.01	IMPRIMACION ASFALTICA (SUB-CONTRATO)	m2	4,500.00	3.20	14,400.0
03.02	TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA E=4 CM (SUB-CONTRATO)	m2	4,500.00	8.70	39,150.0
COSTO - DIRECTO =					207,990.0

Ahora tenemos el análisis detallado de cada una de las partidas consideradas para el cálculo del COSTO DIRECTO de lo ya mencionado:

1. OBRAS PRELIMINARES

Partida	LIMPIEZA DEL TERRENO CON EQUIPO					
REND. m2/DIA	4,000.0	EQ.	4,000.0	Costo unitario directo por : m2	0.60	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.50	0.0010	20.05	0.02	
PEON	hh	4.00	0.0080	15.26	0.12	
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hh	1.00	0.0020	19.88	0.04	
VIGÍAS	hh	2.00	0.0040	15.26	0.06	
					0.24	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.24	0.01	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0020	175.00	0.35	
					0.36	

Partida	ESTABILIZACIÓN DE SUB-RASANTE CON ADICIÓN DE CAL, E=15 CM					
REND. m2/DIA	1,100.0	EQ.	1,100.0	Costo unitario directo por : m2	11.48	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	1.00	0.0073	20.05	0.15	
PEON	hh	6.00	0.0436	15.26	0.67	
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hh	3.00	0.0218	19.88	0.43	
VIGÍAS	hh	2.00	0.0145	15.26	0.22	
CHOFER	hh	2.00	0.0145	19.88	0.29	
					1.76	
Materiales						
CAL HIDRATADA	kg		9.9000	0.50	4.95	
					4.95	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.76	0.05	
RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 5.5 - 20 ton	hm	1.00	0.0073	140.00	1.02	
RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-15	hm	1.00	0.0073	140.00	1.02	
MOTONIVELADORA	hm	1.00	0.0073	175.00	1.28	
CAMION CISTERNA 3000 gl (AGUA)	hm	1.00	0.0073	140.00	1.02	
CAMION BARANDA (4TN)	hm	1.00	0.0073	51.83	0.38	
					4.77	

2. CONFORMACIÓN DE CAPAS DEL PAVIMENTO

2.1 CASO I: Estabilización de la Base con Emulsión Asfáltica

Partida	02.01.01	COFORMACIÓN DE LA SUB-BASE E=30 CM, MATERIAL DE CANTERA				
REND.	m2/DIA	2,800.0	EQ.	2,800.0	Costo unitario directo por : m2	12.29
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.00	0.0029	20.05	0.06
PEON		hh	6.00	0.0171	15.26	0.26
OPERADOR DE EQUIPO PESADO		hh	5.00	0.0143	19.88	0.28
VIGÍAS		hh	2.00	0.0057	15.26	0.09
CHOFER		hh	1.00	0.0029	19.88	0.06
						0.75
Materiales						
MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE		m3		0.3000	30.00	9.00
						9.00
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.75	0.02
RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-15		hm	1.00	0.0029	140.00	0.41
MOTONIVELADORA		hm	1.00	0.0029	175.00	0.51
CAMION VOLQUETE DE 15 m3		hm	3.00	0.0086	138.00	1.19
CAMION CISTERNA 3000 gl (AGUA)		hm	1.00	0.0029	140.00	0.41
						2.54
Partida	02.01.02	ESTABILIZACIÓN DE BASE CON ADICIÓN DE EA AL 5.5%, E=15 CM				
REND.	m2/DIA	3,500.0	EQ.	3,500.0	Costo unitario directo por : m2	28.40
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.00	0.0023	20.05	0.05
PEON		hh	4.00	0.0091	15.26	0.14
OPERADOR DE EQUIPO PESADO		hh	2.00	0.0046	19.88	0.09
VIGÍAS		hh	2.00	0.0046	15.26	0.07
CHOFER		hh	1.00	0.0023	19.88	0.05
						0.40
Materiales						
EMULSION ASFALTICA		gal		3.3000	6.80	22.44
MATERIAL GRANULAR PARA BASE		m3		0.1500	30.00	4.50
						26.94
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.40	0.01
RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-15		hm	1.00	0.0023	140.00	0.32
MOTONIVELADORA		hm	1.00	0.0023	175.00	0.40
CISTERNA EMULSION Y AGUA 3540 gl 178-2		hm	1.00	0.0023	145.00	0.33
						1.06

2.2 CASO II: Estabilización de la Base con Cemento Portland

Partida	02.02.01 CONFORMACION DE LA SUB-BASE E=20, MATERIAL DE CANTERA					
REND.	m2/DIA	4,000.0	EQ. 4,000.0	Costo unitario directo por : m2		11.28
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.00	0.0020	20.05	0.04
PEON		hh	6.00	0.0120	15.26	0.18
OPERADOR DE EQUIPO PESADO		hh	5.00	0.0100	19.88	0.20
VIGÍAS		hh	2.00	0.0040	15.26	0.06
CHOFER		hh	1.00	0.0020	19.88	0.04
						0.52
Materiales						
MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE		m3		0.3000	30.00	9.00
						9.00
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.52	0.02
RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-15		hm	1.00	0.0020	140.00	0.28
MOTONIVELADORA		hm	1.00	0.0020	175.00	0.35
CAMION VOLQUETE DE 15 m3		hm	3.00	0.0060	138.00	0.83
CAMION CISTERNA 3000 gl (AGUA)		hm	1.00	0.0020	140.00	0.28
						1.76
Partida	02.02.02 ESTABILIZACIÓN DE BASE CON ADICIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND AL 4% EN PESO, E=15 CM					
REND.	m2/DIA	2,100.0	EQ. 2,100.0	Costo unitario directo por : m2		10.96
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.00	0.0038	20.05	0.08
PEON		hh	6.00	0.0229	15.26	0.35
						0.43
Materiales						
MATERIAL GRANULAR PARA BASE		m3		0.1500	30.00	4.50
CEMENTO PORTLAND TIPO I ANDINO		bol		0.2200	19.50	4.29
						8.79
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.43	0.01
RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-15		hm	1.00	0.0038	140.00	0.53
MOTONIVELADORA		hm	1.00	0.0038	175.00	0.67
CAMION CISTERNA 3000 gl (AGUA)		hm	1.00	0.0038	140.00	0.53

3. SUPERFICIE DE RODADURA

Partida	03.01 IMPRIMACION ASFALTICA (SUB CONTRATO)						
REND.	m2/DIA	1.00	EQ.	1.00	Costo unitario directo por : m2		3.20
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Subpartidas							
SC IMPRIMACION ASFALTICA		m2		1.00	3.20	3.20	
						3.20	

Partida	03.02 TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA E=4 CM (SUB-CONTRATO)						
REND.	m2/DIA	1.00	EQ.	1.00	Costo unitario directo por : m2		8.70
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Subpartidas							
TS BICAPA E=4 CM		m2		1.00	8.70	8.70	

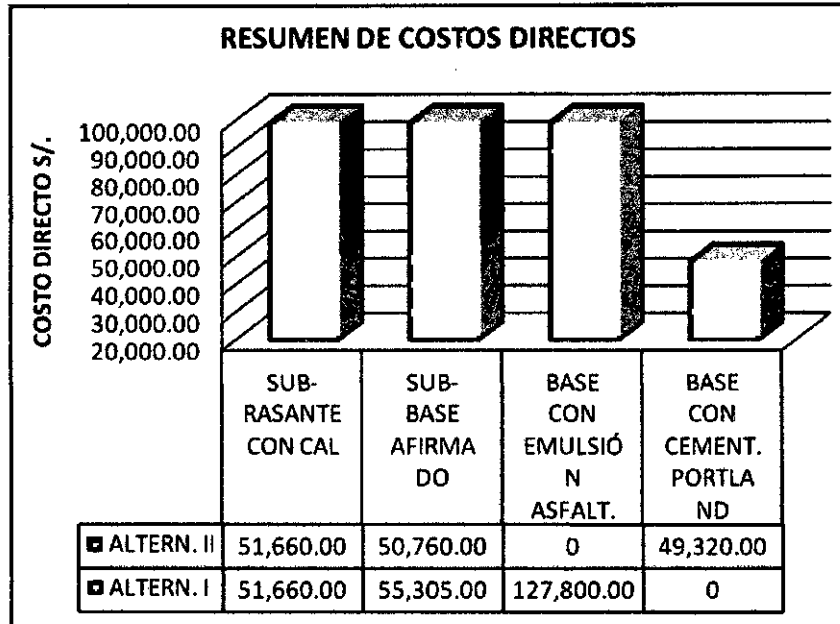
De acuerdo al análisis unitario presentado podemos tomar como referencia los siguientes costos directos para las actividades más importantes para investigación y hacer una comparación entre ellos.

Cuadro 7-1: Resumen de Costos Directos para las alternativas

N°	DESCRIPCIÓN	% EN PESO	ESPESOR (cm)	COSTO UNITARIO (m2)	COSTO S/. POR KM (4500 m2)	
					ALTERN. I	ALTERN. II
1	SUBRASANTE CON CAL	6	15	11.48	51,660.0	51,660.0
2	SUB-BASE AFIRMADO	-	20	11.28	-	50,760.0
3	SUB-BASE AFIRMADO	-	30	12.29	55,305.0	-
4	BASE CON EMULSIÓN ASFALT.	5.5	15	28.40	127,800.0	-
5	BASE CON CEMENT. PORTLAND	4.0	15	10.96	-	49,320.0
COSTO DIRECTO					234,765.0	151,740.0

Vale aclarar que este COSTO DIRECTO que se indica en el cuadro 7-1, no es el total ya que falta agregar los trabajos preliminares y el costo de la superficie de rodadura.

Gráfico 7-1: Resumen de Costos Directos Comparativos entre las Alternativas



Se observa del cuadro así como de la gráfica, que los costos para el caso de la estabilización de la base con el Cemento Portland son más económicos que utilizando la emulsión asfáltica.

7.4 PRESUPUESTO

De acuerdo al análisis presentado en el ítem anterior, se tomó en consideración el COSTO DIRECTO calculado para cada alternativa según el ítem 7.3.3 Análisis de Costos Unitarios Aplicado a las Alternativas de Solución.

Para el cálculo del PRESUPUESTO, se consideró los siguientes datos:

- G.G + UTILIDADES = 20% del COSTO DIRECTO
- SUB-TOTAL = COSTO DIRECTO + (G.G. + UTILIDADES)
- IGV = 18% del SUB-TOTAL
- PRESUPUESTO = SUB-TOTAL + IGV

En resumen tenemos el siguiente cuadro donde se indica el presupuesto para las dos alternativas consideradas:

Cuadro 7-2: Resumen del Presupuesto según las Alternativas

	ALTERNATIVA	
	I	II
COSTO DIRECTO	291,015.0	207,990.0
G.G. + UTILIDADES (20%)	58,203.0	41,598.0
SUB TOTAL	349,218.0	249,588.0
IGV (18%)	62,859.2	44,925.8
TOTAL	412,077.2	294,513.8

7.5 ANÁLISIS DE COSTOS

Después de analizar los Costos Unitarios de las partidas, y evaluar los Costos Directos que implica la ejecución de cada una de las alternativas podemos ver que para casos similares como la carretera de Cañete – Chupaca en el tramo del km 220 al 240 considerado como camino de bajo volumen de tránsito, la solución más óptima vendría ser la ALTERNATIVA II, que tiene las siguientes consideraciones:

- Subrasante estabilizado con CAL al 6% en peso
- Sub – Base con material de Cantera
- Base estabilizado con Cemento Portland al 4% en peso

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- 1) El suelo de la subrasante y el material seleccionado de cantera para la base, tienen una misma deficiencia la baja capacidad portante, no cumplen las exigencias de la norma peruana, por eso se propuso dos alternativas de solución; Ambas soluciones difieren en el tratamiento aplicado a la base, para la subrasante la propuesta es única estabilizarlo con cal y para la sub-base se utilizará el material de la cantera seleccionada sin mejoramiento, en el caso de la base se utilizará el estabilizante del Cemento Portland y la otra alternativa será con la emulsión asfáltica.

- 2) Como el material predominante en la subrasante es fino, según la granulometría presentada en el Anexo 01 (Ensayo granulometría subrasante) para simular la carga externa que afecta según el ensayo de Próctor, debe aplicarse para el mejor comportamiento la carga correspondiente al Próctor Estándar, cuando se aplica demasiada carga de compactación esta no permite la simulación del comportamiento real destructivo del suelo sometido a cargas externas.

- 3) Los contenidos óptimos de los agentes estabilizantes considerados según los parámetros utilizados se muestran a continuación:

ALTERNATIVA 1:

ALTERNATIVA 1		PARÁMETRO O CBR (95% de MDS)	REFERENCIA (NORMA)	PROCTOR al 95% M.D.S				ÓPTIMO CONT. (% en peso)
CAPA	ESTABILIZANTE			M	E	OCH (%)	MDS (gr/cm ³)	
Subrasante	CAL	11% Mín.	PERUANA		X	4.01	2.04	6.0
Sub-base	CANTERA	31.50%	PERUANA	X		5.46	2.25	-
Base	EMULSIÓN ASFÁLTICA	60% Mín.	PERUANA	X		8.23	2.29	5.5

Dónde:

M : Modificado
E : Estándar

ALTERNATIVA 2:

ALTERNATIVA 2		PARÁMETRO CBR (95% de MDS)	REFERENCIA (NORMA)	PROCTOR al 95% M.D.S				ÓPTIMO CONT. (% en peso)
CAPA	ESTABILIZANTE			M	E	OCH (%)	MDS (gr/cm ³)	
Subrasante	CAL	11% Mín.	PERUANA		X	4.01	2.04	6.0
Sub-base	CANTERA	31.50%	PERUANA	X		5.46	2.25	-
Base	CEMENTO PORTLAND	22 kg/cm ² Mín.	ACI 230.1 R	X		8.23	2.29	4.0

Dónde:

M : Modificado

E : Estándar

- 4) Respecto al suelo cal, recomiendan la aplicación en suelos arcillosos de IP>15% y pasante la malla N° 200 mayor a 25%, para poder reducir la plasticidad del suelo y controlar la susceptibilidad al agua evitando la variabilidad volumétrica del suelo, también que contenga materia orgánica como menor de 3%, y sulfato menor a 0.3%. El material de subrasante utilizado no cumple con las condiciones iniciales pero los resultados son favorables porque cumple el objetivo de aumentar la capacidad portante del suelo, además se puede verificar en el Anexo 01, según el ensayo químico del material sólido no presenta composición peligrosa (materia orgánica, sulfatos) para la reacción con el estabilizante.
- 5) Para obtener resultados con mayor veracidad y eficiencia del ensayo de compresión simple suelo cemento, se consideraron normas como las: ASTM D1633, ACI 230.1R-90, NLT -305/63, comparadas con las normas peruanas MTC E 1103 y la MTC E1104, que sugieren el uso de moldes de 4" x 8" y 2.8"x5.6", se tomaron los primeros moldes para la preparación de las probeta ya que los moldes propuestos por el MTC no son los adecuados para material granular y el ensayo se realizó con un equipo de compresión a una velocidad de 0.127 cm/minuto de acuerdo a la norma NLT-305/63. También debe considerarse el curado adecuado de las probetas por lo menos por 7 días, cubriéndolo con una bolsa plástica o hermética de tal manera que tenga la humedad necesaria para el fraguado del cemento, tomando como referencia la reacción del concreto a los 7 días de curado alcanza una resistencia del 75% respecto a su resistencia final.

- 6) Según los resultados finales de los ensayos de laboratorio, se puede decir que se necesita menos insumos estabilizantes del Cemento Portland respecto a la emulsión asfáltica, según análisis de costos unitarios para la estabilización con Cemento Portland por m² es de S/. 10,96; mientras que el costo unitario utilizando el estabilizador de la emulsión asfáltica por m² es de S/. 28,40 resultando mucho mayor.
- 7) Según el diseño aplicando la metodología AASHTO 1993, tendremos los siguientes resultados respecto a los espesores del pavimento:

ALTERNATIVAS 1			ÓPTIMO CONTENIDO	ESPEORES (cm)
CAPA	Nº	DESCRIPCIÓN		
Subrasante	1	Estabilizado con CAL	6%	15
Sub-base	2	Material de Cantera	-	30
Base	3	Estabilizado con emulsión asfáltica	5.5%	15

ALTERNATIVAS 2			ÓPTIMO CONTENIDO	ESPEORES (cm)
CAPA	Nº	DESCRIPCIÓN		
Subrasante	1	Estabilizado con CAL	6%	15
Sub-base	2	Material de Cantera	-	20
Base	3	Estabilizado con Cemento Portland (4%)	4%	15

- 8) Cabe mencionar que para ambas alternativas consideradas, que se diferencian en los estabilizadores utilizados para la base, también difieren en los espesores finales de la sub-base, cuando se estabiliza la base con emulsión asfáltica el espesor de la sub-base es de 30 cm y 20 cm cuando se utiliza Cemento Portland, tal como se puede ver en el cuadro anterior.
- 9) La hipótesis planteada inicialmente resulta equívoco ya que la solución más óptima en cuanto al aumento de la resistencia y costo directo que se emplea para mejorar el material de cantera, y utilizarlo en la base del pavimento resulta ser el agente estabilizante del Cemento Portland en comparación con la emulsión asfáltica, pero con ciertas desventajas en el proceso constructivo, más tediosas que la emulsión asfáltica.
- 10) Tenemos a continuación el cuadro resumen del presupuesto para cada alternativa considerada:

	ALTERNATIVA	
	I	II
COSTO DIRECTO	291,015.0	207,990.0
G.G. + UTILIDADES (20%)	58,203.0	41,598.0
SUB TOTAL	349,218.0	249,588.0
IGV (18%)	62,859.2	44,925.8
TOTAL	412,077.2	294,513.8

Dónde:

ALTERNATIVA I:

- Subrasante mejorado con cal al 6% en peso.
- Sub-Base con material de cantera.
- Base estabilizado con Emulsión Asfáltica.

ALTERNATIVA II:

- Subrasante mejorado con cal al 6% en peso.
- Sub-Base con material de cantera.
- Base estabilizado con Cemento Portland.

De los resultados concluimos que presenta mejores características de CBR las mezclas suelo-Cemento Portland y suelo Cal Hidratada

8.2 RECOMENDACIONES

- 1) Como se sabe los agentes estabilizantes se utilizan con la finalidad de mejorar las propiedades inherentes relativos a la resistencia, capacidad de soporte y entre otras, de tal manera que la superficie sobre el cual transitan vehículos se mantenga el mayor tiempo posible en las mejores condiciones y brinde seguridad, confort a los usuarios. Estos agentes estabilizantes deben de seleccionarse adecuadamente de acuerdo a las características físicas, químicas del tipo de suelo y considerando objetivos bien definidos.
- 2) Cuando la subrasante esté conformado por suelos finos, es recomendable hacer el ensayo químico para verificar que no tenga elementos nocivos como: materia orgánica, sulfatos, entre otros, de tal manera que no sobrepasen el máximo permitido, para que no presenten reacciones negativas cuando se haga el mejoramiento con algún estabilizante seleccionado.
- 3) Algunas referencias consideran para el suelo-cal tomar los ensayos de compresión simple y el método de PH, para el diseño óptimo de la cantidad de CAL, es recomendable tomar como referencia y verificar si es necesario por los dos métodos y además emplear el ensayo de CBR, ya que estos varían de acuerdo a los materiales empleados y las condiciones del lugar.
- 4) Al momento de realizar la preparación de las muestras y las probetas para el ensayo de Próctor Estándar, Modificado, CBR, compresión simple, se debe tener cuidado en el momento de aplicar la carga según el número de golpes y la velocidad, es muy importante que el reacomodo de las partículas sea lo más homogénea posible en todo el volumen del molde, esto tiene incidencia particular en los resultados finales de obtención de MDS, OCH, compresión simple o del CBR final.
- 5) Después de la preparación de las probetas del suelo - cemento, para el ensayo de compresión simple, estas deberán de protegerse adecuadamente siendo el más recomendable cubrir con una bolsa hermética para evitar la evaporación temprana del agua por al menos 7 días (considerando que el concreto alcanza el 75% de su resistencia al séptimo día de curado). En obra los tramos de prueba son muy importantes para ver el comportamiento real del tramo.

- 6) Sería una mejor referencia entre lo que pueda suceder en el campo y los ensayos que se realizan por lo general en laboratorios alejados al lugar, donde no se utilizan todos los materiales que se emplearán en la construcción con el caso del agua. Se recomienda que los ensayos se realicen con este mismo elemento que se utilizará en la construcción, de lo contrario pueden haber reacciones contrarias en el campo a los ensayos sometidos en laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- AEMA; "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas", Manual Series N° 19, Annapolis, USA, 1995.
- 2.- Department of the Army, the Navy, and the Air Force; "Soil Stabilization For Pavements - CHAPTER 3", Washington DC, 1994.
- 3.- Fernández Condeña, Raúl; "Diseño y Proceso Constructivo de Suelos Estabilizados en Pavimentos Asfálticos – Aplicación en la Carretera Interoceánica – Sur Tramo III", Tesis de Grado UNI FIC, Lima, 2009
- 4.- Flores Ugaz, Emanuel; "Mejoramiento de la carretera Cañete-Yauyos del km. 57+ 900 al km. 58+ 200", Informe de suficiencia UNI FIC, Lima, 2008
- 5.- Huamán Guerrero, Néstor; *Curso Básico de PAVIMENTOS*, FIC-UNI, Lima, 2009.
- 6.- Ministerio de Transportes y Comunicaciones; "Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras- Volumen1", Lima, 1999.
- 7.- Ministerio de Transportes y Comunicaciones; "Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito", Lima, Perú. 2008.
- 8.- Montejo Fonseca, Alfonso; "Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño"; Universidad Católica de Colombia, Tercera edición. Bogotá, 2006.
- 9.- Montejo Fonseca, Alfonso; "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Stella Valbuena de Fierro, Bogotá, 1998.
- 10.- Puentes R.; "Estabilización de Suelos para Carreteras", Tesis de Grado UNI FIC, Lima, 1997.
- 11.- Ugaz Palomino R.; "Estabilización de suelos y a su aplicación en el mejoramiento de subrasante"; Tesis de Grado FIC UNI, Lima, 2005.

- 12.- Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco; "Estabilización de Suelos", Santiago de Márquez, Argentina, 2005.
- 13.- Wirtgen, "Manual de Reciclado en Frío", 2° Edición por Wirtgen GmbH, Windhagen-Alemania, 2004.

ANEXOS 01

ÍNDICE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

N°	DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS REALIZADOS
A	SUB-RASANTE (Km 230+100)
1	Análisis de Compuesto Químico
2	Análisis Granulométrico Km 230+100
3	Ensayo de Próctor Estándar y CBR
B	CANTERA KM 237+400
1	Análisis Granulométrico
2	Abrasión los Ángeles
3	Ensayo de Próctor Modificado y CBR
C	SUELO ESTABILIZADO
C.1	SUB-RASANTE (Km 230+100)
1	Ensayo de Próctor Estándar y CBR, Suelo - Cal Hidratada 2%
2	Ensayo de Próctor Estándar y CBR, Suelo - Cal Hidratada 3%
3	Ensayo de Próctor Estándar y CBR, Suelo - Cal Hidratada 4%
C.2	BASE - MATERIAL DE CANTERA OPCIÓN 1
1	Ensayo de Próctor Modificado y CBR, Suelo - Emulsión Asfáltica 2%
2	Ensayo de Próctor Modificado y CBR, Suelo - Emulsión Asfáltica 3%
3	Ensayo de Próctor Modificado y CBR, Suelo - Emulsión Asfáltica 4%
C.3	BASE - MATERIAL DE CANTERA OPCIÓN 2
1	Ensayo de Próctor Modificado y Compresión Simple, Suelo - Cemento Portland 3%
2	Ensayo de Próctor Modificado y Compresión Simple, Suelo - Cemento Portland 4%
3	Ensayo de Próctor Modificado y Compresión Simple, Suelo - Cemento Portland 5%



INFORME TÉCNICO N° 0309 – 11 – LAB. 12

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
- 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : SR. YONY LAURENTE RONCEROS
2. **FECHA DE EMISION** : 22/03/2011
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE COMPUESTO SOLIDO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
- 4.1 IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS : MUESTRA SOLIDA, IDENTIFICADA POR EL SOLICITANTE COMO "MATERIAL SUBRASANTE CARRETERA CAÑETE – CHUPACA MK 231+100"
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : LABORATORIO N°12 - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 68 %
7. **MÉTODO UTILIZADO**
Difracción de rayos X
8. **RESULTADOS**

Componente	Fórmula	Contenido, %
Calcita	CaCO ₃	65.3
Dióxido de silicio	SiO ₂	22.0
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	12.7

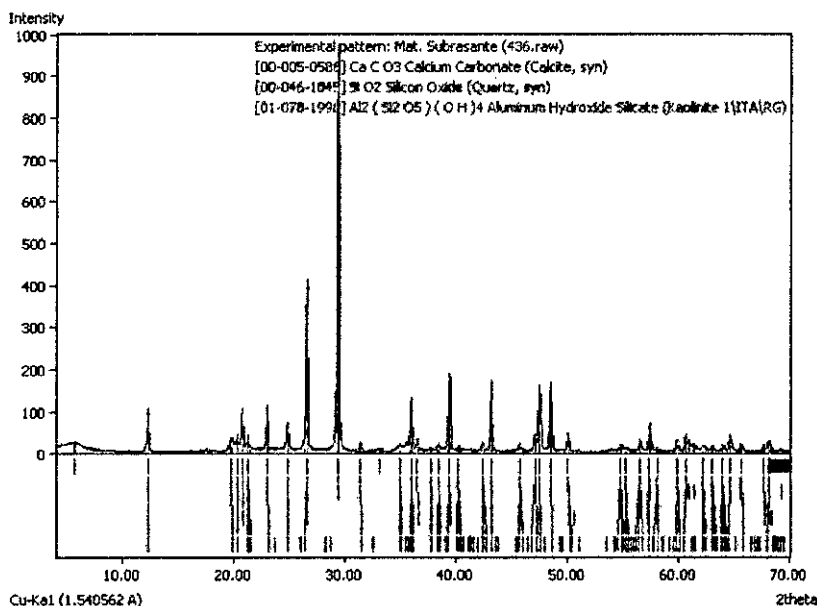


Figura N° 1: Difractograma de rayos X de la muestra MATERIAL SUBRASANTE



9. VALIDEZ DEL INFORME TECNICO

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.



Dr. Otilia Acha de la Cruz
Responsable del análisis
CQP N° 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ENSAYOS DE LA SUB - RASANTE KM 230+100

- GRANULOMETÍA
- CBR





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)

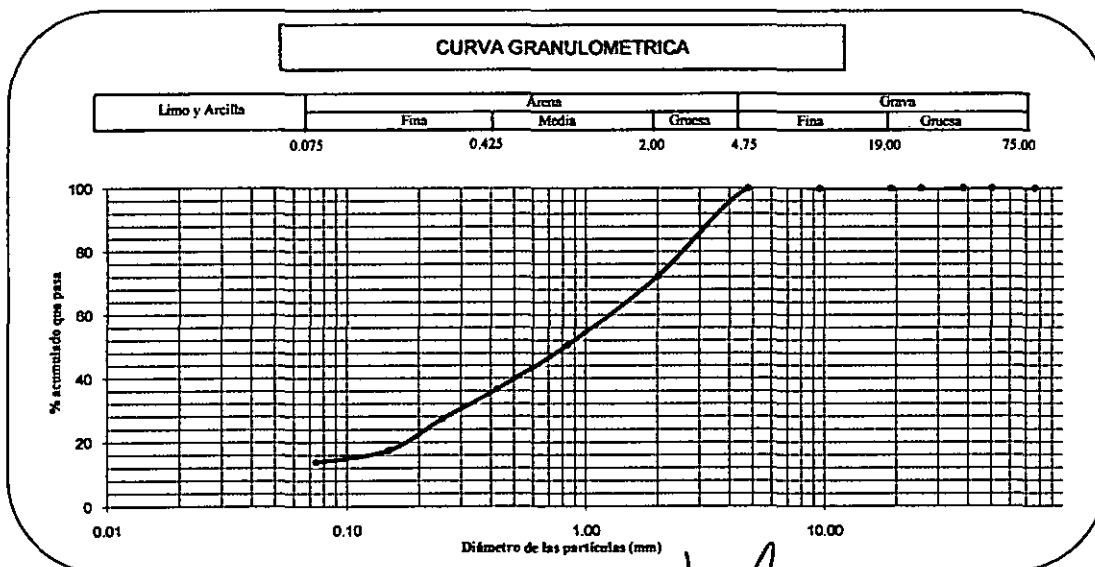
INFORME : 2
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cafeto-Lunahuana-Pacaran-Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zufiga Dv. Yauyos Ronchas
UBICACION : Tramo Km 220+000 al 240+000 (km 230+100)
FECHA : Enero del 2010

Sondaje		Sub - Resamo	
Muestra		1	
Profundidad (m)		0 - 0.80 m	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	100.00
	2"	50.300	100.00
	1 1/2"	38.100	100.00
	1"	25.400	100.00
	3/4"	19.050	100.00
	3/8"	9.525	100.00
	Nº 004	4.760	100.00
	Nº 010	2.000	72.40
	Nº 020	0.840	50.63
	Nº 040	0.426	36.73
	Nº 060	0.250	27.27
	Nº 100	0.149	17.40
Nº 200	0.074	13.83	

Clasificación (S.U.C.S.)	SC
Descripción : SC - Clayey sand	
Clasificación (AASHTO)	N-C
Descripción (AASHTO)	
Contenido de Humedad (%)	11.63
Límite Líquido (LL) (%)	30.89
Límite Plástico (LP) (%)	20.41
Límite Contracción (LC) (%)	NP
Índice Plástico (IP) (%)	10.48

D ₁₀ (mm)	0.00
D ₃₀ (mm)	0.29
D ₆₀ (mm)	1.22
Cu	0.00
Cc	0.00

% GRAVA	0.00	Gruesa	0.00
		Fina	0.00
% ARENA	86.17	Gruesa	27.60
		Media	35.67
		Fina	22.90
% FINOS	13.83		13.83



Jose Wilfredo Gutierrez Lazares
ING. JOSÉ WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 Ing. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



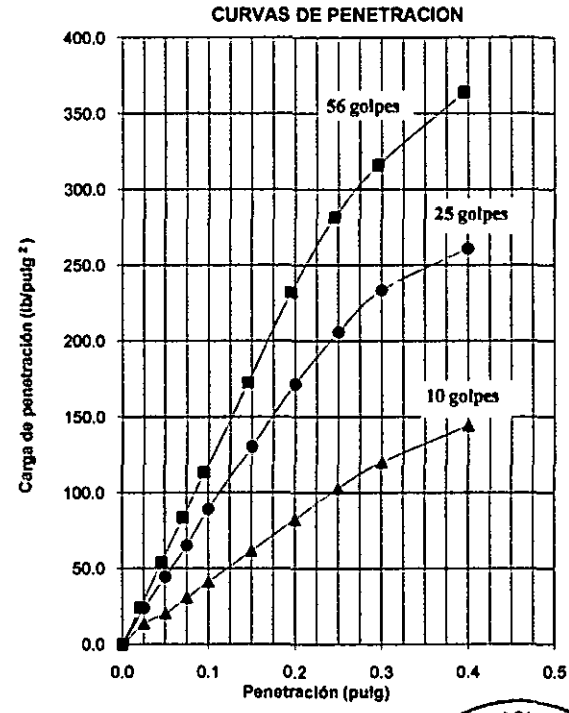
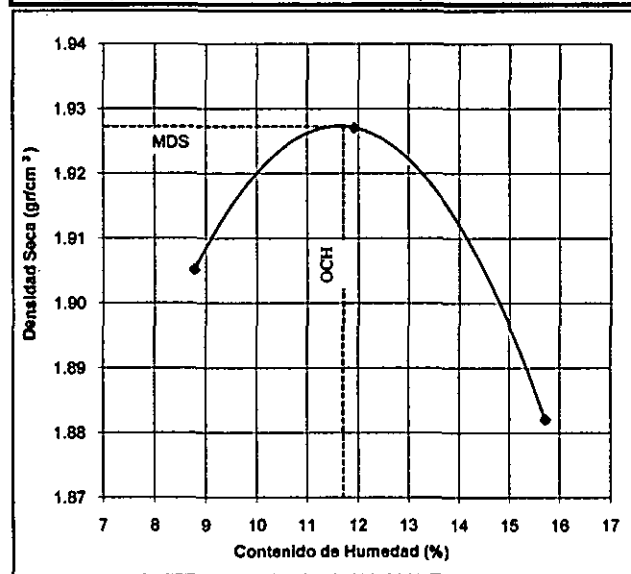
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

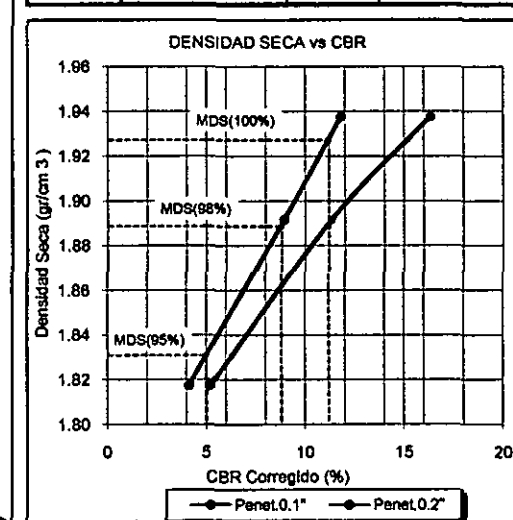
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

PROYECTO	Conservación Vial de la Carretera Cafete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del Tramo		ENSAYO	PROCTOR ESTÁNDAR Y C.B.R.	
SOLICITANTE	Bech. Yony Laurente Ronceros		METODO	C	
UBICACIÓN	Carretera Cafete - Chupaca		NORMA	ASTM D 1557 Y ASTM D1883	
PROGRESIVA	km 230+100	CALICATA	Sub-Rasante	INFORME	2
LADO	-	MUESTRA	1.00	TECNICO	Navarro
LOCALIZACION	-	PROFUNDIDAD (m)	0 - 0.80	FECHA	Enero del 2010

Molde	I	II	III	IV
D. Seca	1.91	1.93	1.88	0.00
Humedad	8.77	11.92	15.71	0.00
MDS (g/cm ³) =	1.927		OCH (%) = 11.70	



Condición de la Muestra	7 Días		
Sobrecarga	10Lb		
Hinchamiento promedio	1.78%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	95%MDS
0.1"	11.20	8.80	5.00
0.2"	15.20	11.20	6.30



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO N° 2 - MECÁNICA DE SUELOS
ING. JOSÉ WILFREDO GUTIÉRREZ LAZARES
JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecánica de Suelos UNI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 2
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : km 230+100
FECHA : Enero del 2010
CALICATA : Sub-Rasante
MUESTRA : 1.00
PROFUNDIDAD : 0 - 0.80 m
CLASF. SUCS : SC
CLASF. AASHTO : N-C

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	11.54	9.48	8.10
DENSIDAD SECA g/cc	1.94	1.89	1.82

EXPANSION			
Tiempo	Deformación Acumulada		
(Hora)	(%)		
96.00	1.524	1.799	2.011

PENETRACION							
Penetración	Presión Patron	Presión Corregida	C.B.R.	Presión Corregida	C.B.R.	Presión Corregida	C.B.R.
(pulg.)	(lb/pulg2)	(lb/pulg2)	(%)	(lb/pulg2)	(%)	(lb/pulg2)	(%)
0.10	1000	118.00	11.80	89.30	8.93	41.22	4.12
0.20	1500	245.00	16.33	170.00	11.33	78.00	5.20

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	13.75	15.11	16.24
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	2.21	5.63	8.14

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	11.20	8.80	5.00
C.B.R. 0.2" de Penetración	15.20	11.20	6.30



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

ENSAYOS DE LA CANTERA KM 237+400

- GRANULOMETÍA
- ABRASIÓN LOS ÁNGELES
- CBR





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)

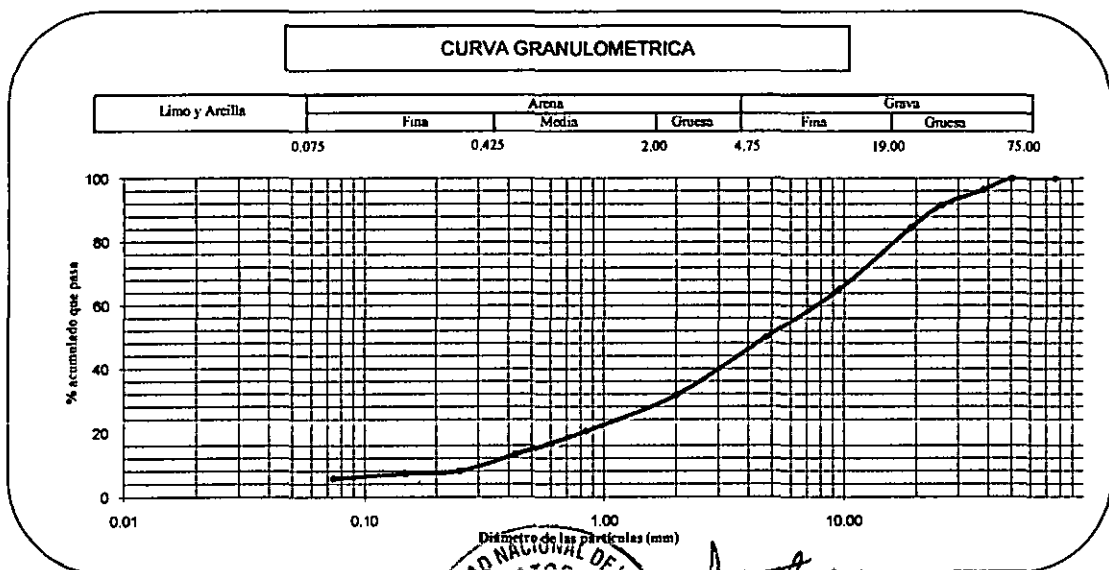
INFORME : 1
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
PROYECTO : Conservacion Vial de la Carretera Cafete-Lunahuana-Pacaran-Chupaca y Rehabilitacion del Tramo Zuffiga Dv. Yauyos Ronchas
UBICACION : 237+400
FECHA : Enero del 2010

Sondaje		Cantera	
Muestra		1	
Profundidad (m)		0,00	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	76.200	100.00
	2"	50.300	100.00
	1 1/2"	38.100	96.40
	1"	25.400	91.48
	3/4"	19.050	84.78
	3/8"	9.525	65.20
	Nº 004	4.760	50.07
	Nº 010	2.000	31.69
	Nº 020	0.840	20.43
	Nº 040	0.426	13.07
	Nº 060	0.250	8.01
	Nº 100	0.149	7.21
Nº 200	0.074	5.60	

Clasificación (S.U.C.S.)	GW-GC
Descripción : GW-GC - Well-graded gravel with clay and sand (or silty clay and sand)	
Clasificación (AASHTO)	A-1a
Descripción (AASHTO)	EXCELENTE A BUENO
Contenido de Humedad (%)	2.05
Límite Líquido (LL) (%)	26.21
Límite Plástico (LP) (%)	20.28
Límite Contracción (LC) (%)	NP
Índice Plástico (IP) (%)	5.93

D ₁₀ (mm)	0.31
D ₃₀ (mm)	1.76
D ₆₀ (mm)	7.50
Cu	24.33
Cc	1.33

% GRAVA	49.93	Gruesa	15.22
		Fina	34.71
% ARENA	44.48	Gruesa	18.38
		Media	18.62
		Fina	7.48
% FINOS	5.60		5.60





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

ABRASION LOS ANGELES
(ASTM C 131 MTC E-207)

SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
PROYECTO : Conservacion Vial de la Carretera Cañete-Lunahuana-Pacaran-Chupaca y Rehabilitacion del Tramo Zuñiga Dv. Yauyos Ronchas
UBICACIÓN : Corredor Vial de la Carretera Cañete-Chupaca
FECHA : Enero del 2010
CANTERA : KM 237+400
UBICACIÓN-CANTERA : KM 237+400
MUESTRA : Afirmado
Realizado : Téc. Navarro
Revisado

Tamaño del Agregado		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS			
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	Grad. A (12)	Grad. B (11)	Grad. C (8)	Grad. (6)
1 1/2"	1"	1250			
1 "	3/4"	1250			
3/4 "	1/2"	1250			
1/2 "	3/8"	1250			
1/4 "	N° 4				
N° 4	N° 8				

Nota: los números entre paréntesis indican la cantidad de esferas.

Identificación	1
Graduación	A
Peso Mat. Ret. En la N° 12	3695.8
Peso Mat. Pasa malla N° 12	1304.2
Porcentaje de Desgaste	26.08%



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



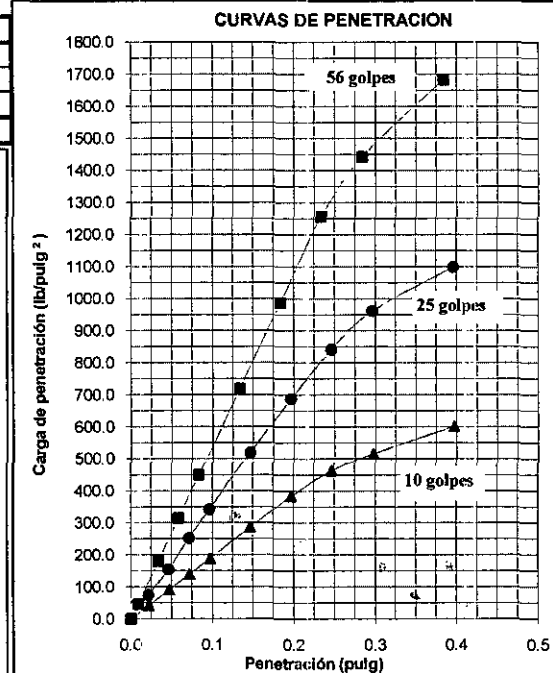
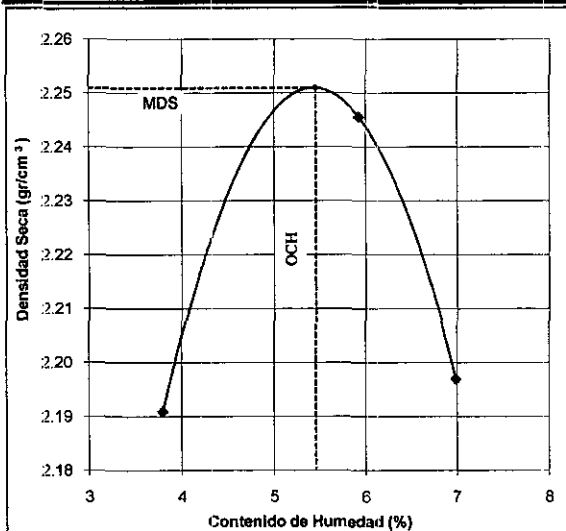
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

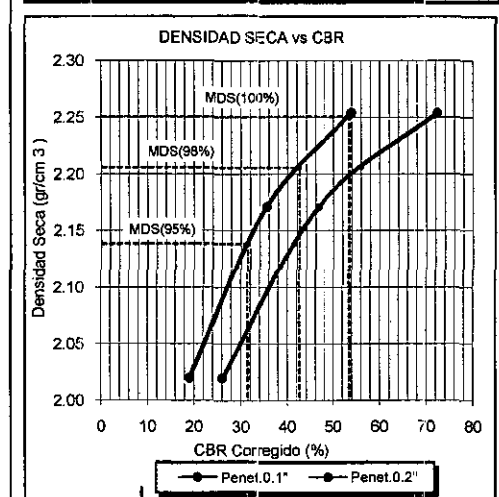
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

PROYECTO	Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del		ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO Y C.B.R.	
SOLICITANTE	Bach. Yory Laurente Ronceros		METODO	C	
UBICACIÓN	Carretera Cañete - Chupaca		NORMA	ASTM D 1557 Y ASTM D1883	
PROGRESIVA	km 237+400	CALICATA	Cantera	INFORME	1
LADO	-	MUESTRA	1.00	TECNICO	Navarro
LOCALIZACION	-	PROFUNDIDAD	0	FECHA	Enero del 2010

Molde	I	II	III	IV
D. Seca	2.19	2.25	2.20	0.00
Humedad	3.80	5.93	6.99	0.00
MDS (g/cm ³) =	2.251		OCH (%) = 5.46	



Condición de la Muestra	4 Días		
Sobrecarga	10Lb		
Hinchamiento promedio	0.01%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	95% MDS
0.1"	53.50	42.50	31.50
0.2"	71.50	56.00	41.50



[Signature]
ING. JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 1
 ENSAYO : C.B.R.
 NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cafete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
 SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
 UBICACIÓN : km 237+400
 FECHA : Enero del 2010
 CALICATA : Cantera
 MUESTRA : 1.00
 PROFUNDIDAD : 1.00
 CLASF. SUCS : GW-GC
 CLASF. AASHTO : A-1-a(0)

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	5.73	4.46	4.15
DENSIDAD SECA g/cc	2.25	2.17	2.02

EXPANSION			
Tiempo	Deformación Acumulada		
(Hora)	(%)		
96.00	0.001	0.001	0.001

PENETRACION							
Penetración (pulg.)	Presión Patron (lb/pulg2)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)
0.10	1000	540.00	54.00	355.00	35.50	190.00	19.00
0.20	1500	1085.00	72.33	700.00	46.67	390.00	26.00

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	6.73	7.23	7.90
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	1.01	2.77	3.75

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	53.50	42.50	31.50
C.B.R. 0.2" de Penetración	71.50	56.00	41.50



JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 Ing. JEFE DEL LABORATORIO
 Ing. de Mecánica de Suelos UNI

ENSAYOS DE LA SUB - RASANTE KM 230+100

MAS CAL AL 2,3 Y 4% EN PESO

- CBR SUELO + 2% CAL
- CBR SUELO + 3% CAL
- CBR SUELO + 4% CAL





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

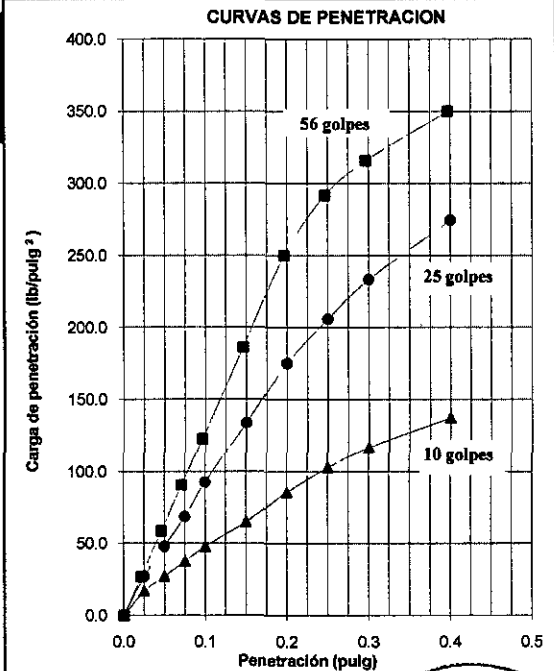
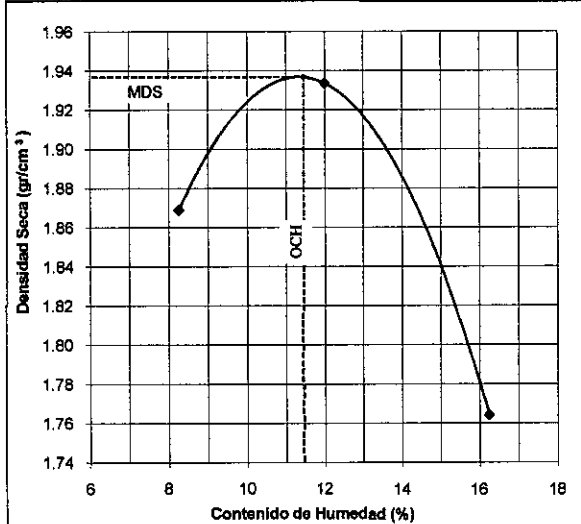
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

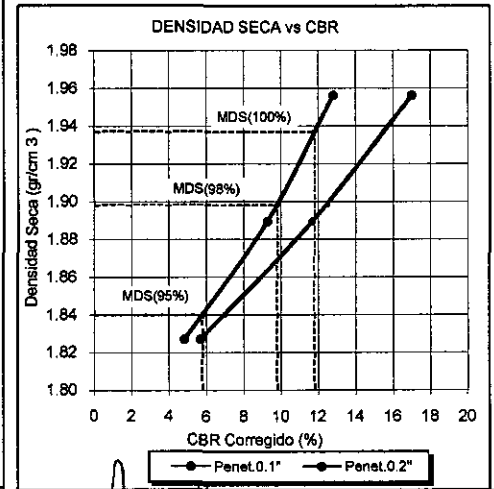
PROYECTO	: Conservación Vial de la Carretera Cafete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del Tramo	ENSAYO	: PROCTOR ESTÁNDAR Y C.B.R.
SOLICITANTE	: Bach. Yony Laurente Ronceros	METODO	: C
UBICACIÓN	: Carretera Cafete - Chupaca	NORMA	: ASTM D 1557 Y ASTM D1883

PROGRESIVA	: km 230+100	CALICATA	: Material de Sub-Rasante y 2% de Cal	INFORME	: 3
LADO	: -	MUESTRA	: 1.00	TECNICO	: Navarro
LOCALIZACION	: -	PROFUNDIDAD (m)	: 0 - 0.80 m	FECHA	: Febrero del 2010

Próctor Modificado ASTM 1557 (A) - 91				
Molde	I	II	III	IV
D. Seca	1.87	1.93	1.78	0.00
Humedad	8.26	12.00	16.24	0.00
MDS (g/cm ³) =	1.937		OCH (%) = 11.45	



Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Condición de la Muestra	: 7 Días		
Sobrecarga	: 40Lb		
Hinchamiento promedio	: 1.47%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	95%MDS
0.1"	11.80	9.80	5.80
0.2"	15.50	12.50	7.00



JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
INGENIERO JEFE DEL LABORATORIO
Caj. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 3
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : km 230+100
FECHA : Febrero del 2010
CALICATA : Material de Sub-Rasante y 2% de Cal
MUESTRA : 1.00
PROFUNDIDAD : 0 - 0.80 m
CLASF. SUCS : SC
CLASF. AASHTO : N-C

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	11.30	10.04	9.06
DENSIDAD SECA g/cc	1.96	1.89	1.83

EXPANSION			
Tiempo	Deformación Acumulada		
(Hora)	(%)		
96.00	1.270	1.482	1.651

PENETRACION							
Penetración	Presión Patron	Presión Corregida	C.B.R.	Presión Corregida	C.B.R.	Presión Corregida	C.B.R.
(pulg.)	(lb/pulg2)	(lb/pulg2)	(%)	(lb/pulg2)	(%)	(lb/pulg2)	(%)
0.10	1000	128.00	12.80	92.74	9.27	48.09	4.81
0.20	1500	255.00	17.00	175.00	11.67	85.00	5.67

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	12.84	15.61	15.63
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	1.54	5.57	6.57

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	11.80	9.80	5.80
C.B.R. 0.2" de Penetración	15.50	12.50	7.00



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



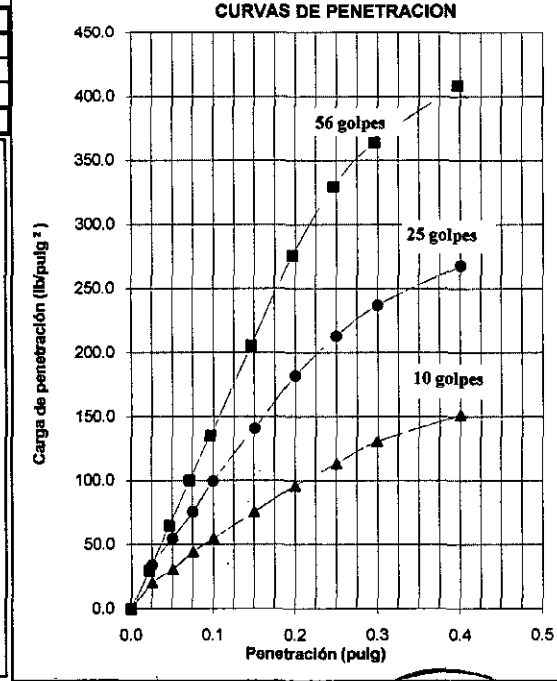
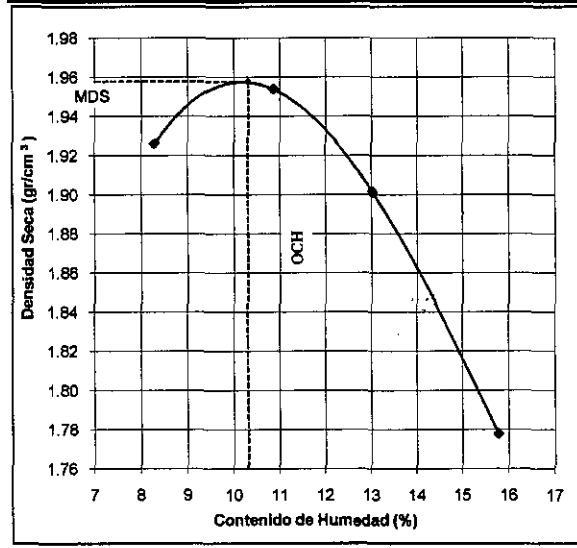
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

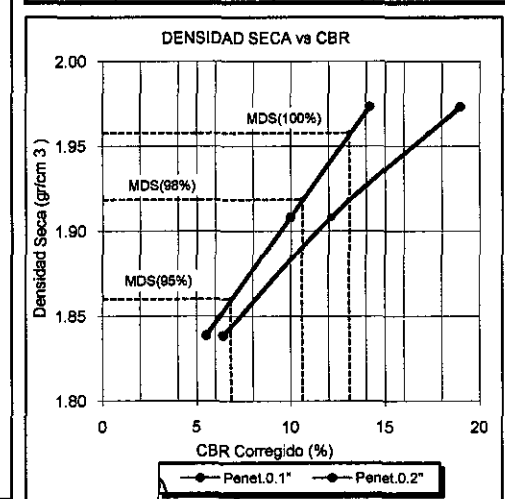
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

PROYECTO	Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del		ENSAYO	PROCTOR ESTÁNDAR Y C.B.R.	
SOLICITANTE	Bach. Yony Laurente Ronceros		METODO	C	
UBICACIÓN	Carretera Cañete - Chupaca		NORMA	ASTM D 1557 Y ASTM D1883	
PROGRESIVA	km 230+100	CALICATA	Material de Sub-Rasante y 3% de Cal	INFORME	3
LADO	-	MUESTRA	1.00	TECNICO	Navarro
LOCALIZACION	-	PROFUNDIDAD	0 - 0.80 m	FECHA	Febrero del 2010

Molde	I	II	III	IV
D. Seca	1.93	1.95	1.90	1.78
Humedad	8.29	10.85	13.02	15.77
MDS (g/cm ³) =	1.958		OCH (%) = 10.30	



Condición de la Muestra	7 Días		
Sobrecarga	10Lb		
Hinchamiento promedio	1.34%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	95% MDS
0.1"	13.10	10.60	6.80
0.2"	17.30	13.10	8.10



[Firma]
JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 3
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cafete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : km 230+100
FECHA : Febrero del 2010
CALICATA : Material de Sub-Rasante y 3% de Cal
MUESTRA : 1.00
PROFUNDIDAD : 0 - 0.80 m
CLASF. SUCS : SC
CLASF. AASHTO : N-C

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	10.10	9.12	8.53
DENSIDAD SECA g/cc	1.97	1.91	1.84

EXPANSION			
Tiempo	Deformación Acumulada		
(Hora)	(%)		
96.00	1.143	1.312	1.566

PENETRACION							
Penetración	Presión Patron	Presión Corregida	C.B.R.	Presión Corregida	C.B.R.	Presión Corregida	C.B.R.
(pulg.)	(lb/pulg2)	(lb/pulg2)	(%)	(lb/pulg2)	(%)	(lb/pulg2)	(%)
0.10	1000	142.00	14.20	99.61	9.96	54.95	5.50
0.20	1500	285.00	19.00	182.00	12.13	96.00	6.40

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	11.35	12.80	13.67
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	1.25	3.67	5.14

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	13.10	10.60	6.80
C.B.R. 0.2" de Penetración	17.30	13.10	8.10



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



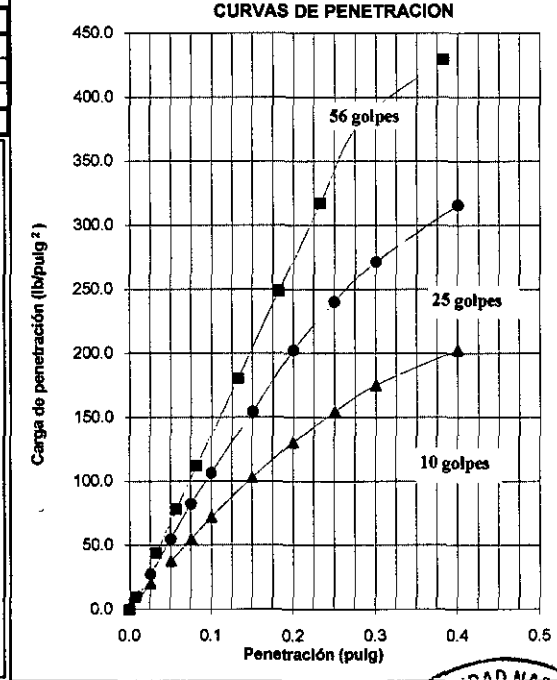
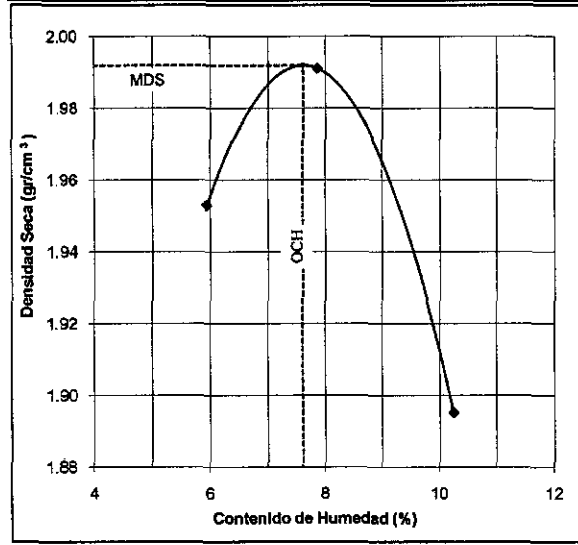
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

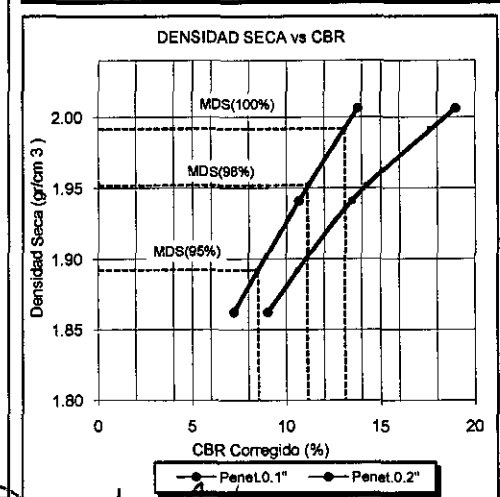
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

PROYECTO	: Conservación Vial de la Carretera Cafete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del	ENSAYO	: PROCTOR ESTÁNDAR Y C.B.R.
SOLICITANTE	: Bach. Yony Laurente Ronceros	METODO	: C
UBICACIÓN	: Carretera Cafete - Chupaca	NORMA	: ASTM D 1557 Y ASTM D1883
PROGRESIVA	: km 230+100	CALICATA	: Material de Sub-Rasante y 4% de Cal
LADO	: -	MUESTRA	: 1.00
LOCALIZACION	: -	PROFUNDIDAD	: 0 - 0.80 m
		INFORME	: 3
		TECNICO	: Navarro
		FECHA	: Febrero del 2010

Próctor Modificado ASTM 1557 (A) - 91				
Molde	I	II	III	IV
D. Seca	1.95	1.99	1.90	0.00
Humedad	5.94	7.86	10.24	0.00
MDS (g/cm ³) =	1.992		OCH (%) = 7.80	



Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Condición de la Muestra	: 7 Días		
Sobrecarga	: 10Lb		
Hinchamiento promedio	: 1.18%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	96% MDS
0.1"	13.10	11.10	8.50
0.2"	17.60	14.20	10.60



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO N° 2 - MECÁNICA DE SUELOS
Vº Bº JOSÉ ALFREDO GUTÉRREZ LAZARES
ING. JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 3
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : km 230+100
FECHA : Febrero del 2010
CALICATA : Material de Sub-Rasante y 4% de Cal
MUESTRA : 1.00
PROFUNDIDAD : 0 - 0.80 m
CLASF. SUCS : SC
CLASF. AASHTO : N-C

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	10.81	9.84	8.21
DENSIDAD SECA g/cc	2.01	1.94	1.86

EXPANSION			
Tiempo (Hora)	Deformación Acumulada (%)		
96.00	1.016	1.164	1.355

PENETRACION							
Penetración (pulg.)	Presión Patron (lb/pulg2)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)
0.10	1000	138.00	13.80	106.47	10.65	72.13	7.21
0.20	1500	285.00	19.00	202.00	13.47	135.00	9.00

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	12.82	14.03	15.47
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	2.01	4.19	7.25

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	13.10	11.10	8.50
C.B.R. 0.2" de Penetración	17.60	14.20	10.60



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

ENSAYOS DE MATERIAL DE CANTERA MAS EMULSIÓN ASFÁLTICO AL 2,3 Y 4% EN PESO

- CBR SUELO + 2% EMULSIÓN ASFÁLTICO
- CBR SUELO + 3% EMULSIÓN ASFÁLTICO
- CBR SUELO + 4% EMULSIÓN ASFÁLTICO





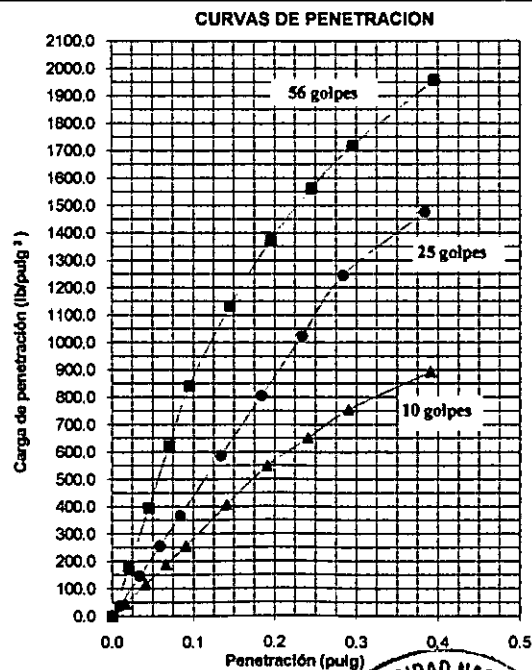
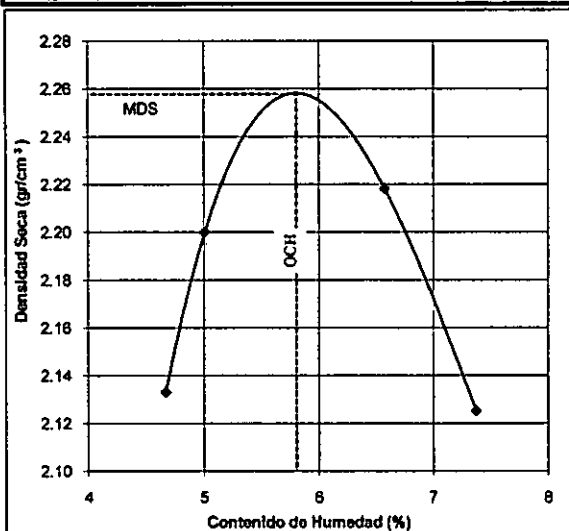
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

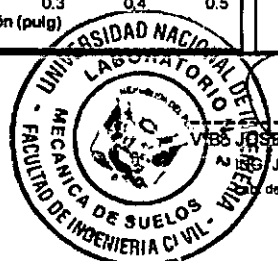
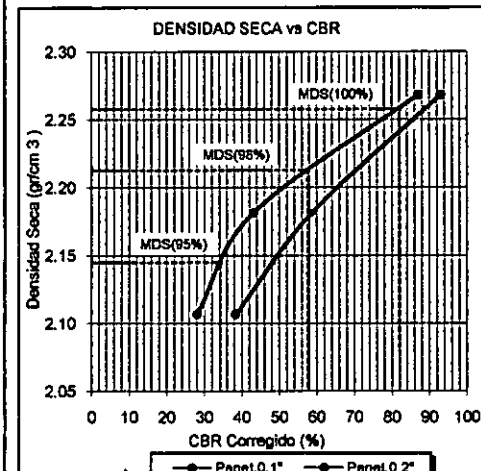
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

PROYECTO	: Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del	ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO Y C.B.R.
SOLICITANTE	: Bach. Yory Laurente Ronceros	METODO	: C
UBICACIÓN	: Carretera Cañete - Chupaca	NORMA	: ASTM D 1557 Y ASTM D1883
PROGRESIVA	: km 237+400	CALICATA	: Material de Cantera y 2% de Emulsión Asfáltica
LADO	: -	MUESTRA	: 1.00
LOCALIZACIÓN	: -	PROFUNDIDAD	: 0
		INFORME	: 5
		TECNICO	: Navarro
		FECHA	: Febrero del 2010

Molde	I	II	III	IV
D. Seca	2.13	2.20	2.22	2.13
Humedad	4.67	5.00	6.57	7.37
MDS (g/cm ³) =	2.268		OCH (%) = 5.80	



Condición de la Muestra	: 4 Días		
Sobrecarga	: 10Lb		
Hinchamiento promedio	: 0.01%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	95% MDS
0.1"	82.00	57.50	34.20
0.2"	88.60	70.40	48.40



[Signature]
ING. JOSÉ WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 JEFE DEL LABORATORIO
 de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 5
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : km 237+400
FECHA : Febrero del 2010
CALICATA : Material de Cantera y 2% de Emulsión Asfáltica
MUESTRA : 1.00
PROFUNDIDAD : 1.00
CLASF. SUCS : GW-GC
CLASF. AASHTO : A-1-a(0)

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	6.09	5.10	3.98
DENSIDAD SECA g/cc	2.27	2.18	2.11

EXPANSION			
Tiempo (Hora)	Deformación Acumulada (%)		
96.00	0.001	0.001	0.001

PENETRACION							
Penetración (pulg.)	Presión Patron (lb/pulg2)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)
0.10	1000	870.00	87.00	430.00	43.00	280.00	28.00
0.20	1500	1395.00	93.00	880.00	58.67	575.00	38.33

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	7.14	7.36	7.90
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	1.05	2.26	3.93

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	82.00	57.50	34.20
C.B.R. 0.2" de Penetración	88.60	70.40	48.40



[Handwritten Signature]

ING. JOSÉ WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
Jefe del Laboratorio
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



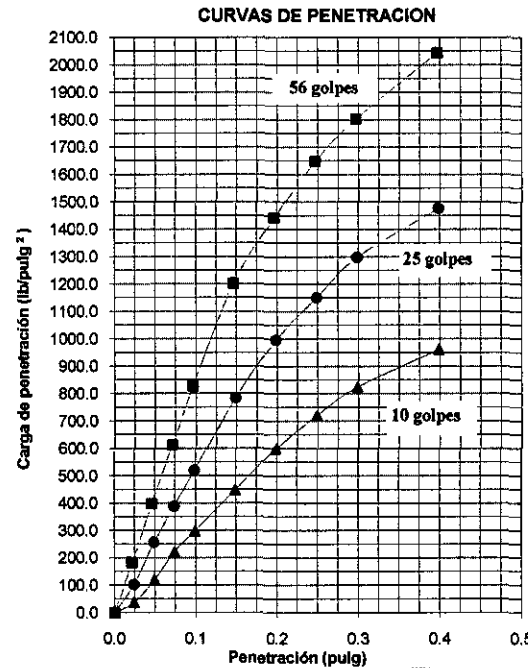
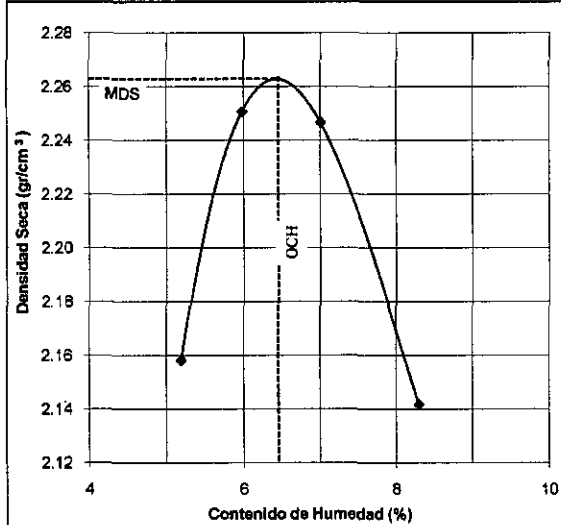
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

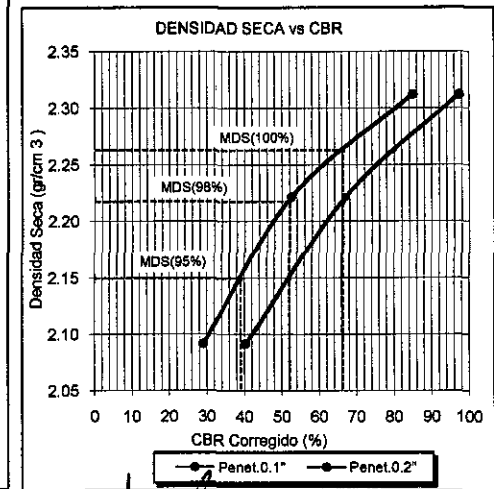
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

PROYECTO	: Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del	ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO Y C.B.R.
SOLICITANTE	: Bach. Yony Laurente Ronceros	METODO	: C
UBICACIÓN	: Carretera Cañete - Chupaca	NORMA	: ASTM D 1557 Y ASTM D1883
PROGRESIVA	: km 237+400	CALICATA	: Material de Cantera y 3% de Emulsión Asfáltica
LADO	: -	MUESTRA	: 2.00
LOCALIZACIÓN	: -	PROFUNDIDAD	: 0
		INFORME	: 5
		TECNICO	: Navarro
		FECHA	: Febrero del 2010

Próctor Modificado ASTM 1667 (A) - 91				
Molde	I	II	III	IV
D. Seca	2.16	2.25	2.25	2.14
Humedad	5.19	5.98	7.00	8.29
MDS (g/cm³) =	2.283		OCH (%) = 6.45	



Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Condición de la Muestra	: 4 Días		
Sobrecarga	: 10Lb		
Hinchamiento promedio	: 0.01%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	95% MDS
0.1"	66.20	52.00	39.00
0.2"	80.00	66.40	52.00



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

(MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO VOL. 1 - SECCIÓN 300B – 2008 Pág. 181)

Guía referencial para selección de aditivo estabilizador

Área	CASE DE USO	Tipo de arena y sus límites de absorción	Restricción en LL y P ₂₀₀ (%)	Restricción en el porcentaje de humedad (Método 299)	Observaciones
1A	SP o SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Portland			
		(3) Colocamiento en caliente	P no excede de 25		
1B	SA-SM c SP-SM c SM-SM c SP-PC	(1) Asfalto	P no excede de 10		
		(2) Cemento Portland	P no excede de 30		
		(3) Cal	P no excede de 12		
		(4) Colocamiento en caliente	P no excede de 25		
1C	SM c SM c SM-SM	(1) Asfalto	P no excede de 10	No debe exceder a 30% en peso	
		(2) Cemento Portland	(c)		
		(3) Cal	P no excede de 12		
		(4) Colocamiento en caliente	P no excede de 25		
2A	GA c GP	(1) Asfalto			Si arena material bien graduado
		(2) Cemento Portland			El material deberá contener como mínimo 45% en peso de material que pase a malla N°4.
		(3) Colocamiento en caliente	P no excede de 25		
2B	GA-GM c GP-GM c GM-GM c GP-3C	(1) Asfalto	P no excede de 10		Si arena material bien graduado
		(2) Cemento Portland	P no excede de 30		El material deberá contener como mínimo 45% en peso de material que pase a malla N°4.
		(3) Cal	P no excede de 12		
		(4) Colocamiento en caliente	P no excede de 25		
2C	GM c GM c GM-GM	(1) Asfalto	P no excede de 10	No debe exceder a 30% en peso	Si arena material bien graduado
		(2) Cemento Portland	(c)		El material deberá contener como mínimo 45% en peso de material que pase a malla N°4.
		(3) Cal	P no excede de 12		
		(4) Colocamiento en caliente	P no excede de 25		
3	OM c OM c ML c OM c OM c ML c OM c	(1) Cemento Portland	LL no mayor de 6) P no mayor de 20		Suelos orgánicos y fragmentos de otros materiales en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios.
		(2) Cal	P no mayor de 12		
P = Índice Plástico (c) P = 2P (S) porcentaje que pasa a malla N°200 (4)			Si resulta de una revisión, no es necesario aditivo estabilizador		Referencia: US Army Corps of Engineer

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE CANTERAS DE AGREGADOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 5
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cafete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : km 237+400
FECHA : Febrero del 2010
CALICATA : Material de Cantera y 3% de Emulsión Asfáltica
MUESTRA : 2.00
PROFUNDIDAD : 1.00
CLASF. SUCS : GW-GC
CLASF. AASHTO : A-1-a(0)

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	6.95	6.36	5.79
DENSIDAD SECA g/cc	2.31	2.22	2.09

EXPANSION			
Tiempo	Deformación Acumulada		
(Hora)	(%)		
96.00	0.001	0.001	0.001

PENETRACION							
Penetración (pulg.)	Presión Patron (lb/pulg2)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg2)	C.B.R. (%)
0.10	1000	850.00	85.00	525.00	52.50	290.00	29.00
0.20	1500	1460.00	97.33	1005.00	67.00	605.00	40.33

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	8.03	9.11	9.79
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	1.08	2.75	4.01

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	66.20	52.00	39.00
C.B.R. 0.2" de Penetración	80.00	66.40	52.00



[Signature]
JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
ING. JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



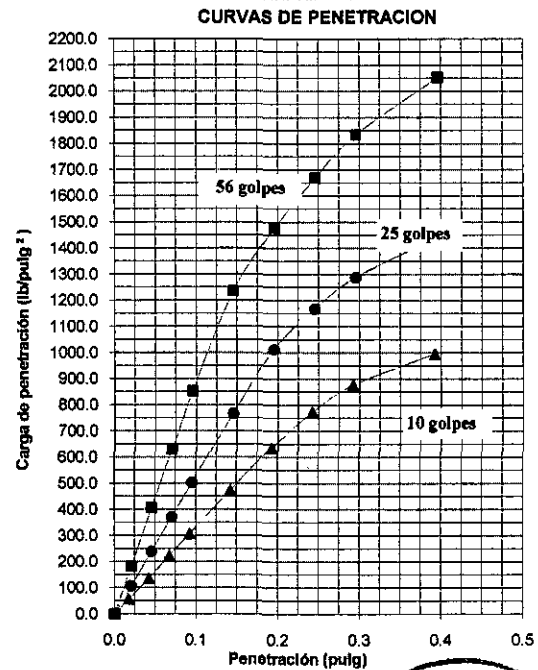
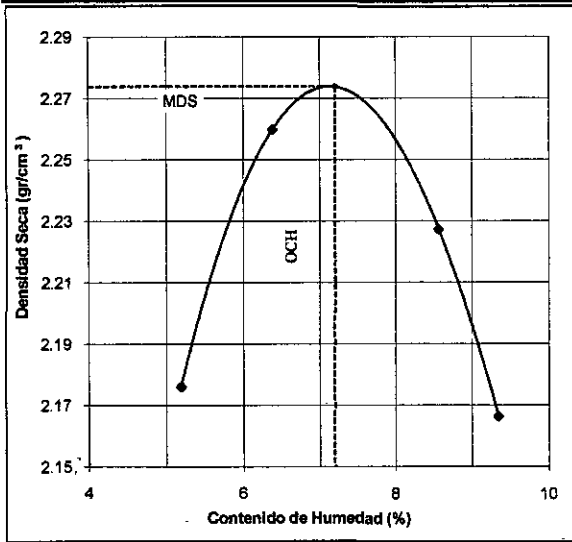
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

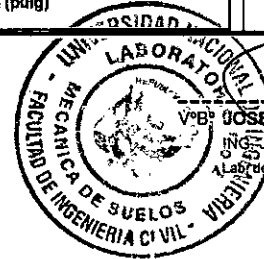
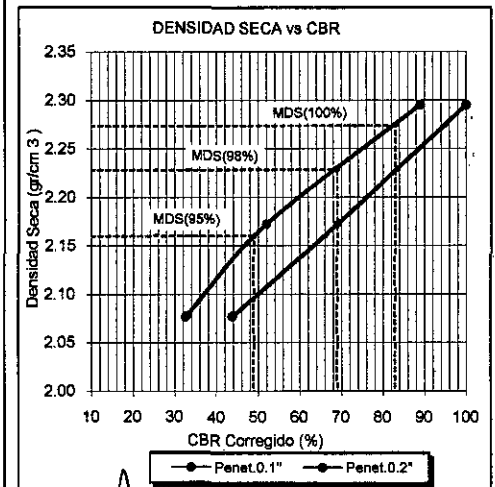
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 -Telefax: 3813842

PROYECTO	: Conservación Vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del	ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO Y C.B.R.
SOLICITANTE	: Bach. Yony Laurente Ronceros	METODO	: C
UBICACIÓN	: Carretera Cañete - Chupaca	NORMA	: ASTM D 1557 Y ASTM D1883
PROGRESIVA	: km 237+400	CALICATA	: Material Cantera y 4% Emulsión Asfáltica
LADO	: -	MUESTRA	: 3.00
LOCALIZACION	: -	PROFUNDIDAD	: 0
		INFORME	: 5
		TECNICO	: Navarro
		FECHA	: Febrero del 2010

Próctor Modificado ASTM 1557 (A) - 91				
Molde	I	II	III	IV
D. Seca	2.18	2.26	2.23	2.17
Humedad	5.19	6.38	8.57	9.34
MDS (g/cm³)	2.274		OCH (%) = 7.20	



Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Condición de la Muestra	: 4 Días		
Sobrecarga	: 10Lb		
Hinchamiento promedio	: 0.01%		
C.B.R.	100% MDS	98% MDS	95% MDS
0.1"	83.00	69.00	49.00
0.2"	95.00	83.50	66.00



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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

INFORME : 5
ENSAYO : C.B.R.
NORMA : ASTM D1883

PROYECTO : Conservación Vial de la Carretera Cafete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del
SOLICITANTE : Bach. Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : km 237+400
FECHA : Febrero del 2010
CALICATA : Material Cantera y 4% Emulsión Asfáltica
MUESTRA : 3.00
PROFUNDIDAD : 1.00
CLASF. SUCS : GW - GC
CLASF. AASHTO : A-1-a(0)

N° GOLPES POR CAPA	56 golpes	25 golpes	10 golpes
--------------------	-----------	-----------	-----------

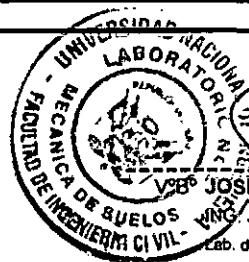
CONTENIDO DE HUMEDAD % ANTES DE SATURAR (w)	7.30	6.92	6.51
DENSIDAD SECA g/cc	2.30	2.17	2.08

EXPANSION			
Tiempo	Deformación Acumulada		
(Hora)	(%)		
96.00	0.001	0.001	0.001

PENETRACION							
Penetración (pulg.)	Presión Patron (lb/pulg ²)	Presión Corregida (lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	Presión Corregida (lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
0.10	1000	890.00	89.00	520.00	52.00	325.00	32.50
0.20	1500	1500.00	100.00	1035.00	69.00	656.00	43.73

CONTENIDO DE HUMEDAD % DESPUES DE SATURAR (w)	8.84	9.69	10.26
CONTENIDO DE HUMEDAD % ABSORBIDO(w)	1.54	2.77	3.74

C.B.R.	MDS (100%)	MDS (98%)	MDS (95%)
C.B.R. 0.1" de Penetración	83.00	69.00	49.00
C.B.R. 0.2" de Penetración	95.00	83.50	66.00



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

ENSAYOS DE MATERIAL DE CANTERA MAS CEMENTO

AL 3,4 Y 5% EN PESO

- COMPRESIÓN SIMPLE SUELO + 3% CEMENTO
- COMPRESIÓN SIMPLE SUELO + 4% CEMENTO
- COMPRESIÓN SIMPLE SUELO + 5% CEMENTO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO N° 2 - Mecánica de Suelos

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

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE MT C E 1108-2000 (NLT-305/63)

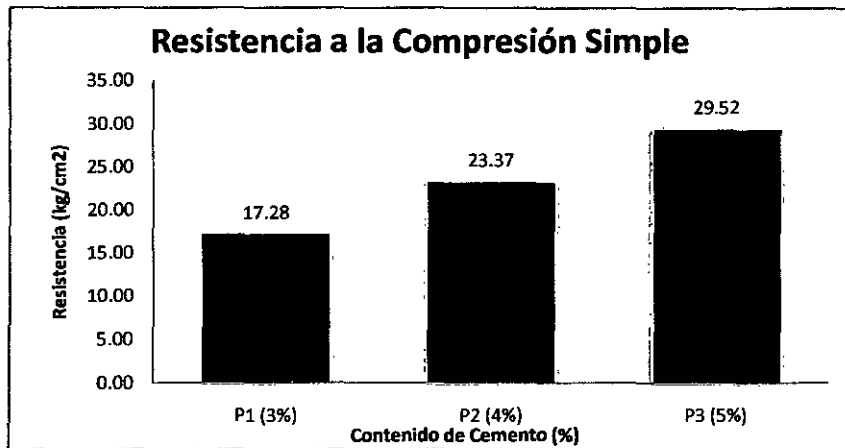
PROYECTO : Conservacion Vial de la Carretera Cañete-Lunahuana-Pacaran-Chupaca y Rehabilitacion del Tramo Zúñiga Dv. Yauyos Ronchas
SOLICITANTE : Bach.: Yony Laurente Ronceros
UBICACIÓN : Carretera Cañete - Chupaca **PROGRESIVA** : 237+400
INFORME : 4 **CALICATA** : Cantera
LOCALIZACION : - **MUESTRA** : Suelo-Cemento
ENSAYO : COMPRESION SIMPLE **CLASIFICACION SUCS** : GW-GC
TECNICO : Navarro **METODO** : C
FECHA : Marzo del 2010 **BASADO EN NORMAS** : NLT -305 /63 (MTC E 1108-2000)

Condiciones Iniciales	Und.	P1 (3%)	P2 (4%)	P3 (5%)
Diámetro	mm	106.00	105.80	105.60
Altura	mm	203.10	203.30	203.40
Area	mm ²	8824.73	8791.46	8758.26
Volumen	mm ³	1792303.43	1787304.69	1781429.61

Periodo de Curado : 7 Días

Parámetros de resistencia

Porcentaje de Cemento en peso	3%	4%	5%
Carga (Kg)	1525	2055	2585
Resistencia la compresión (Kg/cm ²)	17.28	23.37	29.52
Resistencia a la compresión Promedio (Kg/cm²)	23.39		

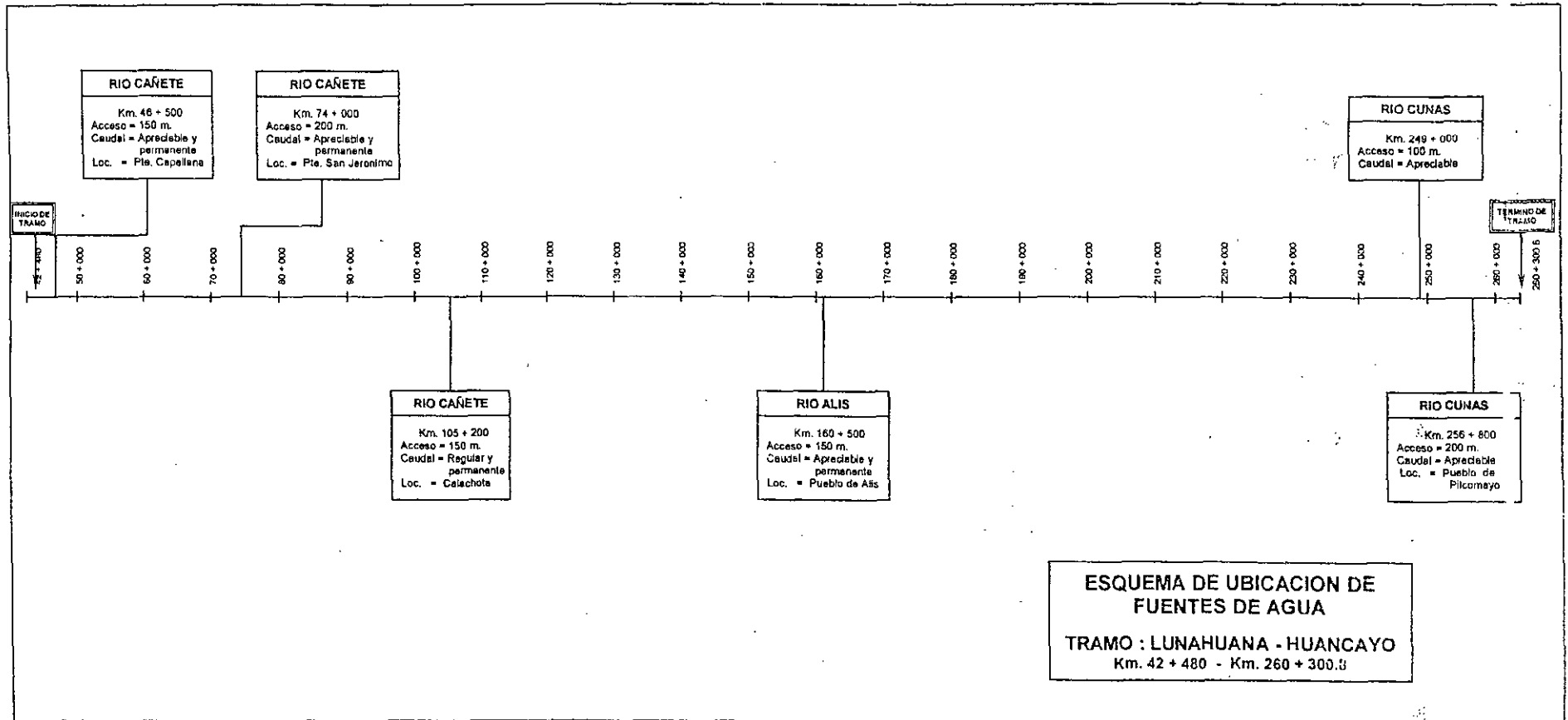


JOSE ALFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI

ANEXO. 02

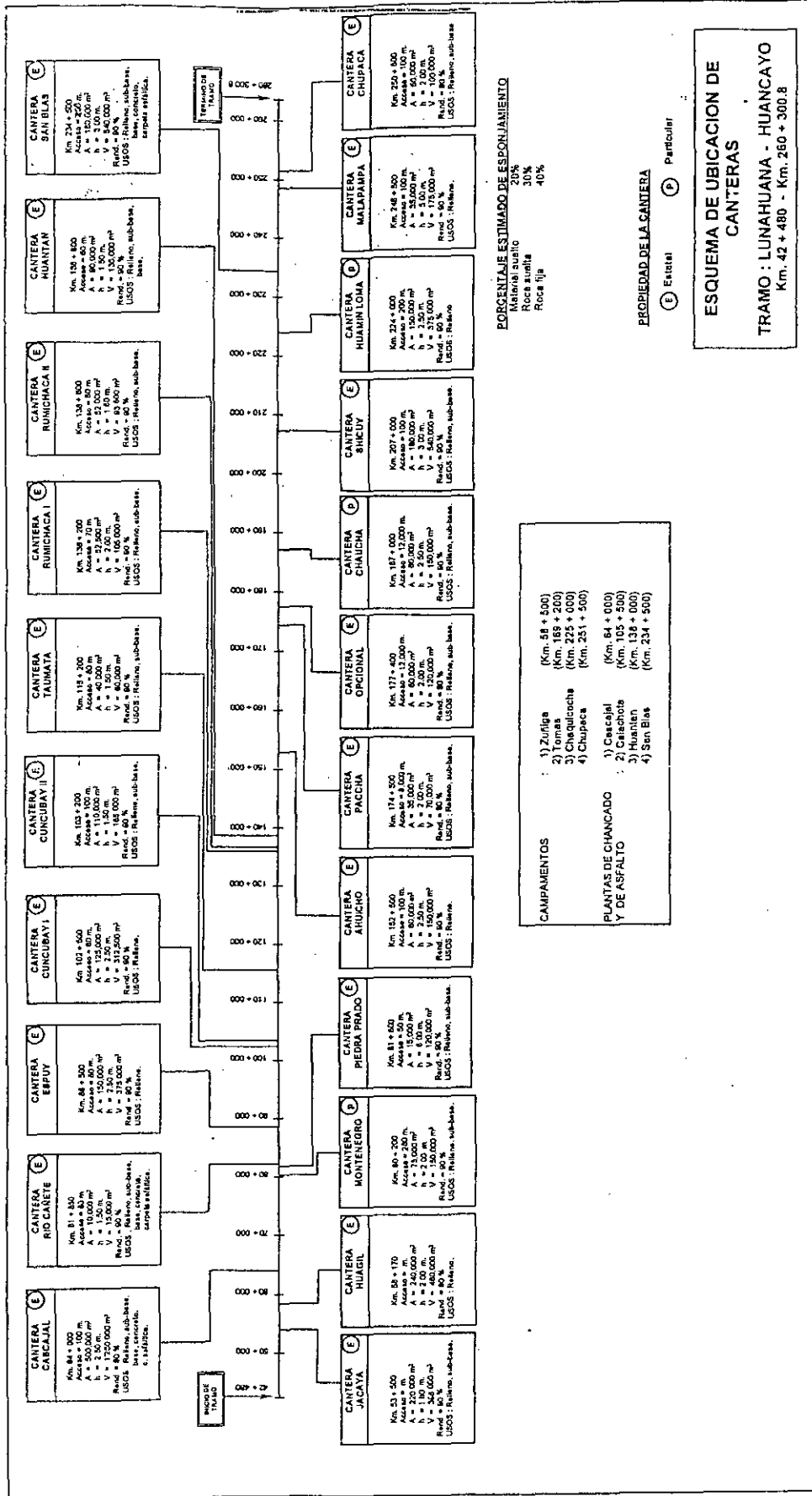
**PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SUELO DE
FUNDACIÓN TRAMO: Km 220+000 – Km
240+000**

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE FUENTES DE AGUA

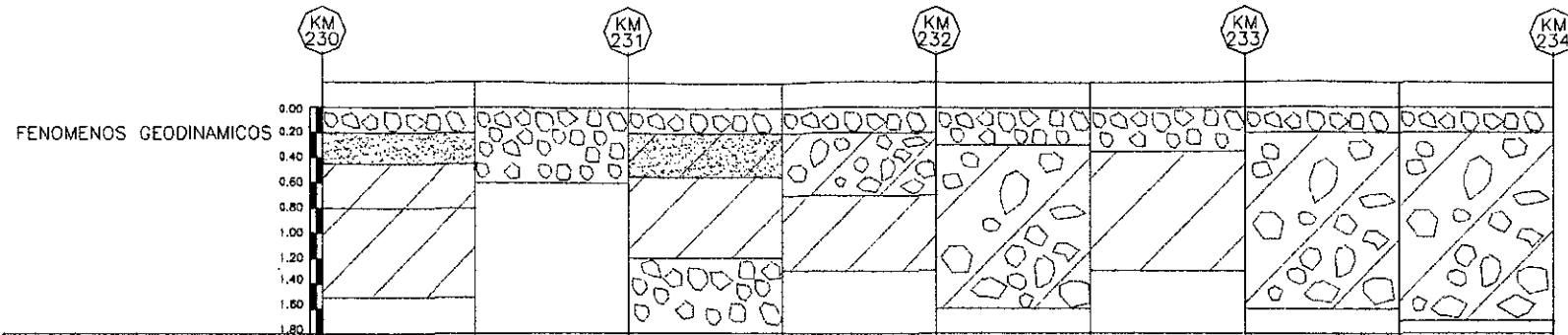


ANEXO 03

ESQUEMA DE UBICACION DE CANTERAS DE AGREGADOS



ESQUEMA DE UBICACIÓN DE FUENTES DE AGUA



RUGOSIDAD								
CALICATA N°	CV-376	CV-377	CV-378	CV-379	CV-380	CV-381	CV-382	CV-383
PROGRESIVA	229+920	230+500	231+000	231+500	231+920	232+480	233+000	233+520
PROFUNDIDAD	0.00-0.20	0.00-0.60	0.00-0.20	0.00-0.20	0.00-0.30	0.00-0.35	0.00-0.20	0.00-0.20
CLASIFICACION AASHTO	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)
CLASIFICACION SUCS	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP
PROFUNDIDAD	0.20-0.45		0.20-0.55	0.20-0.70	0.30-1.60	0.35-1.30	0.20-1.60	0.20-1.70
CLASIFICACION AASHTO	A-1-a(0)		A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-6(1)	A-6(9)	A-2-6(0)	A-2-6(0)
CLASIFICACION SUCS	SP		SC	GC	GC	CL	GC	GC
PROFUNDIDAD	0.45-0.80		0.55-0.90	0.70-1.30				
CLASIFICACION AASHTO	A-6(4)		A-4(3)	A-6(9)				
CLASIFICACION SUCS	CL		CL	CL				
PROFUNDIDAD	0.80-1.50		0.90-1.20					
CLASIFICACION AASHTO	A-6(7)		A-1-a(0)					
CLASIFICACION SUCS	CL		GP					

CUADRO DE REFERENCIAS								
	GRAVA REDONDEADA	GRAVA ANGULAR	ARENA	LIMO	ARCILLA DE BAJA A MEDIANA PLASTICIDAD	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	BOLONERIA	FRAGMENTO DE ROCA

NF : Nivel Freático

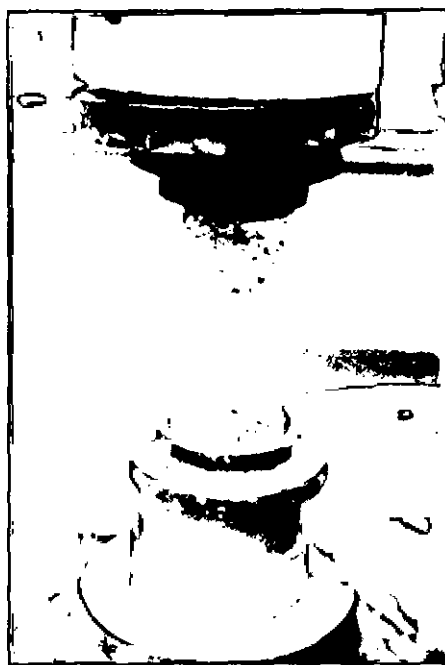
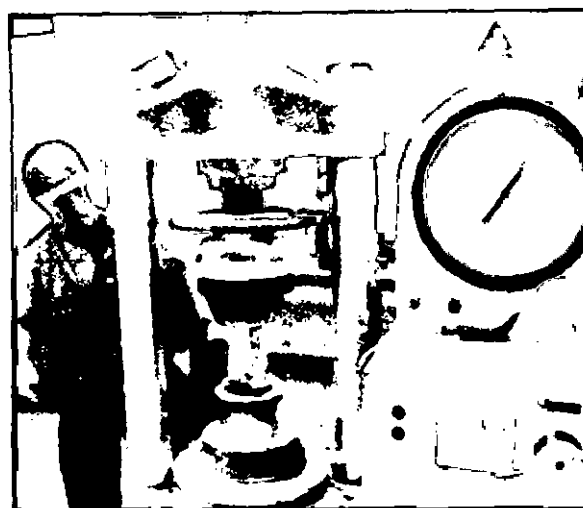
PANEL FOTOGRÁFICO

ENSAYOS DE LABORATORIO

SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND

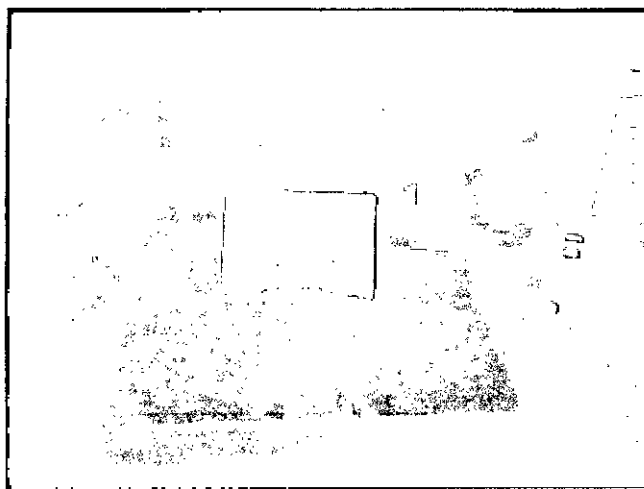
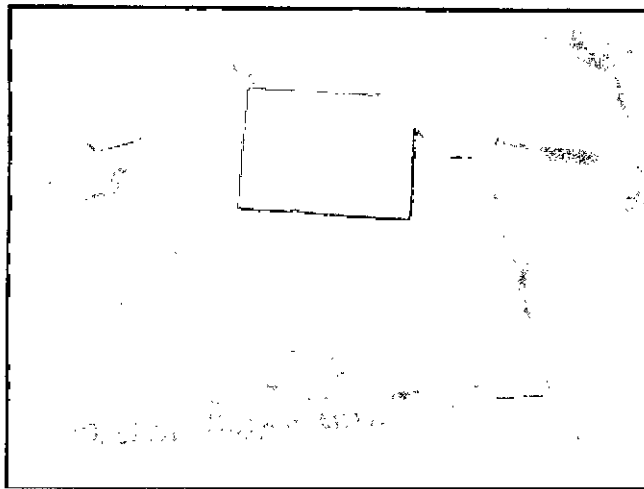


Curado de
probetas de
suelo - cemento
durante 7 días



Ensayo de
compresión simple
a probetas de suelo
- cemento

SUELO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA



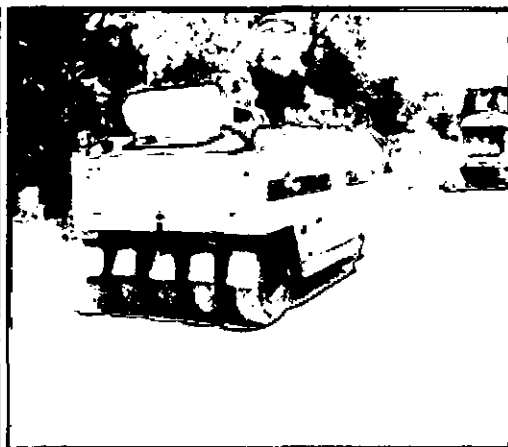
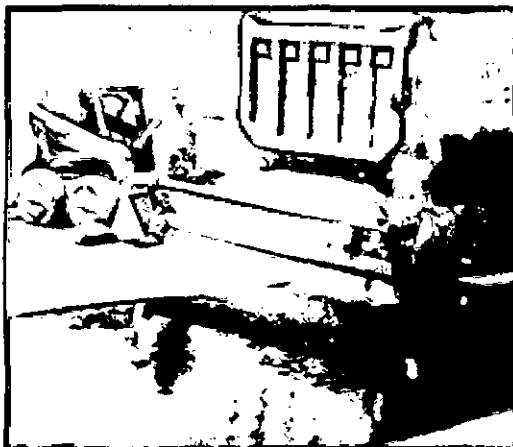
Mezcla entre el material de cantera y la emulsión asfáltica, para preparar probetas para el CBR.

COLOCACIÓN DEL MONOCAPA CARRETERA CAÑETE-CHUPACA

Imprimación de la superficie
terminada de la base
estabilizada con emulsión
asfáltica



Esparcido de piedra de $\frac{3}{4}$ "
para la colocación del
tratamiento superficial
monocapa



Esparcido y compactado con rodillo neumático del
tratamiento superficial monocapa