

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DEBIL CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL PARA LA VÍA JUNIN - BARBACOAS**

**ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE CARRETERAS
SAN JUAN DE PASTO
2008**

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DEBIL CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL PARA LA VÍA JUNIN - BARBACOAS**

**ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA**

**Trabajo de grado para optar al título de
Especialista en Ingeniería de Carreteras**

**Directora:
OLGA LUCÍA MESÍAS TIBAQUIRÁ
Ingeniera Civil
Especialista en Pavimentos**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE CARRETERAS
SAN JUAN DE PASTO
2008**

NOTA DE RESPONSABILIDAD


“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1º del acuerdo No 324 del 11 de octubre de 1966 del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño”

PRESENTACION

El presente documento es el resultado de la iniciativa de los autores quienes con su constante inquietud acerca de la aplicación de la Ingeniería en el desarrollo constructivo de los Proyectos Viales, realizaron la investigación y aplicación de alternativas de evaluación, control, diseño y verificación del comportamiento real de los materiales utilizados en una estructura de pavimento rígido a nivel de capas granulares cuyo material no se ajusta a las exigencias de la normatividad colombiana vigente y que aún así en términos ingenieriles son de indispensable utilización en proyectos de construcción de carreteras con dificultades a nivel de subrasante y con adversas condiciones climáticas.

El Trabajo de Grado tiene una aplicación particular, sin embargo sus fundamentos son de aplicación general bajo los criterios del Ingeniero que haga uso de ellos en procura de dar solución a los problemas de diseño, control y recibo de capas granulares de gradación especial.


OLGA LUCÍA MESÍAS TIBAQUIRÁ
Ingeniera Civil
Especialista en Pavimentos
Director de Trabajo de Grado

San Juan de Pasto, Septiembre de 2008

NOTA DE ACEPTACION

El trabajo de grado propuesto contribuye al desarrollo de los programas de investigación y la solución de problemas que afectan a los sectores productivos de nuestra región; su enfoque y formulación se encuentra dentro del campo de la Ingeniería desarrollando la profundización de los conocimientos adquiridos en el programa de Especialización en Ingeniería de Carreteras.

El tema presenta una importante connotación en la utilización de las tecnologías en el área de pavimentos y el desarrollo de actividades de mantenimiento de carreteras en zonas de difíciles condiciones; igualmente contribuye para complementar la normatividad de las instituciones que desarrollan programas de mejoramiento y pavimentación de la infraestructura vial colombiana.



LUIS G. SUÁREZ VELANDIA
Ingeniero Civil.
Especialista
Ingeniería de Vías Terrestres
Magister
Ingeniería con Especialización en Vías



PEDRO SAGANOME AGUILERA.
Ingeniero Civil
Especialista
Asfaltos para Pavimentos.
Especialista
Universitario Ingeniería de Carreteras.

San Juan de Pasto, Septiembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

Los autores ofrecen su agradecimiento a:

Dios, que hace posible el alcanzar las metas propuestas.

Olga Lucía Mesías Tibaquirá, Ingeniera Civil, Especialista en Pavimentos, Directora del trabajo de grado, por sus valiosas orientaciones.

Oscar Garzón Díaz, Ingeniero Civil, Director de Interventoría y Representante Legal del Consorcio Vías 2500 VCG-93 quien desarrolla la Interventoría de la Pavimentación de la vía Junín – Barbacoas, por su colaboración.

Instituto Nacional de Vías, por su colaboración por intermedio del contratista Consorcio INECON-TE – PUCALPA G93 en desarrollo del contrato No 1827 de 2005, cuyo objeto es la Pavimentación de Infraestructura Vial de Integración y Desarrollo grupo 93, vía Junín - Barbacoas.

La Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, por abrir espacio a la Especialización en Ingeniería de Carreteras en procura de fomentar la capacitación de los Ingenieros Civiles de la región.

Armando Muñoz David, Ingeniero Civil, Especialista en Administración de Empresas Constructoras y Coordinador de la Especialización, por su apoyo incondicional.

Luis Suárez Velandia, Ingeniero Civil, Especialista en Ingeniería de Vías Terrestres, Magíster en Ingeniería con Especialización en Vías, por sus valiosos aportes en el desarrollo del presente trabajo.

Pedro Saganome Aguilera, Ingeniero Civil, Especialista en Asfaltos para Pavimentos, Especialista Universitario en Ingeniería de Carreteras, por su colaboración y aportes en beneficio del presente trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. ANTECEDENTES HISTORICOS Y CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS CON CAPAS GRANULARES DE PAVIMENTOS.	25
1.1. ASPECTOS HISTORICOS.	25
1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE CAPAS GRANULARES.	32
1.2.1 Materiales pétreos utilizados en capas granulares del pavimento.	32
1.2.2 Funciones de los materiales granulares en las capas del pavimento.	33
2. IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS EXISTENTES EN EL CONTROL Y RECIBO DE LAS CAPAS GRANULARES DRENANTES.	61
2.1.1 Especificaciones colombianas M.O.P. de 1.966.	63
2.1.2 Especificaciones colombianas M.O.P. de 1.980.	71
2.1.3 Especificaciones colombianas INVIAS de 1.996	72
2.1.4 Especificaciones colombianas INVIAS de 2.002.	79
2.2. OBSERVACIONES NORMATIVIDAD COLOMBIANA VIGENTE CON RESPECTO A LA CONSTRUCCIÓN DE CAPAS GRANULARES	80
2.2.1 Disposiciones generales para capas granulares INV-300-07.	81
2.2.2 Sub base granular INV-320-07.	84
2.2.3 Base granular INV-330-07.	87
2.3. PROBLEMAS EXISTENTES EN LA CARACTERIZACIÓN, CONTROL Y RECIBO DE LAS CAPAS GRANULARES DRENANTES	89
2.3.1 Inexistencia de norma vigente de referencia para capas granulares drenantes.	89
2.3.2 Problemas de caracterización.	94
2.3.3 Problemas de control y recibo.	96

3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE APOORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DRENANTES Y DISEÑO DE CAPA DE MEJORAMIENTO EN SUBRASANTES DÉBILES.	98
3.1. MARCO CONCEPTUAL REFERENTE A EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES	99
3.1.1. Técnicas de evaluación estructural.	102
3.2. PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA OBTENCIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE LA CAPA GRANULAR DRENANTE QUE SERÁ UTILIZADO EN EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.	107
3.2.1. Verificación de las características de los materiales diferentes a la de resistencia.	110
3.2.2. Desarrollar el tramo de prueba donde se determinara el módulo resiliente del material.	115
3.2.3. Pruebas iniciales de resistencia, realizadas a nivel de la plataforma de soporte del material a evaluar sobre los puntos de control.	119
3.2.4. Extensión, conformación y compactación del material sobre el tramo de prueba.	119
3.2.5. Pruebas de campo sobre los puntos de control del tramo de prueba.	120
3.2.6. Identificación de la información levantada, y determinación de objetivos del tramo de prueba para la evaluación estructural del material granular.	125
3.2.7. Determinación del módulo resiliente del material granular drenante.	128
3.2.8. Análisis e interpretación de resultados.	134
3.3. DISEÑO DE MEJORAMIENTO CON MATERIAL GRANULAR DRENANTE.	137
3.3.1. Determinación del módulo resiliente de la subrasante.	138
3.3.2. Asignación del módulo resiliente del material granular.	139
3.3.3. Diseño del espesor de mejoramiento para una determinada resistencia de soporte requerida en la plataforma de la subrasante.	139
3.4. CONTROL DE LA RESISTENCIA DE CAPAS CONSTRUIDAS CON MATERIAL GRANULAR DRENANTE.	140

4. DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE APORTE ESTRUCTURAL DEL MATERIAL GRANULAR DRENANTE UTILIZADO EN EL CASO ESPECIFICO DE LA VIA JUNIN - BARBACOAS.	142
4.1. GENERALIDADES.	142
4.2. CONDICIONES ESPECÍFICAS DEL PAVIMENTO	147
4.2.1. Estructura del pavimento proyectada para el contrato vigente.	147
4.2.2. Materiales granulares drenantes utilizados en la estructura del pavimento.	148
4.3. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE APORTE ESTRUCTURAL DE LOS MATERIALES GRANULARES DRENANTES UTILIZADOS EN EL PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN DE LA VIA JUNIN - BARBACOAS.	152
4.3.1. Resultados de los ensayos de campo y laboratorio.	153
4.3.2. Tabulación de resultados del cálculo del módulo resiliente del material granular drenante.	157
4.3.3. Interpretación y análisis de resultados del cálculo del módulo resiliente del material granular drenante.	158
4.3.4. Resultados de compactación.	161
4.3.5. Requerimientos de resistencia mediante la medida de la deflexión para el control y recibo de los niveles de mejoramiento y base en piedra partida.	162
5. ESPECIFICACIONES PARTICULARES PROPUESTAS PARA EL CONTROL Y RECIBO DE CAPAS GRANULARES DRENANTES EN EL CASO ESPECIFICO.	164
5.1. FORMULACION DE LOS AJUSTES PROPUESTOS	164
5.2. ESPECIFICACION PARTICULAR PARA MEJORAMIENTO CON ADICIÓN DE MATERIAL GRANULAR DRENANTE	165
5.3. ESPECIFICACION PARTICULAR PARA SUBBASE GRANULAR DRENANTE	166
CONCLUSIONES	167
BIBLIOGRAFIA	172
ANEXOS	175

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura I.1. Estructura del pavimento de carreteras antiguas romanas.	26
Figura I.2. Segmento de la vía Apia.	27
Figura I.3. Firme tipo McAdam.	28
Figura I.4. Firme tipo Telford.	29
Figura I.5. Máquina de Los Ángeles	35
Figura I.6. Máquina de Micro-Deval	36
Figura I.7. Clasificación de los suelos de acuerdo al tamaño de las partículas de acuerdo a la U.S.C. y A.S.T.D.M.	38
Figura I.8. Interpretación de la curva granulométrica.	41
Figura I.9. Influencia de la granulometría en las propiedades de un material granular	41
Figura I.10. Materiales a evaluar y calibradores de aplanamiento y alargamiento	43
Figura I.11. Estados de consistencia de un suelo	45
Figura I.12. Ensayo del límite líquido.	46
Figura I.13. Ensayo equivalente de arena.	47
Figura I.14. Relación de humedad y densidad.	51
Figura I.15. Influencia de la energía de compactación.	52
Figura I.16. Ensayo de CBR.	59
Figura II.1. Listado normas de construcción para carreteras de marzo 1966.	62
Figura II.2. Gradación Macadam hidráulico MOP-63.	64
Figura II.3. Gradación compuesta Macadam hidráulico MOP-63.	65
Figura II.4. Gradación bases de grava o piedra partida de 3" MOP-63.	67
Figura II.5. Gradación bases de grava o piedra partida de 2" MOP-63.	67
Figura II.6. Gradación base de grava o piedra partida de 1 1/2" MOP-63.	68

Figura II.7.	Gradación bases de grava o piedra partida de 1" MOP-63.	68
Figura II.8.	Representación grafica de las leyes de Feret, donde se muestra las líneas de igual compacidad en la mezcla de agregados donde G: gruesos, M: mediano, F: finos.	70
Figura II.9.	Gradación sub base granular INVIAS-96.	76
Figura II.10.	Gradación base granular BG-1 INVIAS-96.	78
Figura II.11.	Gradación base granular BG-2 INVIAS-96.	78
Figura II.12.	Requisitos de los agregados para afirmados, sub bases granulares y bases granulares, tabla 300.1, INVIAS 2.007	82
Figura II.13.	Gradación sub base granular SBG-1 INV-07.	85
Figura II.14.	Gradación sub base granular SBG-2 INV-07.	86
Figura II.15.	Gradación base granular BG-1 INV-07.	88
Figura II.16.	Gradación base granular BG-2 INV-07.	88
Figura II.17.	Un aguacero en la vía Junín – Barbacoas (Nar.), abril de 2007.	90
Figura II.18.	Comparativo de normas de materiales granulares.	92
Figura II.19.	Comparativo base granular colombiana y española.	93
Figura III.1.	Explotación de la cantera (desarrollo de una voladura).	110
Figura III.2.	Proceso planta de trituración (fragmentación, trituración y selección).	111
Figura III.3.	Fase de experimentación para verificar la cantidad de energía de compactación.	113
Figura III.4.	Evaluación de energía de compactación mediante la viga Benkelman.	114
Figura III.5.	Tramo de prueba: 1ª etapa - conformación.	116
Figura III.6.	Puntos de control del tramo de prueba.	118
Figura III.7.	Capas del tramo de prueba.	120
Figura III.8.	Vista general del ensayo viga Benkelman.	123
Figura III.9.	Ensayo viga Benkelman en material granular.	124
Figura III.10.	Ensayo CBR de campo.	125

Figura III.11. Tabla modelo resumen de información levantada en campo y laboratorio para el tramo de prueba.	127
Figura III.12. Modelo bicapa aplicado para determinar el módulo resiliente de un material drenante.	129
Figura III.13. Resumen de diferencias entre métodos de cálculo.	131
Figura III.14. Corrida ejemplo retrocálculo utilizando solo deflexiones.	132
Figura III.15. Corrida ejemplo retrocálculo utilizando deflexiones y CBR.	133
Figura III.16. Ejemplo de resumen de resultados de módulos de capa granular drenante – en orden ascendente de espesores.	135
Figura III.17. Ejemplo de una gráfica de resultados de módulos de capa granular drenante versus espesor construido.	136
Figura III.18. Modelo estructural de una capa para determinar la deflexión requerida en evaluación de materiales granulares drenantes.	141
Figura IV.1. Localización de la vía Junín - Barbacoas.	142
Figura IV.2. Dificultades en transitabilidad de la vía Junín - Barbacoas.	143
Figura IV.3. Estabilización de sitios críticos en el mantenimiento de la vía Junín - Barbacoas. (Jaboncillo, Km 36).	145
Figura IV.4. Esquema del estado de la vía Junín - Barbacoas.	146
Figura IV.5. Sección transversal típica aprobada de la vía Junín – Barbacoas en el contrato vigente.	148
Figura IV.6. Gradación de material de mejoramiento y base en piedra partida.	150
Figura IV.7. Corte real de la estructura del pavimento de la vía Junín – Barbacoas localizado en una zona de subrasante débil.	151
Figura IV.8. Interpretación de resultados de los cálculos de los módulos resilientes del material granular drenante.	159
Figura IV.9. Interpretación de resultados de deflexión aplicada a la energía de compactación requerida del material granular drenante.	162

LISTAS DE TABLAS

	Pág.	
Tabla I.1	Tipo de rocas	32
Tabla I.2	Procedencia y su efecto en algunas propiedades	33
Tabla I.3	Tipos de estructuras granulares	37
Tabla I.4.	Clasificación genérica de los suelos de acuerdo al tamaño de las partículas.	39
Tabla I.5.	Valores típicos de consistencia del suelo.	46
Tabla I.6.	Ensayo del próctor modificado – métodos A, B, C y D.	54
Tabla I.7.	Puntos de deformación de penetración del CBR.	58
Tabla I.8.	Carga unitaria patrón de CBR	59
Tabla II.1.	Gradación pedraplén INVIAS 1.996.	74
Tabla II.2.	Requisitos de los materiales para afirmados, sub bases granulares y bases granulares, artículo 300 INV-96.	75
Tabla II.3.	Gradación de la norma española para Macadam.	94
Tabla III.1.	Ensayos requeridos para cada punto de control del tramo de prueba	122
Tabla IV.1.	Parámetros de diseño para el diseño del pavimento.	147
Tabla IV.2.	Estructura diseñada del pavimento rígido de la vía Junín – Barbacoas en el contrato vigente.	148
Tabla IV.3.	Cantidades de ensayos de campo y laboratorio realizados en el presente estudio de la vía Junín – Barbacoas.	153
Tabla IV.4.	Tabla resumen de resultados de los ensayos de campo y laboratorio (Parte 1).	155
Tabla IV.4.	Tabla resumen de resultados de los ensayos de campo y laboratorio. (Parte 2).	156
Tabla IV.5.	Tabla resumen de resultados de los cálculos de los módulos resilientes del material granular drenante.	157

LISTAS DE ANEXOS

- Anexo A. ESPECIFICACION PARTICULAR - ARTÍCULO 230 P – 07 - MEJORAMIENTO CON ADICIÓN DE MATERIAL GRANULAR DRENANTE.
- Anexo B. ARTÍCULO 320P – 07 - SUB BASE GRANULAR DRENANTE
- Anexo C. RESULTADOS DE ENSAYOS
- Anexo D. RECUENTO FOTOGRAFICO

GLOSARIO

Acopio.- Acumulación planificada de materiales destinados a la construcción de una obra.

Afirmado: Material granular natural ó procesado con gradación específica utilizado para formar capa provisional de rodadura la cual soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito.

Agregado Pétreo.- Fragmentos angulares de roca dura y durable, de forma y tamaño controlado.

Base Granular o Base no Ligada. Material bien gradado compuesto exclusivamente por una mezcla de agregados gruesos y finos, que deben cumplir requisitos de calidad, para ser construido técnicamente en una vía formando una capa sobre la subrasante u otra capa granular.

Bombeo (diseño).- Pendiente transversal de la superficie de rodadura en las tangentes de una obra vial, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua.

Capa de Rodadura.- Capa superficial de una vía que recibe directamente la acción del tránsito. Debe ser resistente al deslizamiento, a la abrasión y a la desintegración por efectos ambientales.

CBR.- (California Bearing Ratio) Es un valor que considera la relación porcentual entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.

Cohesión (suelo).- Fuerza de unión entre las partículas de un suelo, cuya magnitud depende de la naturaleza y estructura del mismo. En los suelos cohesivos la estructura depende del contenido de minerales arcillosos presentes y de las fuerzas que actúan entre ellos.

Compacidad de un Suelo.- Grado de compactación o densidad natural de un suelo no cohesivo, que depende del acomodo alcanzado por las partículas de éste.

Compactación (suelo).- Operación mecanizada para reducir el índice de Vacíos de un suelo y alcanzar con ello el peso en una unidad de volumen.

Comportamiento Estructural.- Variación de la respuesta estructural de un pavimento con el tiempo.

Cordón (Material).- Acopio de material granular, dispuesto longitudinalmente en la faja de un camino, de sección aproximadamente trapezoidal y cuyas dimensiones dependen del espesor compactado exigido a la capa a extender.

Deflexión.- Deformación elástica (recuperable) que sufren la estructura del pavimento evaluada al ser solicitados por las cargas. La deflexión que presenta la estructura del pavimento o parte de esta determina por la teoría de esfuerzos y deformaciones por métodos de retrocálculo el Módulo resiliente de las capas evaluadas. Se mide tanto en centésimas de milímetro como en micrones (mm).

Densidad en el sitio: Procedimiento para determinar el peso unitario de los suelos en el terreno.

Eje Equivalente .- Razón entre el número de ejes de cierto peso que causan una determinada pérdida de serviciabilidad y el número de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad.

Estabilización de Suelos.- Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos y/o físico – químicos.

Geotextil.- Tela de fibras de poliéster, polipropileno o de una combinación de ambos, que cumple con una serie de requisitos y que se utiliza principalmente, según sus propiedades, para reforzar suelos de baja capacidad de soporte, como filtro para drenaje y en la construcción de muros de sostenimiento de tierras.

Granulometría de un agregado.- Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, determinada de acuerdo con un método normalizado Agregados Pétreos: Método para tamizar y determinar la granulometría.

Humedad.- Relación porcentual entre la masa de agua presente en un suelo y su masa seca.

Índice de Serviciabilidad.- Es un número, en una escala de 0 a 5, que indica la condición de un pavimento en un determinado momento, para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios.

IRI.- Sigla que corresponde al Índice de Rugosidad Internacional.

Material Granular Drenante.- Capa de agregados áridos con una granulometría uniforme y bien gradada que determina un gran número de vacíos interconectados, que permitan absorber el agua de las lluvias y evacuarla fuera de la calzada. Eliminan el agua subsuperficial.

Módulo de resiliencia: Caracteriza el material que conforma la estructura del pavimento o una de sus capas por medio del comportamiento semielástico de éste al ser sometido a esfuerzos cíclicos de compresión y luego de tensión los cuales van provocando deformaciones. La capacidad del material de recuperarse de la deformación forma la curva esfuerzo-deformación obteniendo el prototipo del material.

Número Estructural.- Número que evalúa la calidad del paquete estructural de un pavimento. Se determina como la suma ponderada de los espesores por los coeficientes estructurales, determinados experimentalmente. Los coeficientes estructurales son correlacionables con los módulos de las capas estructurales.

Pavimento.- Estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados, que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y soportar las solicitaciones que impone el tránsito.

Pavimento rígido: Tipo de estructura de pavimento, formado por una losa de concreto hidráulico, construida eventualmente sobre una subrasante o sobre una capa granular.

Rasante.- Plano que define la superficie de una carretera.

Subbase Granular.- Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Subrasante.- Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las solicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye la estructura de pavimento y las bermas.

Terraplén.- Obra construida empleando suelos apropiados, debidamente compactados, para establecer la fundación de un pavimento.

Tránsito Medio Diario Anual (TMDA).- Valor promedio aritmético de los volúmenes diarios de flujo vehicular para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.

Viga Benkelman: Instrumento que se usa para medir la deflexión de una capa de la estructura del pavimento o el conjunto del pavimento.

RESUMEN

Aplicando los conocimientos impartidos en el programa de Especialización en Ingeniería de Carreteras y la observación de los autores en el desarrollo de diferentes proyectos, entre ellos, la pavimentación de la vía Junín – Barbacoas se ha identificado que las especificaciones definidas para el control y recibo de los materiales granulares que presentan condiciones de gradación especial no se ajustan a las condiciones reales, impidiendo la verificación del comportamiento requerido en los diseños.

El problema fue observado en los materiales granulares drenantes utilizados en dicho proyecto, donde se limitó la evaluación de su resistencia a la condición del % CBR en un valor especificado; igualmente en su control y recibo se determina convencionalmente los ensayos de Próctor Modificado y Densidad In situ los cuales no se pueden determinar porque las características granulométricas de estos materiales impiden la aplicación de estos ensayos por sus limitantes granulométricas.

Al inicio del presente documento se realiza una retrospectiva de los antecedentes históricos en la utilización de materiales granulares drenantes, con el objeto de sensibilizar el vacío que evidencian las normas vigentes colombianas al no contar con lineamientos para su utilización, considerando la necesidad de utilizarlos en zonas de alta pluviosidad propias de gran parte del territorio marginal colombiano donde actualmente se requiere la expansión de la red vial.

Posteriormente, se propone una metodología para la evaluación, control y recibo de estos materiales basada en la teoría de esfuerzos y deformaciones y la aplicación de pruebas inéditas desarrolladas en la vía Junín – Barbacoas,

utilizando equipos sencillos y convencionales como son la Viga Benkelman y CBR In Situ, apropiados para situaciones de difícil accesibilidad y condiciones permanentes de control y recibo.

Al aplicar las teorías y los resultados obtenidos se determina el aporte estructural de los materiales granulares drenantes utilizados en la vía Junín – Barbacoas y finalmente se aplica la experiencia obtenida en el estudio ajustando las especificaciones particulares de estos materiales a las condiciones requeridas para la evaluación, control y recibo.

Como resultado del estudio se determina que el diseño del pavimento del proyecto de pavimentación que actualmente se ejecuta en la vía Junín – Barbacoas se encuentran acorde a las condiciones de estos materiales y se constata que su módulo resiliente y aporte estructural no obedece a un comportamiento normal, observando variaciones que dependen del espesor y de la subrasante, obteniéndose valores en condiciones más desfavorables similares a los de la sub base típica y en las mejores condiciones a los de la base granular utilizada normalmente.

ABSTRACT

Applying the knowledge distributed in the program of specialization in engineering of highways and the observation of the authors in the development of different projects, between them, the paving of the Junín – Barbacoas route have been identified that the specifications defined to control and reception of the granular materials that present special conditions do not adjust to the real conditions, preventing the verification of the behavior required in the designs.

The problem was watched in the used draining granular materials in this project, where the evaluation of its resistance was limited the condition of % CBR to a specified value, equally in its control and reception conventionally the test of modified proctor and density in situations which can not be determined because the characteristics granular metrics of these materials prevent the application of these test by their granular metrics limitants.

At the beginning of the present document to make a retrospective of the historical antecedents in the use of the granular draining materials, with the intention of sensitizing the attention that demonstrate the Colombian effective norms when not counting whit liniments for their use, considering the necessity to using in zones of high rainfall of great part of the Colombian marginal territory where actually to required a expansion of the road network.

Later, to propose a methodology to the evaluation, control and receipt of these materials based in the theory of efforts and deformations and the application of unpublished proofs development in the Junín – Barbacoas route, using simple and conventional equipment as the beam Benkelman and CBR in situations,

appropriates for situations of difficult accessibility and conditions permanent of control and receipts.

Applying the theories and the obtained results is determined to contribute structural of the granular draining materials used in the Junín – Barbacoas route and finally is applied the experience obtained in the study fitting the particular specifications of these materials to the conditions required for the evaluation, control and receipt.

As resulting from the study determines that the design of the paving of the paving project actually executed in the Junín – Barbacoas route are agreed to the conditions to these materials and contrast that its resilient module and structural contribution does not obey to a behavior normal, watching variations that depend of the thickness and the subgrade, obtaining values in conditions more unfavorable similar in the typical sub-base and in the best conditions to those of the granular base used normally.

INTRODUCCION

Como es de conocimiento general, en Colombia, el Instituto Nacional de Vías es la entidad que define las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, las cuales brindan las bases en la proyección de las obras que se desarrollan de la infraestructura vial del país. Los diferentes proyectos de construcción y mejoramiento de carreteras que se han desarrollado adoptan dichas especificaciones y eventualmente para cada proyecto se definen diferentes especificaciones particulares dependiendo de las estrategias determinadas en situaciones especiales.

A veces las especificaciones generales y particulares adoptadas en los programas de inversión vial no se ensamblan convenientemente a las condiciones existentes en las zonas de cada proyecto, bien sea por condiciones ambientales, sociales, topográficas, fuentes de materiales u oferta y demanda de equipos necesarios para desarrollar las mismas.

Teniendo en cuenta las necesidades en las cuales el país se ve inmerso y las políticas socioeconómicas gubernamentales como los tratados de libre comercio, se requiere la expansión y mejoramiento de la malla vial existente, para obtener mayor competitividad con los mercados internacionales. Actualmente la mayor parte del desarrollo vial se presenta en las zonas montañosas donde existe mayor asentamiento poblacional, pero se requiere la expansión hacia los puertos marítimos del Océano Pacífico, con el objeto de disminuir los costos operacionales del transporte de la carga.

En la zona costera del Pacífico predomina el suelo tropical húmedo, con condiciones diferentes a las definidas en las Especificaciones Generales

de Construcción de Carreteras adoptadas en el país, ya que éstas son basadas en normatividades extranjeras que no tienen en cuenta los aspectos climatológicos, geológicos, geotécnicos y las difíciles situaciones de orden público y de accesibilidad que se presentan en dichas zonas e impiden o dificultan la aplicación de las mismas.

Uno de los aspectos importantes en la construcción de pavimentos es la definición de los materiales para elaborar las diferentes capas de la estructura, al respecto, en las especificaciones generales del INVIAS se establece la normatividad para afirmados, bases y sub bases donde se determina las características y requisitos necesarios que los definen para cada caso, pero hay sectores como los mencionados en zonas tropicales húmedas, donde por condiciones climatológicas, es necesario y recomendable utilizar materiales con características especiales; principalmente la de gradación, que debido a que en circunstancias de fuertes y continuas precipitaciones se requiere disminuir la proporción de las partículas finas para evitar que el continuo flujo de agua y presión de poros las remueva; y aumentar las dimensiones y proporciones de las partículas gruesas para conformar en su conjunto una estructura estable y resistente ante las cargas y condiciones de drenaje.

Tal es el caso lo observado en el desarrollo de la construcción de la carretera Junín – Barbacoas; localizada en la Costa Pacífica nariñense, en el Pie de monte costero donde el clima corresponde a una zona tropical húmeda, la precipitación anual supera los 7.000 m.s.n.m. y sus condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas obligan a utilizar materiales con diferentes características a las convencionales.

1. ANTECEDENTES HISTORICOS Y CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS CON CAPAS GRANULARES DE PAVIMENTOS.

La evolución tecnológica de la construcción de carreteras se ha promovido desde los inicios en épocas medievales debido a la necesidad de comunicarse y establecer el dominio de territorios. Es importante prestar atención al desarrollo de las tecnologías para valorar los antecedentes históricos como fuente de la experiencia y legado de la civilización.

Cuando por diferentes condiciones el desarrollo se ve truncado por la marginidad y situaciones sociales adversas, la tecnología disponible será entonces la que establezca tales condiciones y deberá acogerse prácticas basadas en la necesidad y disponibilidad de los recursos existentes. Esta afirmación no debe alejar a la sociedad de utilizar el mejor recurso tecnológico existente.

1.1. ASPECTOS HISTORICOS

En las épocas antiguas los Romanos le dieron gran importancia al diseño y a un adecuado sistema de drenaje, es por eso que los caminos que construían eran duraderos. El drenaje consistía en la excavación de zanjas paralelas al camino, la tierra procedente de aquellas se utilizaba para la formación de un banco asentado sobre una cimentación formada en fragmentos de piedra y cerámicas cementadas con limo. Los grandes bloques poligonales de piedra dura o de lava solidificada se encajaban cuidadosamente para formar la capa de terminación. El término latino para esta superficie era *pavimentum*, que hoy en día conocemos como pavimento.¹

¹ BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis y BEVÍA GARCÍA, José. Manual de carreteras: Vol.1 Elementos Proyecto. Alicante (España): Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. 5 y 6 p.

Así, la sección tipo de una calzada romana se hallaba integrada por las siguientes capas, de abajo hacia arriba:²

- Un cimiento de piedras planas o *statumen*.
- Una capa formada de ripios y detritus de cantera, llamada *rudus*.
- Una capa intermedia de hormigón a base de piedra triturada y cal grasa, llamada *nucleus*.
- Una capa de terminación, formada por un enlosado de piedra sellado con mortero de cal, denominada *summum dorsum*.

Uno de los ejemplos es la vía Apia, que es una de los carretables más emblemáticos de los Romanos, terminada de construir a finales del año 244 a.C. la cual sirvió de gran importancia estratégica y que actualmente algunos de sus sectores se conservan.²

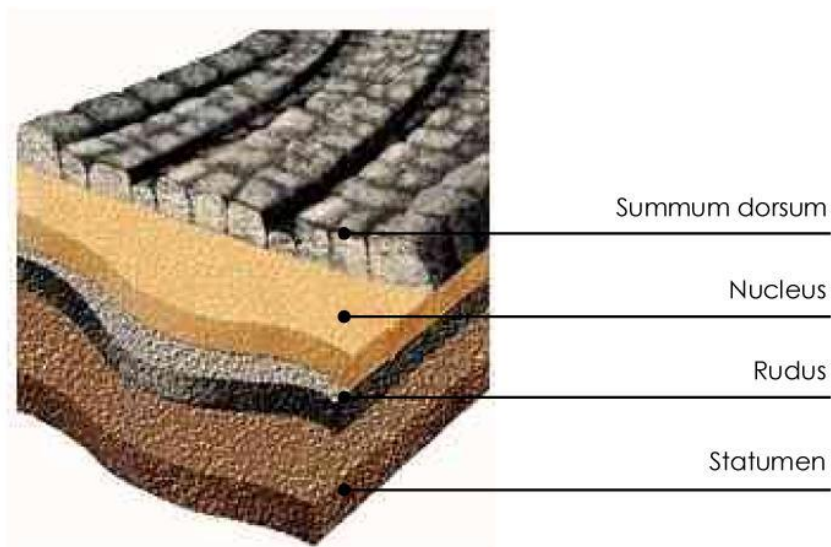


Figura No I.1. Estructura del pavimento de carreteras antiguas romanas.²

² BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis y BEVÍA GARCÍA, José. Op. cit. 7 p.



Figura No I.2. Segmento de la vía Apia.³

Después de la evolución que en diferentes civilizaciones desarrolló la tecnología de carreteras, durante los tres primeras épocas del siglo XIX dos (2) ingenieros británicos, Thomas Telford y Jhon Loudon McAdam, así como un ingeniero de caminos francés Pier Marie Jerome Trésaguet perfeccionaron los métodos y técnicas de construcción de carreteras.³

El ingeniero escocés Jhon Loudon McAdam (1.756 – 1.836) se dedicó a estudiar métodos de mejora de carreteras, consiguiendo construir carreteras capaces de soportar tránsito rodado relativamente rápido. McAdam concebía la calzada como un colchón de reparto de las cargas de tráfico y mantenía que un terreno bien drenado soportaría cualquier carga. En su sistema de construcción de carreteras, la capa de piedra triturada, sin ningún tipo de elemento aglomerante, se colocaba directamente sobre un cimiento de tierra que se elevaba del terreno circundante para asegurar un correcto desagüe.³

³ BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis y BEVÍA GARCÍA, José. Op. cit. 9 y 10 p.

Esencialmente su método consistía en disponer tres capas de piedra de unos 10 cm. de espesor cada una, compactadas manualmente y posteriormente apisonadas con rodillos arrastrados por caballos. Debido al efecto de apisonado y del peso del tráfico rodado los bordes de las piedras iban puliéndose, haciendo resbaladiza la superficie firme. Estas carreteras macadamizadas o macadam era norma general en Gran Bretaña hasta la iniciación de la época de los vehículos de motor. Las llantas de goma de los automóviles más rápidos tenían que descubrir la superficie de piedra apareciendo baches y socavones, a lo que se añadía la gran cantidad de polvo levantado por los vehículos. Este problema condujo a la búsqueda de mejores superficies de rodadura, tales como el asfalto.⁴

Thomas Telford (1.757 – 1.834) fue otro ingeniero Escocés de reconocida fama mundial. Su método consistía en hacer las carreteras lo suficientemente resistentes como para soportar la máxima carga admisible; esto fue posible debido a que a diferencia de McAdam, Telford dedicó más atención al estudio de la cimentación. Su sistema implicaba la construcción de material resistente, roca a ser posible; estos se recrecían en el centro para que la carretera se inclinara hacia los bordes permitiendo su desagüe. La parte superior de las carreteras se componía de una capa de 7,5 cm. de piedra triturada y compactada; finalmente una capa de rodadura de gravilla que afinaba la superficie. De esta forma se conseguía un mejor reparto de las tensiones transmitidas por los vehículos circundantes a lo largo de la estructura.⁴

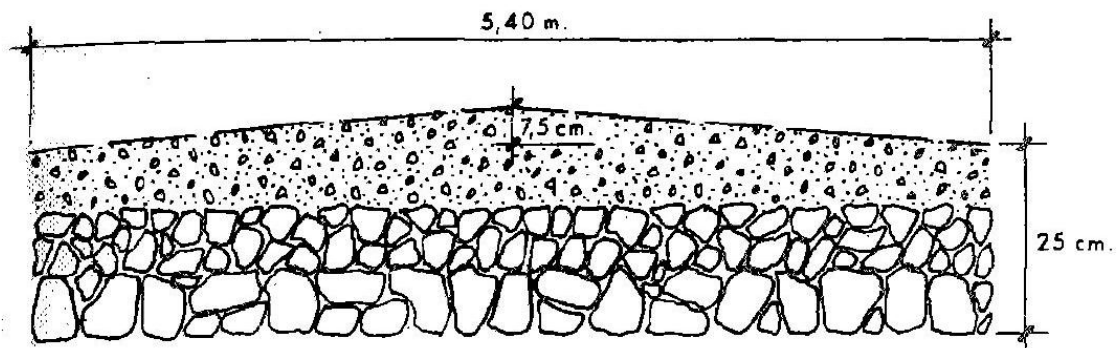


Figura No I.3. Firme tipo McAdam⁵

4 BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis y BEVÍA GARCÍA, José. Op. cit. 9 y 10 p.

5 ZORIO BLANCO, Valeriano. Breve historia de las carreteras. Madrid: Revista de obras públicas, Enero 1987. 27 a 38 p

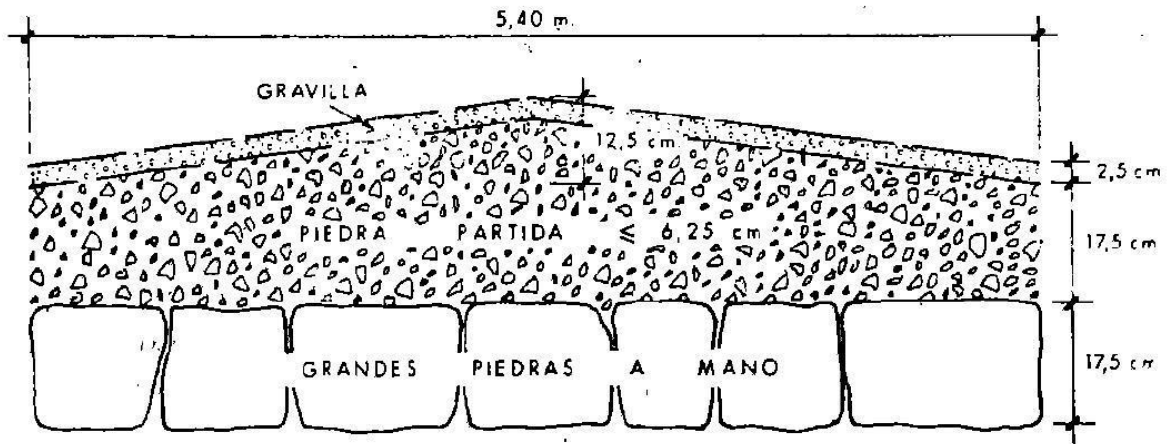


Figura No I.4. Firme tipo Telford⁶

En Francia, a mediados del siglo XVII, se destaca la labor de implementar un sistema de concesión y construir 24.000 Km de carreteras, condición que implicó determinar normas para asegurarse del apropiado desarrollo. En esta labor se destaca los aportes de Pierre-Marie-Jerôme Tresaguet (1.746 – 1.876) a quien se le atribuye haber codificado por primera vez la construcción de carreteras. Impulsado por el deseo de reducir el espesor de las capas que conforman el pavimento, diferenciaba su método a los de McAdam y Telford en que, aunque también utilizaba capas de áridos cuya granulometría iba aumentando con la profundidad, diseñó cada capa ligeramente bombeada a dos aguas, siendo el eje del carretable el punto más alto, para así conseguir una mejor evacuación de las aguas hacia los costados, obteniendo la siguiente estructura:⁷

- Un cimiento a base de piedras gruesas hincadas a mano.
- Una capa de regulación, constituida por fragmentos de piedras ordenadas y compactadas a mano, que aseguraban la transmisión y el reparto de las cargas a la base.
- Una capa de rodadura, de unos 8 cm. de espesor, con agregados del tamaño de una nuez, triturados con maceta y colocados mediante una paleta.

⁶ ZORIO BLANCO, Valeriano. Op. cit. 27 a 38 p

⁷ BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis y BEVÍA GARCÍA, José. Op. cit. 11 p.

En la parte lateral del carretable se construía un sardinel formado con piedras para evitar que el material colocado en la capa de rodadura se perdiera.

Posteriormente las tecnologías se fueron innovando y a la capa de rodadura se le brindó un revestimiento bituminoso que brindó mejores condiciones de durabilidad y comodidad a las carreteras.

En América, aunque en las civilizaciones antiguas habían construido caminos como los encontrados en el Perú, Ecuador y Bolivia, construidos por los Incas; en América Central construidos por los Mayas y Aztecas y en Norte América se encontraron sendas por las cuales comerciaban los pueblos indios; hasta el año 1.825 se inició la construcción de la Ruta Overland que partía de Missouri hacia el oeste. En Estados Unidos debido a la proliferación de redes ferroviarias se redujo la importancia de sendas y caminos, hasta que el desarrollo del motor de combustión interna renovó el interés por este tipo de vías de transporte.

En Colombia, hasta finales del siglo XVIII, los caminos se limitaban a trochas o caminos ganaderos, los caminos carretables empezaron a construirse tras la aparición de los vehículos de ruedas, cuyo uso era limitado para el transporte urbano. Las fuentes de transporte en Colombia fueron los ríos y los caminos se limitaban a pasos de accesos a éstos desde las poblaciones cercanas.⁷

Teniendo en cuenta la necesidad de extraer materias primas y principalmente el café, la era del ferrocarril convergió tempranamente en Colombia y la ingeniería extranjera y mano de obra artesanal colombiana se dedicó por muchos años a generar vías férreas. El advenimiento generado por una nueva política de infraestructura de 1863 proyectada a construir nuevas vías y ferrocarriles, impulsó a desarrollar contratos que estipulaban las condiciones de recibo. Es así como se desarrolló un sistema de concesiones que produjo una multitud de caminos de herradura que generaron descontento por los monopolios que las usaban. Se proyectó entonces, crear un sistema de caminos rodados de

⁷ VARGAS CAICEDO, Hernando. De la Mula al Avión. Bogotá: Universidad de los Andes, 2002. 9 p.

conexión interoceánica, esquema que no pudo llevarse a cabo por la era del ferrocarril, a pesar de las tecnologías disponibles generadas en Europa por MacAdam y Telford, su aplicación en los caminos fue fragmentada debido a las condiciones de accesibilidad y deshonestidad de los funcionarios públicos.

El ferrocarril en Colombia inició en 1874 desde el puerto Berrío, construidas para satisfacer las necesidades de comercio, principalmente del café, condición que se mantuvo hasta 1.930. Después de la guerra de los mil días y en el Gobierno de Rafael Reyes en 1.905 se creó el Ministerio de Obras Públicas promoviendo el desarrollo de los ferrocarriles e iniciando la era de las carreteras, en este periodo de gobierno se construyó 1.000 Km de carreteras.

Después de la llegada del primer automóvil a Colombia en 1.917, entre 1.930 y 1.950 las carreteras tomaron fuerza debido a las dificultades de crecimiento de las líneas férreas. Hasta 1.945 se contaba con 18.500 Km. de carreteras, de las cuales se encontraban pavimentadas con asfalto 849 Km., en Macadam 13.141 Km. y sin afirmar 4.455 Km., pero en general, eran angostos, carecían de puentes para el paso de los ríos y atravesaban terrenos escarpados y altas montañas, donde se asentaba gran parte de la población colombiana. En 1.931 se promulgó la ley 88 que determinó la regulación de la planificación, proyección, construcción, conservación, financiación, uso y explotación de las carreteras estatales. En 1.951 mediante ayuda financiera del Banco Mundial se financió diferentes obras, entre otras el desarrollo de tecnología en el sector vial.⁸

Hasta 1.966 el Ministerio de Obras Públicas y Transporte presentó las primeras especificaciones de construcción de carreteras; en ellas se plasmaba entre otras las recomendaciones para construcción de sub bases granulares y macadam.

En dichas normas o recomendaciones constructivas como se hacían llamar se definía tácitamente las características de estos materiales, su proceso constructivo y controles requeridos.

⁸ RAMIREZ G., María Teresa. La infraestructura de transporte terrestre en Colombia durante la primera mitad del siglo XX. Bogotá: Banco de la República, 2005. 80 p.

1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE CAPAS GRANULARES

1.2.1 Materiales pétreos utilizados en capas granulares del pavimento. Los materiales que conforman una capa granular de pavimento son en su mayoría (>90%) un conjunto de partículas de diferentes tamaños que provienen principalmente de la fragmentación natural o artificial de las rocas.

CLASE/Grupo		Propiedades	Ejemplos	
ÍGNEAS	Básicas	BASALTOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rocas máficas (oscuras) ➤ Alta resistencia mecánica ➤ Bajos desgaste al pulido ➤ Buena adhesividad 	Basalto, andesita, diabasa, ofita, lamprófico y traquita
		GRABOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Buen comportamiento mecánico en carreteras ➤ Durables y resistentes ➤ Relativa escasez, zonificadas 	Gabro, diorita, gneis básico, peridotita y sienita
	Ácidas	GRANITOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pueden presentarse alteradas ➤ Rocas abrasivas, poco pulibles ➤ Escasa adhesividad a los ligantes ➤ Presentan cierta fragilidad 	Granito, cuarzodiorita, gneis, aplita granodiorita y pegmatita
		PÓRFIDOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Textura adecuada para firmes ➤ Bajo desgaste al pulimento ➤ Problemas de adhesividad 	Pórfidos, dacita y riolita
SEDIMENTARIAS	Básicas	CALIZAS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy susceptibles al pulido ➤ Buena adhesividad ➤ Fácil extracción y tratamiento 	Caliza, dolomía y mármoles
		Ácidas	ARSENICAS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy resistentes al pulimento ➤ *Presentan un elevado desgaste ➤ Buena adherencia a ligantes ➤ Muy escasos en la Península
	PEDERNAL		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy duras y quebradizas ➤ Buena resistencia al desgaste ➤ Dan áridos lajosos y cortantes ➤ Muy susceptibles al pulimento 	Pedernal, sílex, cornubianita, y ftanita
	CUARCITAS		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy duras y resistentes ➤ Difícil extracción y trituración ➤ Pueden presentar alteraciones ➤ Escasísima adhesividad 	Cuarcita, cuarzoarenita y cuarzo
METAM	ESQUISTOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Formas lajosos y alteradas ➤ Elevado peso específico ➤ Válidos si no contienen mica 	Esquistos, filitas y pizarras	
INDUST	MATERIALES ARTIFICIALES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tratados industrialmente ➤ Características específicas que complementes al árido natural ➤ Potencia ciertas propiedades 	Escorias de alto horno, firmes reciclados y cenizas volantes	

Tabla No I.1 Tipo de rocas

Aunque aparentemente las partículas provenientes de rocas son de naturaleza inerte, hay que tener en cuenta que pueden reaccionar con el agua y sus productos en disolución, por esta razón es importante conocer su procedencia y el efecto de ésta sobre sus propiedades:

Atendiendo a su NATURALEZA	Atendiendo a su ORIGEN	Atendiendo a su ADHESIVIDAD con ligantes
<u>IGNEAS:</u> Compactas, duras y muy resistentes.	<u>NATURALES:</u> Procedentes de yacimientos naturales	<u>ACIDOS:</u> Silíceos, hidrófilos, mala adhesividad.
<u>SEDIMENTARIAS:</u> Fácilmente pulibles.	<u>ARTIFICIALES:</u> Sometidas a un proceso de trituración	<u>BASICOS:</u> Alcalinos, hidrófobos, buena adhesividad
<u>METAMORFICAS:</u> Lajosas, alteradas y poco utilizables.	<u>SINTÉTICAS:</u> Obtenido mediante métodos industriales.	

Tabla No 1.2 Procedencia y su efecto en algunas propiedades

1.2.2 Funciones de los materiales granulares en las capas del pavimento:

Los materiales granulares utilizados en capas inferiores del pavimento tienen diferentes funciones que dependiendo de la ubicación de la capa y del tipo de material ofrecen rodadura temporal, economía, tracción control de deformaciones, resistencia y drenaje; algunas de estas funciones se tornan más importantes que las otras dependiendo de la calidad de los materiales y las solicitudes a las que se encuentran expuestas.

Para cumplir efectivamente con estas funciones, en los materiales deben considerarse las siguientes características físicas y mecánicas:

- Estabilidad mecánica: la capa de material debe resistir las cargas del tráfico a través del tiempo sin sufrir deformaciones excesivas ni de forma permanente.
- Compacidad: Cuanto más compacta sea la capa, es decir, presente menores vacíos, tendrá menor posibilidad de colapsar mecánicamente, ofreciendo además mayor facilidad constructiva.
- Durabilidad: las propiedades físico – mecánicas se deben conservar a través del tiempo ya que se debe garantizar su funcionalidad durante todo el periodo de diseño. Las deficiencias en esta propiedad afecta directamente las demás capas que integran el material.
- Susceptibilidad al agua: la presencia excesiva de cantidad de finos puede provocar fenómenos de cambio volumétrico en presencia del agua, que acaben abombando, rompiendo e inutilizando el pavimento.
- Permeabilidad: Las capas granulares deben evacuar con rapidez el agua que penetra en ellas. Para tal efecto se debe utilizar materiales drenantes carentes de finos.

Para el análisis de las características de los materiales granulares es necesario tener en cuenta algunos aspectos de los ensayos y su objeto en función de la selección, caracterización, procesamiento y control de la instalación de los mismos en desarrollo de la construcción de un pavimento con el objeto de garantizar los aspectos requeridos en la vida útil del pavimento de la siguiente manera:

1.2.2.1 Garantizar la calidad de las partículas minerales: La calidad de las partículas es un aspecto determinante en la selección de una fuente, sin cumplir este requisito una fuente puede ser rechazada o puede determinar un agravante para implementar la adición o mezcla con materiales de mejores características cuando las partículas deficientes no afecten la resistencia y durabilidad del conjunto.

➤ Dureza:

Una de las características para evaluar la dureza es la resistencia a la abrasión la cual se la evalúa mediante el ensayo al desgaste en la Máquina de los Ángeles, este ensayo tiene por objeto determinar el comportamiento mecánico del material en las condiciones reales de funcionamiento y la degradación del mismo a lo largo del tiempo. El ensayo determina la pérdida de masa que sufre el material después de someterlo en la máquina contenida con esferas de acero macizo a una velocidad angular constante. El número de esferas y revoluciones varían dependiendo de la gradación de las partículas ensayadas. (INV-E-218-07).

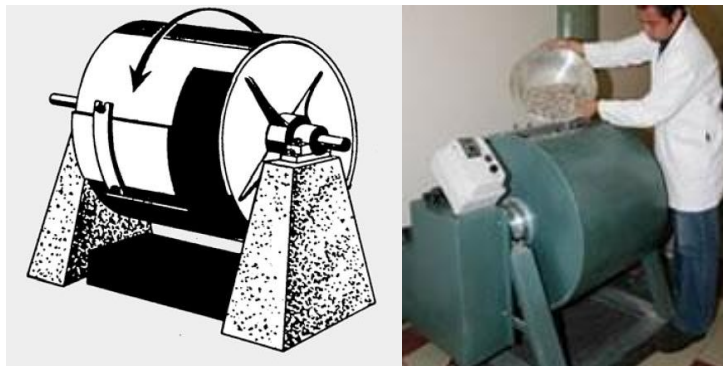


Figura No 1.5. Máquina del Los Ángeles

Actualmente la evaluación de desgaste de materiales, principalmente de base granular se los evalúan también después de 48 horas en inmersión.

Recientemente se ha aplicado el método Deval de origen Francés el cual se lo aplica para evaluar la pérdida del material por abrasión en presencia de agua y de una carga abrasiva. (INV-E-238-07)



Figura No I.6. Máquina de Micro-Deval

Igualmente se ha implementado la norma de ensayo de evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos, método consistente en someter el material a la trituración mediante la aplicación de esfuerzos de compresión, determinando la carga necesaria, para producir en el agregado grueso, un 10% de finos, que son constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No 8) después de ser sometido a esta prueba. (INV-E-224-07).

Otra característica a evaluar es determinar el contenido de partículas deleznablees como son los terrones de arcilla u otro tipo de partículas, condición delimitada en un bajo porcentaje aceptable (<2%). (INV-E-224-07).

➤ Durabilidad:

La durabilidad se la evalúa mediante el ensayo de sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. Mediante este ensayo que simula las condiciones climáticas se determina la

resistencia a la desintegración del material ante agentes químicos provenientes de la composición de materiales contenidos en la subrasante y/o en el agua infiltrada. (INV-E-220-07).

1.2.2.2 Garantizar la adecuada estructura: Mediante esta característica se garantiza la resistencia, permeabilidad y trabajabilidad del material.

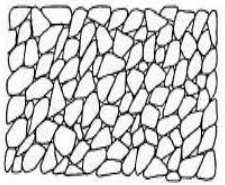
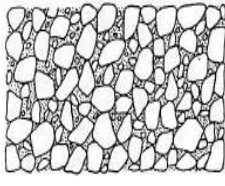
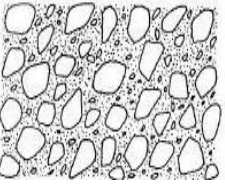
ESTRUCTURA	CARACTERÍSTICAS	ESQUEMA
UNIFORME MACADAM	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tamaño uniforme de los áridos ➤ Alto índice de vacíos ➤ Elevado rozamiento interno ➤ Características drenantes ➤ Difíciles de compactar (compactación energética) 	
CONTINUA ZAHORRAS NATURALES Y ARTIFICIALES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Graduación escalonada de tamaños (granulometría continua) ➤ Bajo índice de huecos ➤ Elevada densidad u compacidad ➤ Condiciones de drenaje supeditadas a la calidad de los finos ➤ Estabilidad a las cargas de tráfico 	
DISCONTINUA CON EXCESO DE FINOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Áridos de similar tamaño embebidos en una matriz de partículas finas ➤ Baja capacidad portante ➤ Gran impermeabilidad ➤ Susceptibles ante la presencia de agua ➤ Deformaciones permanentes 	

Tabla No I.3 Tipos de estructuras granulares

La adecuada estructura se evalúa mediante el ensayo de granulometría. La gradación es una de las características que determina la principal distinción de los materiales evaluados en el presente estudio respecto de los materiales convencionales de bases y sub bases usados en la construcción de pavimentos.

➤ Granulometría:

La finalidad de este ensayo es determinar cuantitativamente las proporciones del tamaño de los distintos granos existentes en el material. Para realizar el ensayo se utiliza una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente. Teniendo en cuenta el tamaño de las partículas el Sistema Unificado (USC) y la norma americana los suelos se clasifican de la siguiente manera:

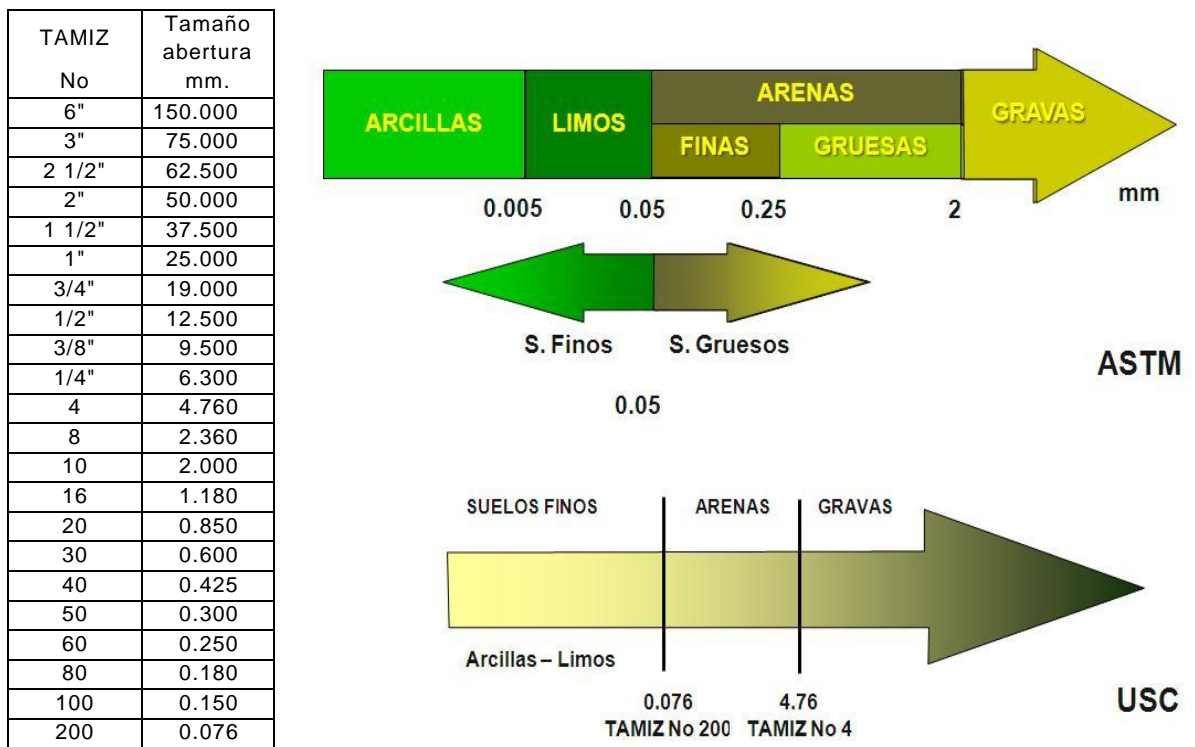


Figura No I.7. Clasificación de los suelos de acuerdo al tamaño de las partículas de acuerdo a la U.S.C. y A.S.T.D.M.

Para materiales usados en pavimentos la clasificación genérica utilizada es la siguiente:

TIPO	DENOMINACION		TAMAÑO		TAMIZ	Tamaño abertura
			L. Sup.	L. Inf.	No	mm.
SUELOS GRANULARES	Bolos y bloqueos		> 60		6"	150.000
					3"	75.000
					2 1/2"	62.500
	Grava	Gruesa	60	20	2"	50.000
					1 1/2"	37.500
					1"	25.000
		Media	20	6	3/4"	19.000
					1/2"	12.500
					3/8"	9.500
					1/4"	6.300
		Fina	6	2	4	4.760
					8	2.360
	10				2.000	
	16				1.180	
	Arena	Gruesa	2	0.6	20	0.850
					30	0.600
					40	0.425
Media		0.6	0.2	50	0.300	
				60	0.250	
				80	0.180	
Fina	0.2	0.08	100	0.150		
			200	0.076		
SUELOS COHESIVOS	Limo	Grueso	0.08	0.02	Pasa 200	
		Medio	0.02	0.006		
		Fino	0.006	0.002		
	Arcilla		< 0.002			

Tabla No I.4. Clasificación genérica de los suelos de acuerdo al tamaño de las partículas.

El ensayo ofrece como resultado una gráfica semilogarítmica que determina la gradación del material obteniendo una curva que representa el porcentaje de material que pasa a través del tamiz y el tamaño de las partículas. Normalmente las especificaciones para cada material delimitan la aceptación del material mediante dos (2) curvas que determinan el límite superior e inferior requerido. (INV-E-213-07).

En la gráfica granulométrica para el uso de materiales en carreteras se pueden observar dos parámetros importantes:

- La regularidad, determinada numéricamente mediante el coeficiente de curvatura $C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$; donde D_{30} , D_{10} y D_{60} son los porcentajes en peso del material que pasa en las aberturas de tamices con valores de 30%, 10% y 60% respectivamente.

La regularidad determina dos tipos de granulometrías: Discontinua o mal gradada y Continua o bien gradada. En pavimentos es muy importante que el material a utilizar se encuentre bien gradado para que al compactarlo, las partículas más finas ocupen los espacios que dejan las más gruesas, alcanzando una mayor estabilidad y capacidad portante. El suelo bien gradado presenta valores de C_c entre 1 y 3.

Cuando la granulometría es discontinua la curva granulométrica presenta picos y tramos planos, que indican que varios tamices sucesivos no retienen material, evidenciando que la variación de tamaños es escasa. En este tipo de material se encuentra el Macadam.

Cuando la granulometría es continua los tamices evaluados retienen material en su totalidad, por lo cual la curva adopta una posición suave y continua. Un ejemplo de este tipo de material son las zahorras (Afirmados, Bases y Sub bases comúnmente utilizados).

- El coeficiente de uniformidad definido por Hazen como la relación de aberturas de tamices por donde pasa el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada: $C_u = D_{60} / D_{10}$; según este coeficiente, el material que arroje valores inferiores a 2 se considera muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior de 5 define un material un suelo uniforme.

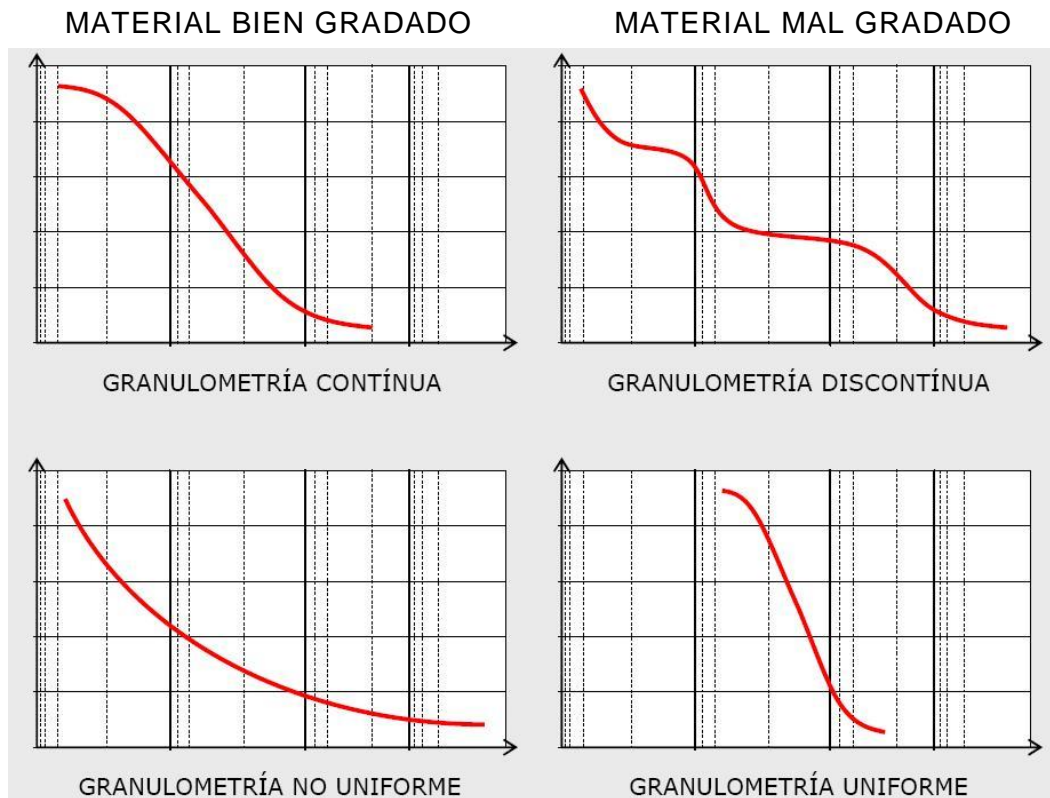


Figura No 1.8. Interpretación de la curva granulométrica.

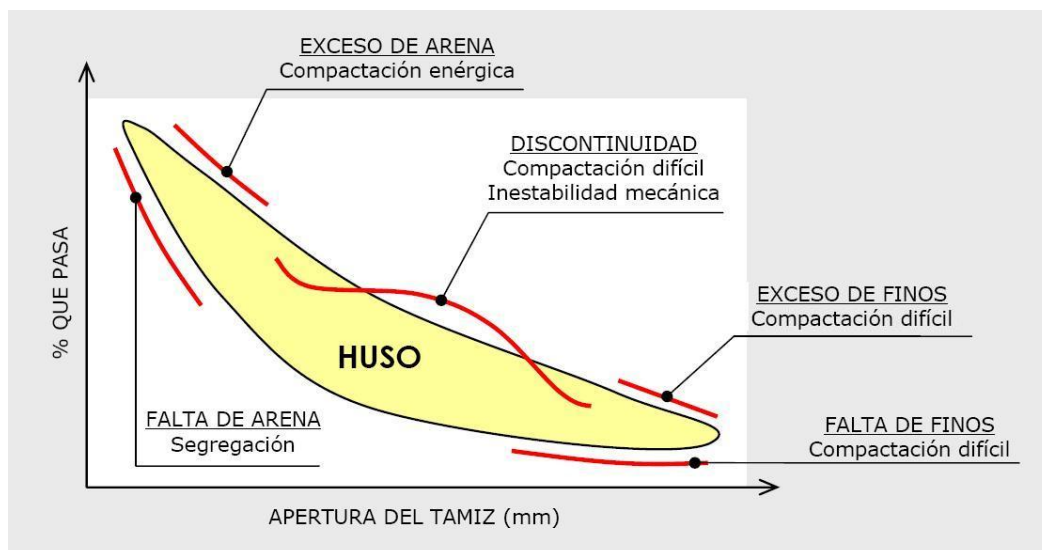


Figura No 1.9. Influencia de la granulometría en las propiedades de un material granular.

Las especificaciones de construcción para carreteras contemplan diferentes “husos” granulométricos tipo para cada material. En la Figura No 1.9 se indica que afectación podría tener cuando la curva granulométrica se aleja del huso establecido.

1.2.2.3 Garantizar la adecuada forma de las partículas: La forma de las partículas de un material da una idea de la aptitud de su esqueleto mineral a resistir mecánicamente esfuerzos. Los granos de un material pueden tener cuatro (4) formas diferentes: Redondeados, cúbicos, lajeados y agujas; el primero es de origen puramente natural, procedentes de depósitos aluviales o eólicos, mientras que los segundos se obtienen mediante procesos de trituración y los dos (2) últimos, lajas y agujas son los que presentan mayor riesgo de rotura en presencia de carga.

La geometría de las partículas se la evalúa mediante los siguientes tres (3) ensayos:

➤ Índice de alargamiento y aplanamiento: (INV-E-230-07).

El ensayo de índice de aplanamiento consiste en dos operaciones sucesivas de tamizado. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones de un agregado que pasa por el mayor de los tamices (D_i) y es retenido por el menor (d_i). Cada una de las fracciones granulométricas d_i/D_i se criba a continuación empleando para ello tamices de barras paralelas y separadas $3/5[(d_i+D_i)/2]$, las partículas que pasen son consideradas planas; cuando no se disponga de tamices de barras paralelas se pueden utilizar el calibrador tradicional de espesor, para separar las partículas planas.

El ensayo de índice de alargamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en

fracciones d_i/D_i ; cada fracción se analiza utilizando el calibrador de alargamiento, para separar las partículas largas.

$$I_{AP} = \text{Peso de Partículas Aplanadas} / \text{Peso de la muestra total} \times 100$$

$$I_{AL} = \text{Peso de Partículas Alargadas} / \text{Peso de la muestra total} \times 100$$

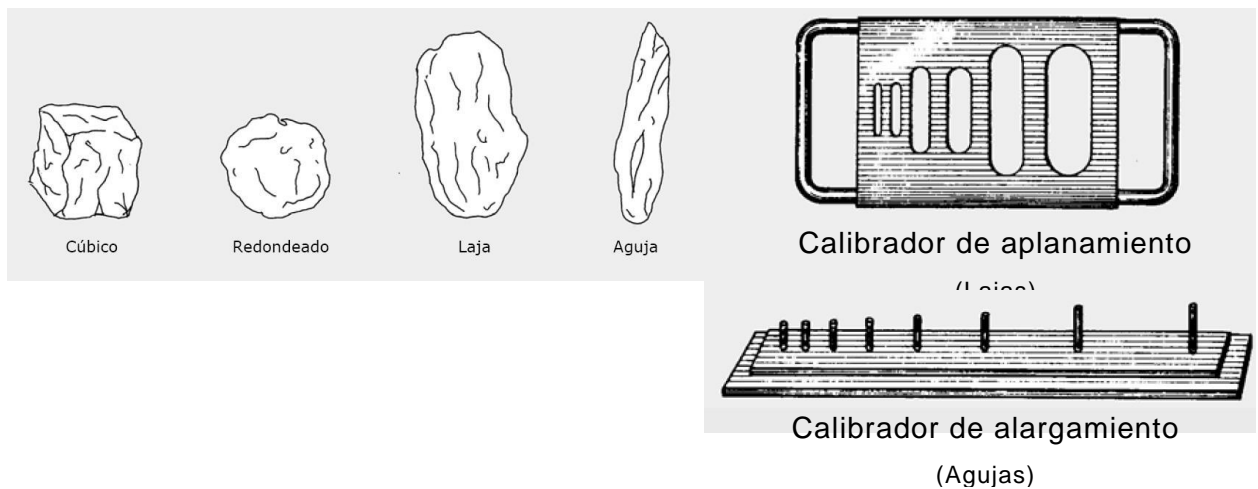


Figura No I.10. Materiales a evaluar y calibradores de aplanamiento y alargamiento.

- Porcentaje de caras fracturadas: (INV-E-227-07).

Otro aspecto morfológico que influye en la resistencia de un material granular es la angulosidad de sus partículas. Si las partículas poseen caras fracturadas con aristas vivas y superficie rugosa presentará un mayor rozamiento interno, lo que hará al material más resistente mecánicamente. El porcentaje de caras fracturadas se determina de la siguiente manera:

De una muestra representativa limpia y seca se inspecciona cada partícula y se verifica si cumple con el criterio de fractura, si la cara constituye un cuarto de la mayor sección transversal de la partícula se la considera como cara fracturada. Su valor se determina con la siguiente expresión:

$$P = ((F+Q/2) / (F+Q+N)) \times 100$$

Donde:

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,

F = masa o número de partículas fracturadas con al menos el número de caras fracturadas especificado,

Q = masa o número de partículas en la categoría cuestionable o frontera, y

N = masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas o que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.

1.2.2.4 Garantizar la nula actividad de los finos: Teniendo en cuenta que los materiales granulares estudiados en el presente trabajo contiene bajas proporciones de materiales finos menores a 0.425 m.m. (pasantes de tamiz No 40), es necesario considerar la aplicación de la actividad de los finos, observando que éstos contribuyen a la estabilidad y resistencia del conjunto. Su control se realiza mediante los ensayos tradicionales: Límites de Atterberg (Límite líquido INV-E-126-2007 e Índice de plasticidad INV-E-125-2007) y Equivalente de arena (INV-E-133-2007); aunque actualmente se ha estipulado como control el ensayo de Valor de Azul de Metileno (INV-E-235-2007) y contracción lineal INV-E-127-2007.

➤ Límites de Atterberg (Límite líquido INV-E-125-2007 e Índice de plasticidad INV-E-126-2007):

Los estudios desarrollados por Atterberg determinaron los cuatro (4) estados de consistencia de los suelos (Sólido, semisólido, plástico y líquido), basándose en el cambio de plasticidad que experimenta un suelo debido a la cantidad de agua o humedad que contiene, expresado en función del peso seco de la muestra. De este hallazgo interesan especialmente los umbrales que determinan

dichos estados debido a que los cambios presentados en un suelo por el efecto del agua determinan efectos bruscos en la resistencia y en general del comportamiento mecánico del mismo.

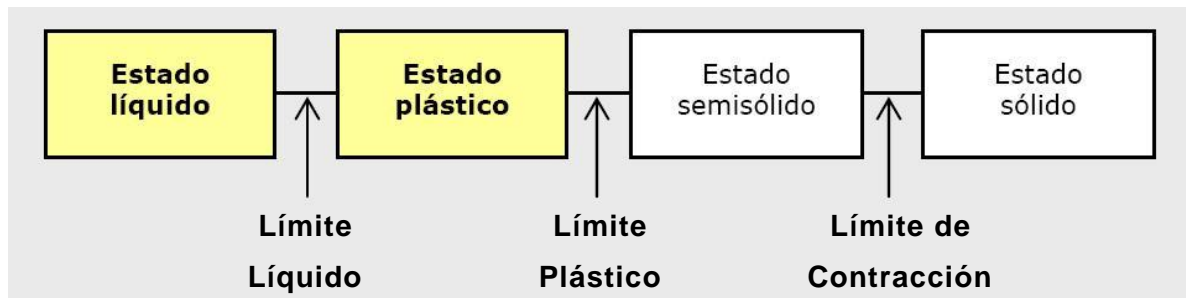


Figura No I.11. Estados de consistencia de un suelo.

Uno de los umbrales es el límite líquido el cual es el menor contenido de agua para el cual un suelo pasa del estado plástico al líquido y viceversa. Para determinarlo se realiza el ensayo que lleva su nombre y consiste en tomar una muestra seca del suelo mezclado que pase por el tamiz No 40 (0.425 m.m.) de aproximadamente 100 gr. a la cual se le adiciona agua (aproximadamente 15 gr. a 20 gr.) y a su mezcla y la determinada en incrementos de 1 a 3 ml. de agua se la amasa y homogeniza para posteriormente someter cada muestra al aparato de Casagrande en el cual se coloca parte de la muestra, se enrasa (con una profundidad de 10 mm. en el punto de su máximo espesor) y se separa con un calibrador para girar la manija y determinar el número de giros (golpes) que es necesario para que las dos pastas de suelo dentro de la cazuela se pongan en contacto en una distancia de 13 mm. sin deslizarse el material.

La operación se repite con cada muestra evaluada: las predeterminadas y las determinadas por cambios observados. Al final se grafica las humedades versus los golpes obtenidos para determinar con por lo menos tres (3) puntos la línea o curva de fluidez con la cual se determina el límite líquido determinando la humedad entre el corte de dicha curva y 25 golpes en la ordenada.



Figura No I.12. Ensayo del límite líquido.

Otro umbral es el límite plástico que se define como el menor contenido de agua para el cual un suelo comienza a fracturarse cuando es amasado en pequeños cilindros de unos 3 mm. El ensayo de Índice de Plasticidad, tiene por objeto inicialmente determinar dicho límite plástico, para hacerlo se toma una muestra de 200 gr. mezclada que pase por el tamiz No 40 (0.425 m.m.) y se realiza diferentes pruebas con variación de humedad para determinar la humedad del umbral mencionado. El Índice de Plasticidad es la diferencia de las humedades de dos (2) umbrales mencionados $I.P = L.L. - L.P.$

PARAMETRO		TIPO DE SUELO		
		ARENA	LIMO	ARCILLA
LL	Límite líquido	15 a 20	30 a 40	40 a 150
LP	Límite Plástico	15 a 20	20 a 25	25 a 50
LC	Límite de Contracción	12 a 18	14 a 25	8 a 35
IP	Índice de Plasticidad	0 a 3	10 a 15	10 a 100

Tabla No I.5. Valores típicos de consistencia del suelo.

➤ Equivalente de arena (INV-E-133-2007):

El ensayo de equivalente de arena permite hacer una rápida determinación del contenido de finos de un suelo, dándose una idea de su plasticidad. Para su desarrollo se separa la fracción arenosa del material mediante el tamiz No 4 (4.76 mm.) y se introduce un volumen de 90 cm³ de la misma en una probeta cilíndrica de 32 mm. de diámetro y 430 mm. de longitud, graduada cada 2 mm. A continuación se introduce una espesa disolución de trabajo (viene lista) formada por cloruro cálcico, glicerina y formaldehído diluidos en agua destilada, dejando reposar la mezcla durante 10 minutos. Seguidamente, el conjunto se agitará de forma normalizada 90 ciclos en 30 segundos, con un recorrido de unos 20 cm. para conseguir una mezcla íntima. Posteriormente se deja reposar durante 20 minutos.

Una vez transcurrido este tiempo, se observa visualmente la existencia de dos horizontes, uno de ellos de la fracción arenosa del suelo y otro por encima del anterior, relativo a la proporción de finos existentes en la muestra.

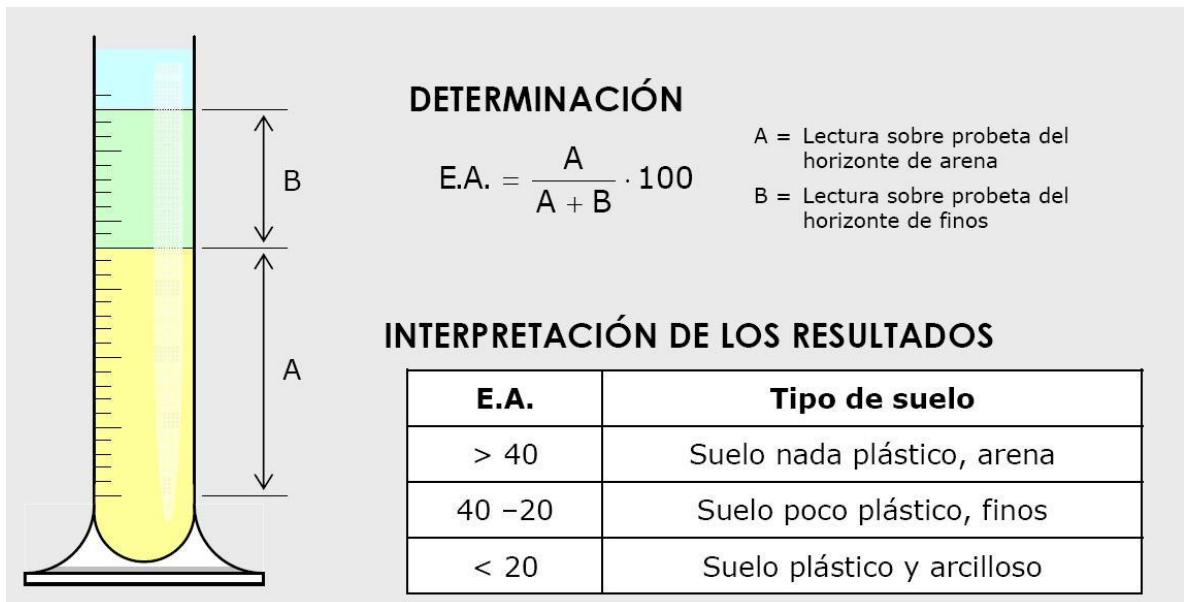


Figura No I.13. Ensayo equivalente de arena.

➤ Valor de azul de metileno (INV-E-235-2007):

La variación de humedad y la presencia considerable de arcilla y/o material orgánico en materiales utilizados en capas granulares pueden ocasionar efectos de estabilidad volumétrica que alteran las capas superiores, principalmente las capas de rodadura.

Los suelos finos (partículas <0.08 mm., pasante del tamiz No 100), se caracterizan por poseer mayor superficie específica, condición que implica el efecto del agua sobre su comportamiento. La cohesión es una propiedad característica de estos suelos, desde el punto de vista mecánico es la fuerza interparticular producida por la humedad contenida en dicho material, siempre y cuando no se encuentre saturada. Esta propiedad ofrece resistencia al suelo frente a esfuerzos cortantes.

Dentro del grupo de suelos finos existen dos subgrupos: los limos, de origen físico, formados por partículas de grano muy fino (entre 0.02 a 0.002 mm.) y las arcillas (< a 0.002 mm.) formadas por la meteorización química de las rocas. La diferencia entre los dos son las propiedades plásticas; mientras los limos son de comportamiento inerte frente al agua, las arcillas por la forma lajosa de sus granos y su reducido tamaño, acentúan los fenómenos de superficie, causa principal de su comportamiento plástico.

Los tipos de arcillas más comunes son: montmorillonita, kaolinita e illita. Las unidades cristalinas que las conforman están basadas en silicatos-aluminio hidratados. Todas las arcillas tienen un grado de adsorción debido a la capacidad de intercambio catiónico la cual está relacionada con la conformación y estructura de sus cristales, precisamente por ello se aprovecha la capacidad de adsorción del azul de metileno (un indicador catiónico) de una solución acuosa. El método de azul de metileno nos permite medir la capacidad de adsorción del azul por los

materiales arcillosos, materia orgánica e hidróxidos de hierro variando dicha capacidad según la superficie específica.

El ensayo azul de metileno se realiza cuando el equivalente de arena de un material de base granular sea inferior a 30, pero igual o superior a 25. Estos límites, sobre todo el inferior es el mínimo determinado para aceptar un material granular según dicho ensayo; pero significa que es un material con buena proporción de finos, los cuales deben evaluarse para determinarse con precisión el contenido de arcilla y recíprocamente en el grado de plasticidad que contienen.

El ensayo consiste en colocar una muestra seca 10 g. de material pasante del tamiz No 200 (0.002mm.) en un vaso volumétrico de 500 ml., adicionar 30 ml. de agua destilada y batir hasta obtener una lechada, seguidamente se adiciona 0.5 ml. de solución de azul de metileno y se agita durante un minuto. Con el agitador se obtiene una gota de esta mezcla y se deja caer sobre el papel filtro, se observa en la gota si presenta una aureola azul, si no es así, se continua adicionando 0.5 ml repitiendo el procedimiento hasta lograr tal efecto; al lograrlo se verifica con una mezcla con el mismo contenido agitada durante 5 minutos y se confirma. Cuando aparece la aureola de metileno significa que el contenido superó la absorción interna de las partículas y se muestra en forma de exceso.

$$VA = C \times V / W$$

Donde:

VA = valor de Azul de Metileno en mg de azul por gramo de material seco pasa el tamiz de 75 μ m (No 200),

C = concentración de la solución de Azul de Metileno, en mg de azul por ml de solución,

V = ml de solución de Azul de Metileno requerida en la titulación, y

W = gramos de material seco utilizado en la prueba.

1.2.2.5 Garantizar la resistencia global de la capa: Existen diferentes ensayos que determinan la resistencia global, su utilización depende de las condiciones proyectadas, del momento de evaluación y accesibilidad de la tecnología. Esta propiedad tradicionalmente se evalúa mediante la aplicación de los siguientes controles:

- Resistencia del suelo:

El comportamiento mecánico de un material es sin duda el factor más importante; de hecho los ensayos vistos anteriormente van encaminados a conseguir la mayor estabilidad mecánica posible, de forma que las tensiones se transmitan uniforme y progresivamente y no se produzcan deformaciones excesivas o colapso de la estructura. Teniendo en cuenta la variabilidad de ensayos que determinan esta propiedad, entre ellos, Módulo resiliente, Ensayo de placa y CBR, es importante observar la accesibilidad y la necesidad de ser práctico; el primero, se evalúa en condiciones de laboratorio, el segundo en condiciones especiales (poco accesible) y el tercero de mayor utilidad por su fomento, económico y adaptado en las normas como ensayo de control, su aplicación se puede desarrollar para pruebas de laboratorio o en campo, dependiendo de la necesidad de evaluación.

- Grado de compactación:

Con esta evaluación se garantiza el grado de compactación o densidad que tiene un material granular después de haber sido instalado, para hacerlo se realiza previamente el ensayo de Próctor Modificado (INV-E-142-2007) para determinar la humedad requerida que ofrece al suelo la densidad máxima del material. Posteriormente en la evaluación de la capa se verifica la densidad en el terreno (INV-E-161-2007).

Antes de iniciar con relacionar lo referente a la resistencia del material, es indispensable mencionar el efecto de la humedad y la energía de compactación y el tipo de suelo sobre la compactación, evaluación que forma parte de la determinación de la resistencia.

- Densidad del material:

- Humedad:

La humedad es importante; mientras que un suelo seco necesita una determinada energía de compactación para vencer los rozamientos internos entre sus partículas, el mismo suelo ligeramente húmedo precisará un menor esfuerzo, ya que el agua se comporta como un agente lubricante formando una película alrededor de los granos y disminuyendo la fricción entre ellos. Al aumentar agua, llegará un momento en que ésta haya ocupado la totalidad de los vacíos del material; este hecho acarreará un aumento de volumen y una mayor dificultad para evacuarlo del suelo, por lo que su capacidad disminuirá; deduciendo la existencia de una humedad óptima con la que se obtenga la densidad máxima, para una misma energía de compactación.

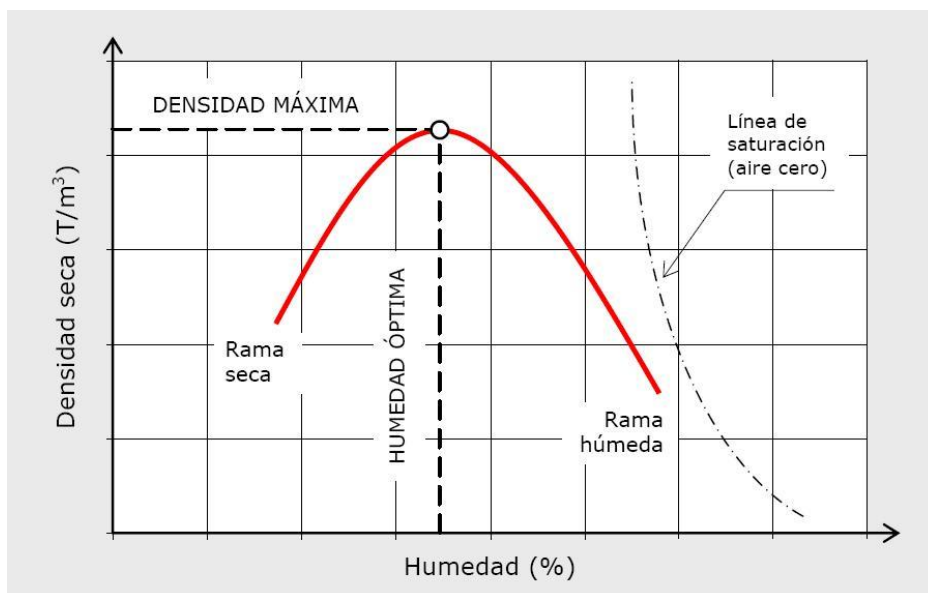


Figura No I.14. Relación de humedad y densidad.

- Energía de compactación:

Si evaluamos distintas energías de compactación, se observa que la humedad óptima varía en función de la energía aplicada de la siguiente manera:

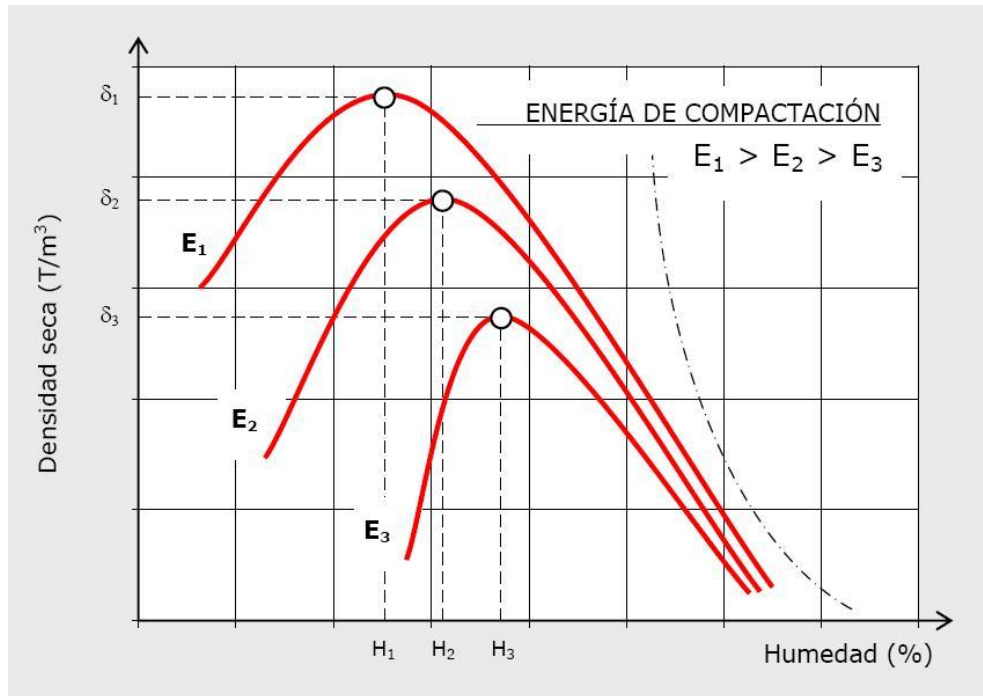


Figura No I.15. Influencia de la energía de compactación.

- Influencia del tipo de material:

Una condición importante es la composición granulométrica, mientras un suelo granular obtiene su densidad máxima para valores bajos de humedad y su curva de Densidad – Humedad es aguda lo que implica mayor sensibilidad a la humedad de compactación; en un suelo fino la curva es más tendida y presenta mayor dificultad de compactación y obtiene mayor compactación cuando el agua debilita los enlaces interparticulares.

Para la evaluación de esta propiedad se desarrolla el ensayo del Próctor el cual presenta dos (2) variantes, el normal y el modificado, la diferencia entre los dos es la energía de compactación aplicada, donde el ensayo modificado

tiene 4.5 veces más energía que el normal; esto se debe a que el Próctor modificado representa la evolución causada por la necesidad de emplear maquinaria de compactación más pesada dado el aumento de carga por eje experimentado por los vehículos. El ensayo en las normas Colombianas se denomina: "Relaciones de Humedad – Masa Unitaria Seca en los Suelos - Ensayo Modificado de Compactación" (INV-E-142-2007).

Este ensayo se emplea para determinar la relación entre humedad y la masa unitaria de los suelos compactados en un molde dado con un martillo de 4.54 Kg. (10 lb) que cae desde una altura de 457 mm (18"); para lo cual se ha previsto cuatro (4) procedimientos o métodos denominados: A, B, C y D; la diferencia entre ellos tiene que ver con las dimensiones de los moldes y tamaño de las partículas de la muestra.

Los dos primeros A y B para suelos finos (Material pasante tamiz No 4, 4.75 mm.); el método A con un molde de 4" de diámetro y el B con un molde de 6" de diámetro. El método C y D para suelos granulares (Material pasante tamiz No 3/4", 19.0 mm.); el método C con un molde de 4" de diámetro y el D con un molde de 6" de diámetro.

Aunque el método ha previsto la corrección para materiales con partículas que superan los 3/4"; éstas no deben exceder el 30% en peso retenido en el tamiz 3/4".

El ensayo consiste en determinar por variaciones de humedad la densidad para cada variación que obtiene un material en un molde con un volumen conocido aplicando a cada muestra dividida en cinco (5) capas una energía de compactación mediante la caída de un martillo. Estos puntos encontrados generan una gráfica similar a la Figura I.14; de ésta se obtiene el punto más alto de densidad en una humedad denominada óptima. El procedimiento se resume en la siguiente tabla:

Característica	METODOS			
	A	B	C	D
<Martillo (Peso)	4.54 Kg (10 Lb)	=	=	=
Martillo (Cara)	50.8 mm (2")	=	=	=
Martillo (Altura de caída)	305 mm (12")	=	=	=
Molde (Diámetro)	101.6 mm (4")	152 mm (6")	101.6 mm (4")	152 mm (6")
Molde (Altura)	116.43 mm.	=	=	=
Molde (Capacidad)	0,943 x 10 ⁻³ m ³ .	2.124 x 10 ⁻³ m ³ .	0,943 x 10 ⁻³ m ³ .	2.124 x 10 ⁻³ m ³ .
Tamaño Partículas evaluadas	Pasa Tamiz No 4 (4.75 mm)	Pasa Tamiz No 4 (4.75 mm)	Pasa Tamiz No 3/4" (4.75 mm)	Pasa Tamiz No 3/4" (4.75 mm)
Muestra Tamizada	>7 Lb.	> 16 Lb.	> 11 Lb.	> 25 Lb.
Restricción Sobretamaños	< 40% Ret. No 4	< 40% Ret. No 4	< 30% Ret. No 3/4".	< 30% Ret. No 3/4".
Material Retenido	Descarta	Descarta	Reemplaza	Reemplaza
Reemplazo de Sobretamaño con	No Aplica.	No Aplica.	> 3/4" y < No 4	> 3/4" y < No 4
Altura total capas compactadas	125 mm (5")	=	=	=
No Capas de Material	5 Capas	=	=	=
Golpes por capa	25	56	25	56
Puntos % de Humedad	4%.	4%.	2%	2%
Muestra para Humedad	> 300 gr.	> 300 gr.	> 500 gr.	> 500 gr.

Tabla No I.6. Ensayo del próctor modificado – métodos A, B, C y D.

Los cálculos para cada muestra de la humedad y la masa unitaria seca del suelo se determinan con la siguiente expresión:

$$w = (A-B) / (B-C) \times 100 \quad \text{y} \quad D_s = D_h / (w+100) \times 100$$

Donde:

w = Porcentaje de humedad en la muestra con base en la masa seca del suelo en el horno.

A = Masa del recipiente y del suelo húmedo.

B = Masa del recipiente y del suelo seco.

C = Masa del recipiente.

Ds = Masa unitaria seca, en Kg./m³

Dh = Masa unitaria húmeda, en Kg./m³

- Relación de soporte (INV-E-148-2007, Ensayo de CBR de laboratorio):

El índice de resistencia de los suelos denominado relación de soporte de California, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio), es la medida indirecta del esfuerzo cortante. Su desarrollo fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del Departamento de Carreteras de California. Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de evaluar la subrasante o materiales granulares para capas de pavimentos.

Este ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (3/4"), para mayores valores este método de ensayo provee la forma de modificar la gradación del material, de manera que el usado para las pruebas pase todo por el tamiz de 19.0 mm (3/4") a la vez que mantiene constante la fracción del total de la grava entre 75 mm (3") y 4.75 mm (No.4). Aunque tradicionalmente éste método de preparación de especímenes ha sido empleado para evitar el error inherente en la prueba de materiales que contienen partículas gruesas en el equipo de prueba de CBR, el material modificado puede tener propiedades de resistencia significativamente diferentes a las del material original. Sin embargo, una gran base de experiencia se ha desarrollado usando este método para materiales en los cuales la

gradación ha sido modificada y están en uso métodos satisfactorios de diseño, basados en los resultados de pruebas usando este procedimiento.

La experiencia ha demostrado que los resultados del CBR para aquellos materiales que contienen porcentajes sustanciales de partículas retenidas en el tamiz 4.75 mm (No.4), son más variables que los de materiales más finos.

El comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración (inalterado y alterado) y a su granulometría y características físicas (granulares, finos, poco plásticos). El método a seguir para determinar el CBR será diferente en cada caso.

- Determinación del CBR de suelos perturbados y remoldados:
 - Gravas y arenas sin cohesión.
 - Suelos cohesivos, poco plásticos y poco o nada expansivo.
 - Suelos cohesivos y expansivos.
- Determinación del CBR de suelos inalterados.
- Determinación del CBR in situ.

Para el caso de materiales granulares utilizadas en capas de pavimento, las especificaciones determinan como requisito determinar el CBR (%) “Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro (4) días de inmersión; Método D” (INV-E-148-2007).

El equipo básico del ensayo es el siguiente:

- Para la Compactación
 - Molde de diámetro de 152,4 mm (6”), altura de 177,8 mm. (7”) y un collarín de 51 mm (2”).
 - Disco espaciador metálico de diámetro 150.8 mm. (5 15/16”) y altura 61.37 mm. (2.5”).

- Martillo de compactación de Peso 4.54 Kg. (10 lb). y altura de caída 457 mm. (18").
 - Trípode y extensómetro con aproximación de 0.001" para medir la expansión.
 - Sobrecargas, diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con una masa de 2,27 Kg (5 lb) cada una, 149.2 mm. (5 7/8") de diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central.
- Para la Prueba de Penetración
- Pistón de penetración de sección circular con diámetro 49.63 mm (1.954") y área de 1935 mm² (3 pulg²).
 - Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica, con velocidad de carga 0.05 pulg/min. Con anillo calibrado.
 - Equipo misceláneo: balanza, horno, tamices, papel filtro, tanques para inmersión de muestra a saturar, cronómetro, extensómetros, etc.

El procedimiento para determinar el CBR (%) de laboratorio en suelos granulares tiene básicamente cinco (5) pasos así:

A. Preparación de la muestra: Inicialmente se realiza un cuarteo el cual se separa en dos (2) fracciones: F1 y F2; se toma F1 para separar los sobretamaños determinados entre los tamices 2" y 3/4" y se pesa el retenido entre estos dos tamices.

A la muestra F2 se la somete a selección entre los tamices 3/4" y No 4; de la muestra resultante; ósea, el retenido entre el tamiz 3/4" y No 4, se separa una porción representativa con el mismo peso de los sobretamaños determinados con la muestra F1. Este material y el pasante de la muestra F1 se los mezcla y homogeniza. La muestra obtenida servirá para realizar el ensayo.

B. Etapa de compactación: esta etapa tiene dos pasos:

- Se determina la humedad óptima del material mediante el ensayo del Próctor Modificado visto anteriormente.
- Con la humedad óptima constante se elabora 3 moldes con diferente energía de compactación: 12 golpes, 26 golpes y 56 golpes por capa de cada molde. Cada molde se lo realiza con cinco (5) capas.

Inicialmente se realiza un cuarteo el cual se separa en dos (2) fracciones: F1 y F2; se toma F1 para separar los sobretamaños determinados entre los tamices 2" y 3/4" y se pesa el retenido entre estos dos tamices.

C. Etapa de curado: Se realiza en un proceso de inmersión mayor de un (1) día dependiendo de la rapidez de saturación, se aplica una sobrecarga tal que produzca una presión equivalente a la presión que ejercen todas las capas que van encima de la capa evaluada. Se efectúan dos lecturas utilizando el trípode debidamente calibrado, una lectura al inicio y otra al final del proceso. La expansión adquiere gran importancia en materiales con alto contenido de finos, ya que puede provocar asentamientos diferenciales, origen de diferentes patologías.

D. Etapa de penetración: Con el equipo de penetración se realiza la penetración de cada molde, registrando la carga necesaria para penetrar las siguientes deformaciones:

mm.	0.63	1.27	1.91	2.54	3.18	3.81	5.08	7.62	10.16	12.7
"	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5

Tabla No I.7. Puntos de deformación de penetración del CBR.

Esta penetración se realiza a una velocidad de 0.05"/min.

E. Etapa de procesamiento de datos: Se determina el CBR (%), se determina los valores corregidos de CBR para 2.54 mm. (0.1”) y 5.08 mm. (0.2”) para cada molde determinado de la siguiente manera:

$$\text{CBR \%} = \text{Carga unitaria obtenida} / \text{Carga unitaria muestra patrón} \times 100$$

Donde:

Penetración		Carga unitaria muestra patrón		
mm.	Pulg.	Mpa	Psi	k/cm2
2.5	0.1	6.9	1,000	70
5	0.2	0.3	1,500	105
7.5	0.3	13	1,900	133
10	0.4	16	2,300	161
12.7	0.5	18	2,600	182

Tabla No I.8. Carga unitaria patrón de CBR.

Del valor obtenido para 2.54 mm. (0.1”) y 5.08 mm. (0.2”) se registra el mayor valor para posteriormente registrar en una misma gráfica los valores de CBR (%) versus la densidad seca para cada molde.

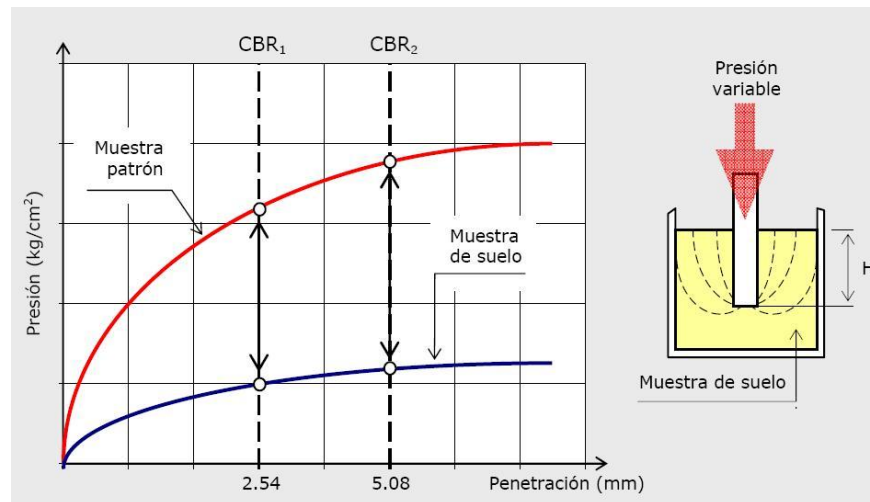


Figura No I.16. Ensayo de CBR.

Posteriormente, mediante una gráfica auxiliar donde se grafica paralelamente y en la misma escala la densidad seca de cada molde versus la humedad se define el valor definitivo de CBR, al 95% del Próctor modificado para sub-base y 100% para base. El valor de densidad seca se traslada a la gráfica de densidad versus CBR (%); el valor que corta la curva obtenida de las muestras de CBR (%) y densidad es el valor definitivo de CBR (%) de la muestra.

2. IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS EXISTENTES EN EL CONTROL Y RECIBO DE LAS CAPAS GRANULARES DRENANTES.

2.1 ANTECEDENTES DE NORMATIVIDAD DE LAS CAPAS GRANULARES.

Como se pudo observar en el capítulo anterior, los materiales drenantes han sido utilizados desde los principios de la ingeniería de carreteras, prácticamente fueron los primeros materiales estudiados; estructuras como las definidas por McAdam y Telford que consistían en disponer capas de rocas trituradas, cada una con diferentes tamaños máximos; estos pioneros, pensaron que el drenaje es base fundamental de la estabilidad y durabilidad del carretable, independientemente de la resistencia que ofrecían sus partículas.

En Colombia, aunque a principios del siglo XX se inició a utilizar tecnología en construcción de carreteras, por diferentes situaciones económicas, políticas y de accesibilidad, su desarrollo fue frustrado a pesar del auge de construcción observado en la década de los años de 1930 y la década de 1950; la tecnología se limitaba en ese entonces en aplicar recomendaciones constructivas de otros países.

El Ministerio de Obras Públicas de Colombia, hasta marzo de 1.966 recopiló y publicó las primeras normas de construcción para carreteras; aunque se conoce que se estipuló normas desde el año 1.963. Como se puede observar en la Figura No II.1. el listado muestra diferentes materiales utilizados como sub-bases y bases en la norma de 1.966.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
Rama Técnica
DIVISION DE SERVICIOS TECNICOS

NORMAS DE CONSTRUCCION

- MOP C - 101 - Desmonte y limpieza
MOP C - 102 - Mejoramiento de Sub-rasantes
MOP C - 103 - Excavaciones para Sub-rasantes y Préstamos
MOP C - 104 - Excavaciones y Rellenos para Obras de Arte
MOP C - 105 - Terraplenes
MOP C - 106 - Limpieza de Zonas Marginales
MOP C - 107 - Transporte de Materiales
MOP C - 108 - Acabado de las Obras Básicas de la Carretera
MOP C - 109 - Compactación con Rodillos
- MOP C - 201 - Sub-bases
MOP C - 202 - Bases de Grava o Piedra Partida
MOP C - 203 - Bases de Arena Arcilla
MOP C - 204 - Bases de Grava con Suelo Ligante
MOP C - 205 - Bases de Macadam Hidráulico
MOP C - 206 - Bases en Conchas Marinas
MOP C - 207 - Bases en Caliche
MOP C - 208 - Bases de Suelo-Cemento
MOP C - 209 - Bases Estabilizadas con Asfalto
MOP C - 210 - Bases Estabilizadas con Cal Hidratada
MOP C - 211 - Mejoramiento y Reacondicionamiento de Afirmados Existentes.
- MOP C - 301 - Capas de Rodadura de Grava
MOP C - 302 - Imprimación de Bases con Materiales Bituminosos
MOP C - 303 - Tratamiento Superficial Simple
MOP C - 304 - Tratamiento Superficial de Doble Riego
MOP C - 305 - Tratamiento Superficial de Triple Riego
MOP C - 306 - Tratamiento Superficial de Cuatro Riegos
MOP C - 307 - Sello en un Tratamiento Superficial Bituminoso
MOP C - 308 - Pavimento de Gradación Densa Mezcla en Via
MOP C - 309 - Pavimento de Gradación Abierta Mezcla en Via Tipo Agregado Macadam.
- MOP C - 310 - Pavimento por el Sistema de Macadam de Penetración
MOP C - 311 - Pavimento de Arena-Asfalto con Asfalto Líquido/
MOP C - 312 - Remendar, Reducir Bombeo y Corregir Perfiles
MOP C - 313 - Remiendos con Asfalto Líquido con Mezcla en Depósito
MOP C - 314 - Riego de Liga Asfáltica
MOP C - 351 - Pavimento Asfáltico Tipo Mezcla en Planta
MOP C - 352 - Pavimento Tipo Concreto Asfáltico
MOP C - 353 - Pavimento de Asfalto Laminado
MOP C - 354 - Pavimento Bituminoso Tipo Arena Asfalto Mezcla en Planta.
MOP C - 355 - Pavimento de Gradación Densa por el Método de Mezcla - en Planta.
MOP C - 356 - Inyecciones de Asfalto bajo Losas de Pavimento de Concreto.

Figura No II.1. Listado normas de construcción para carreteras de marzo 1966.

2.1.1 Especificaciones Colombianas M.O.P. de 1.966: Entre los artículos de las especificaciones 1.966 se destaca la utilización de materiales de granulometría discontinua como las bases de grava o piedra partida y el macadam hidráulico.

La sub-base (MOP-C-201) está definida como un material de transición entre la subrasante y base; se manifiesta en dicho artículo que los propósitos de esta capa son: Disminuir el espesor de la base, reemplazar espesor de base por uno de inferiores características y servir de defensa o refuerzo a la subrasante. Su composición tenía una característica de material seleccionado ya sea triturado o no, manifestándose que podría ser gravas naturales o fragmentos de piedra mezclados con arenas o suelos con ligantes libres de arcilla o material orgánico.

La granulometría de esta sub-base estaba definida en tres (3) tipos determinando tamaños máximos de 3", 1 ½" y 1" con únicamente el control de finos en dos tamices No 4 y No 200. Este material comparándolo con los actualmente utilizados se parece a un recebo, un afirmado de buena calidad.

En cuanto a su resistencia, se especifica que el % CBR debe ser mayor del 30% y la compactación en un 95% del Próctor.

El Macadam Hidráulico (MOP-C-205-63), se define como la construcción de una o varias capas de base compuesta de piedra triturada gruesa o escoria triturada y un material llenante; se establece que puede ser construida sobre una subrasante o sub-base preparada.

El Macadam se construía con dos tipos de agregados; uno grueso y uno fino sin ser mezclados antes de su instalación; al igual que la sub-base indicada anteriormente a estos materiales se les contralaba su dureza, la forma, el contenido de materia orgánica o arcilla y su plasticidad; las condiciones de gradación eran definidas para el agregado grueso un tamaño máximo de

3” y controlado hasta el tamiz 3/4” y el agregado fino desde el tamiz 3/8” hasta el tamiz No 100.

El proceso constructivo se iniciaba con la instalación de una capa aislante de una arena esparcida para proteger el material grueso de la subrasante; la capa de agregado grueso podría tener entre 3” a 6” de espesor y se compactaría una vez se distribuya el material en el área de trabajo sin inducir el tráfico hasta que se instale el agregado fino. Con el objeto de llenar los vacíos se instala el material llenante (Agregado Fino), esparcido y compactado en tres (3) capas con el fin de llenar todos los vacíos con la energía de compactación.

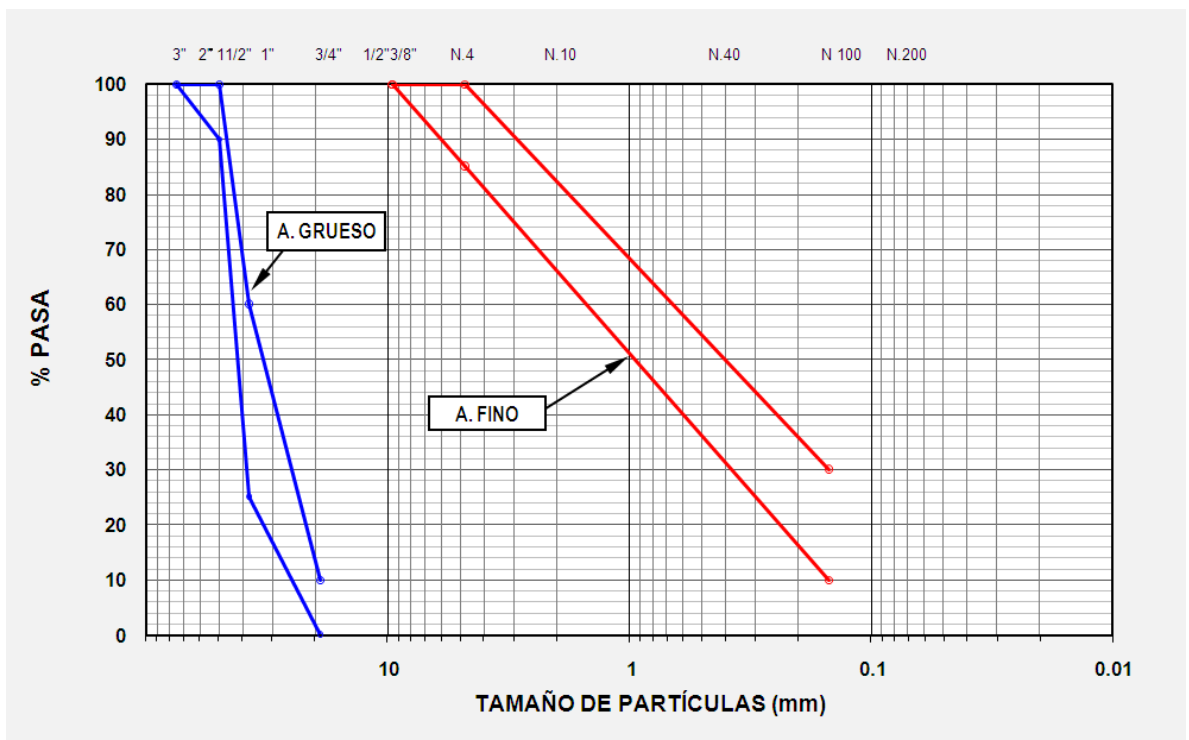


Figura No II.2. Gradación Macadam hidráulico MOP-63.

La capa compuesta de 30% agregado fino y 70% de agregado grueso se repetiría tantas veces como fuese necesario hasta llegar al espesor de la base definida en el diseño.

La especificación no señala ni expresa requerimientos sobre resistencia del conjunto; al respecto solo se indica la energía de compactación limitando el equipo y capacidad requerida.

Haciendo una evaluación del conjunto de materiales mezclados y comparado con una distribución basada en la parábola de Fuller (Figura No II.3.), se observa una gradación mal gradada de forma discontinua que ofrecería bastantes vacíos y gran capacidad de drenaje.

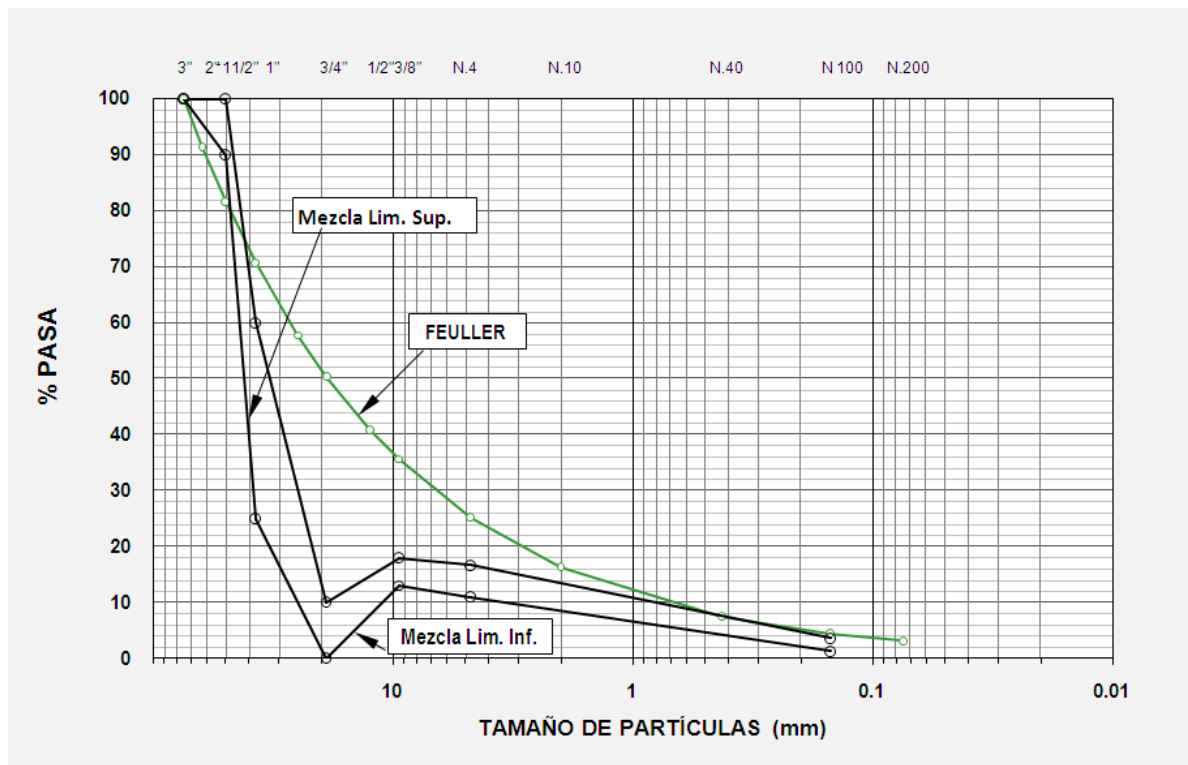


Figura No II.3. Gradación compuesta Macadam hidráulico MOP-63.

La Base de grava o piedra partida (MOP-C-202-63), se define como la construcción de una o varias capas de base utilizando materiales naturales

tritutados, grava o piedra extraída, igualmente se establece que puede ser construida sobre una subrasante o sub-base preparada.

Se define como límite entre agregado grueso y llenante el tamiz No 10; éste llenante o agregado fino tendría propiedades ligantes que permitirían la formación y consolidación de una capa sólidamente unida.

El llenante estaría compuesto de arena de trituración y si este material no es suficiente se adicionaría arena sin exceder el 15% del total de los agregados combinados.

La grava triturada tendría que provenir de rocas, guijarros y piedras duras; a este material se le controlaría su dureza, porcentaje de trituración, la forma, el contenido de materia orgánica o arcilla, su plasticidad, densidad y resistencia.

Con relación al último aspecto, la resistencia; se estipula que el valor relativo de soporte (CBR) debe ser 80% para tráfico pesado (> a 600 vehículos pesados por día) y para tráfico mediano o liviano sería del 70 o 60%.

Con respecto de su gradación; la norma especifica doce (12) husos granulométricos, definidos para diferentes tamaños máximos (3", 2", 1 1/2" y 1") y divididos en tres (3) clases de gradación: Abierta, Intermedia y Estabilizada. Esta condición ofrece gran variabilidad de adaptación de los materiales procesados de las canteras a los requerimientos de diseño.

A continuación se realiza una valoración comparativa entre las diferentes gradaciones de Bases de grava o piedra partida MOP-63 y las curvas ideales de Fuller y Weymouth:

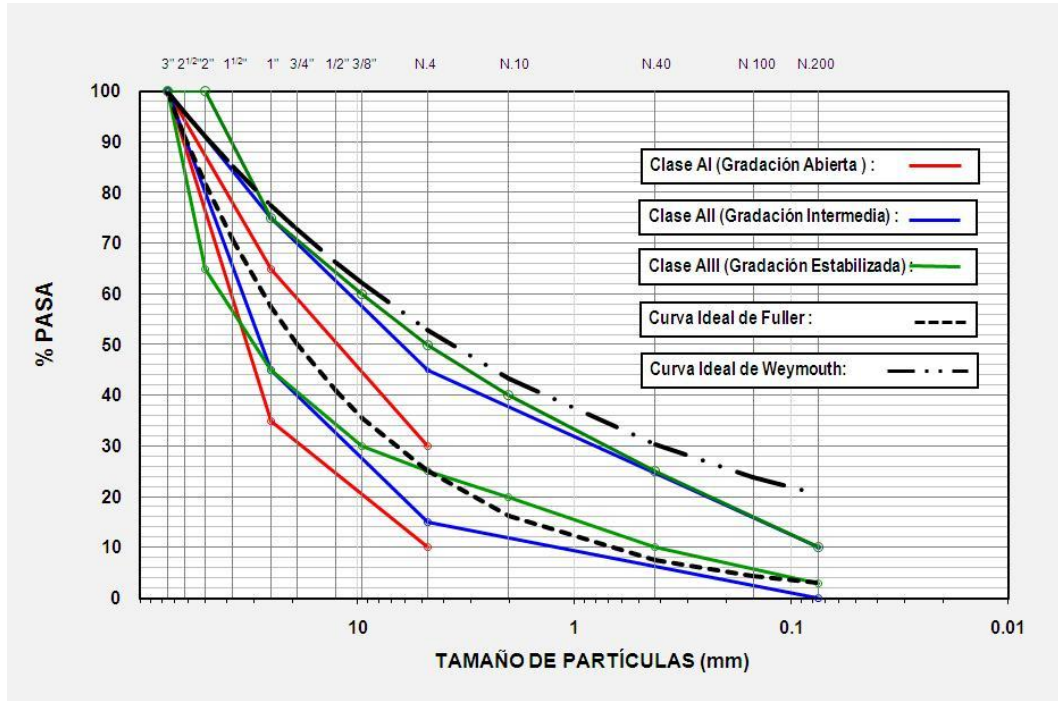


Figura No II.4. Gradación bases de grava o piedra partida de 3" MOP-63.

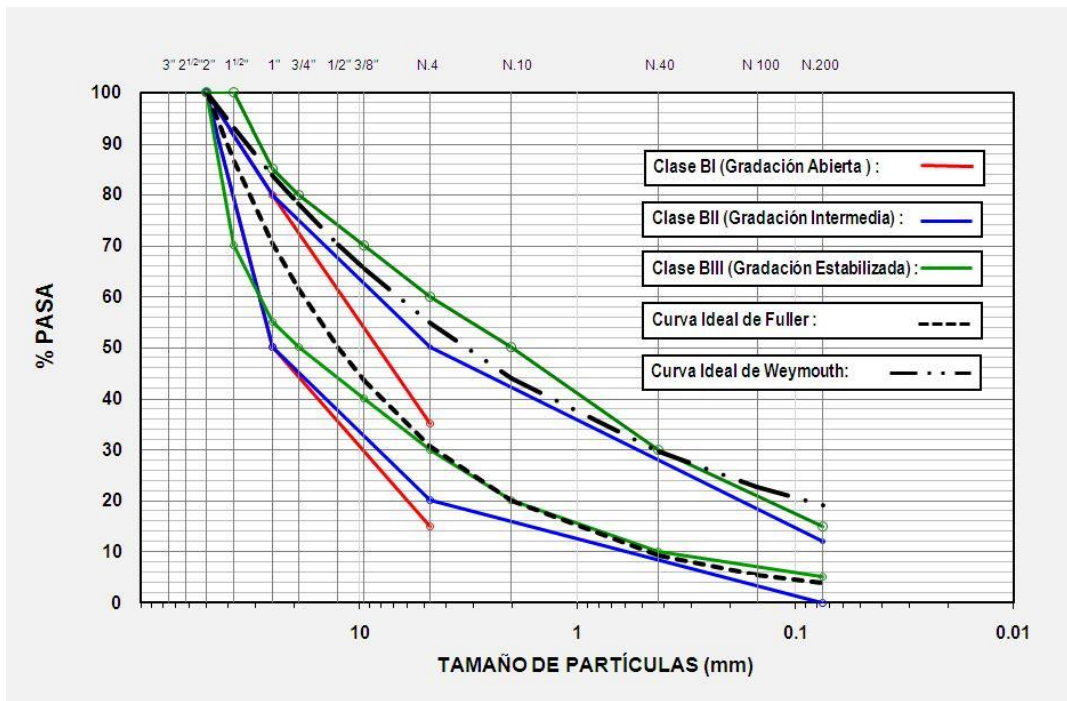


Figura No II.5. Gradación bases de grava o piedra partida de 2" MOP-63.

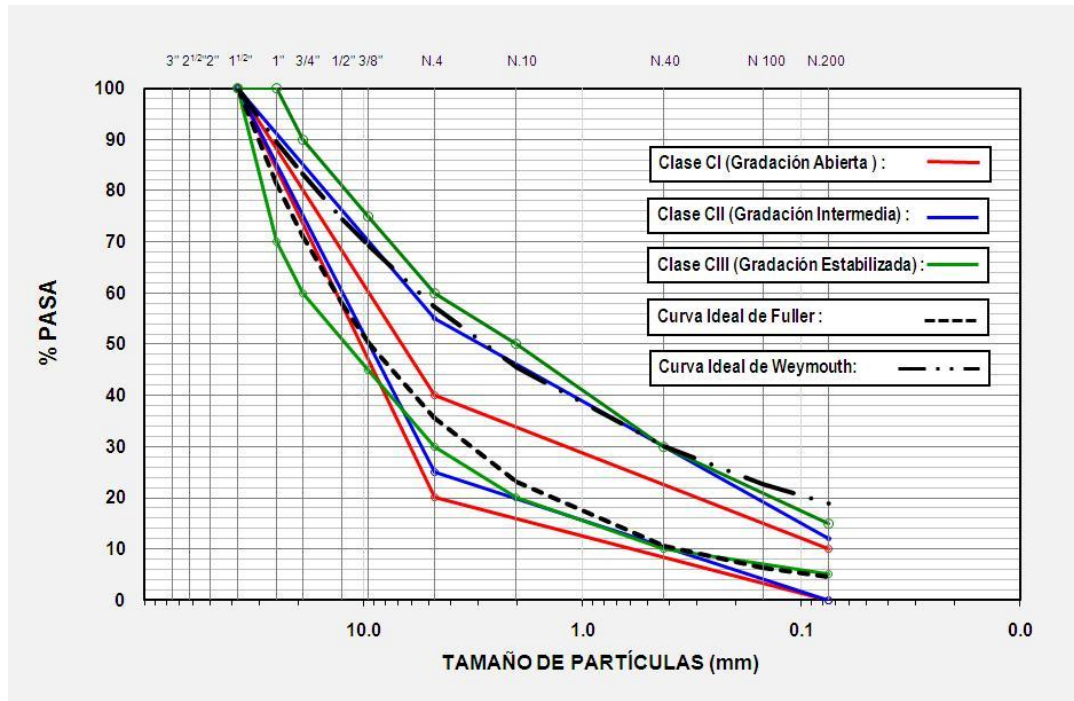


Figura No II.6. Gradación bases de grava o piedra partida de 1 1/2" MOP-63.

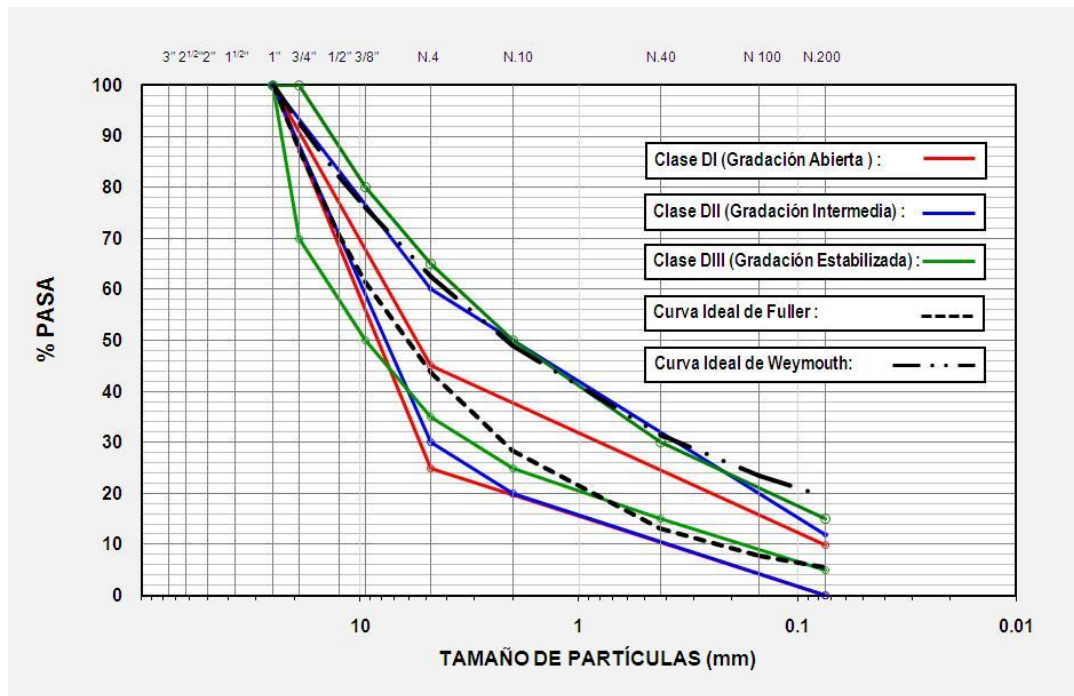


Figura No II.7. Gradación bases de grava o piedra partida de 1" MOP-63.

Como se observa en las figuras No II.4 y No II.5, las bases de gradación abierta carecen de control de los finos en el material, dejando tácita la posibilidad de utilizarlo o no, condición que implica el riesgo de alterar las condiciones en el proceso de construcción; en estos casos se considera posible que el interventor debió exigir el cumplimiento textual de la gradación y para garantizar uniformidad, únicamente utilizar la arena o llenante que se genere en la trituración del agregado grueso.

En las gradaciones abierta e intermedia se deja la posibilidad de generar discontinuidad entre los tamaños controlados, permitiendo generar materiales con tamaños de partículas de similar tamaño entre los rangos evaluados (Mal gradado) o no; esta condición puede o no desfavorecer si se tiene en cuenta que en el diseño se evalué el material en la mejor o peor condición de respuesta. Es importante señalar que la especificación señala “Para aceptar una gradación propuesta, esta debe encajar dentro de los límites especificados, de manera que haya una variación uniforme de los tamaños...”; condición que implica generar una mezcla lo mayor posible bien gradada entre los controles de tamaños.

Como se observa en las graficas anteriores a todas las gradaciones propuestas se las coteja con las gradaciones ideales de Fuller y Weymouth, gradaciones que determinan teorías relacionadas con la mayor compacidad de una mezcla de agregados, definida como la menor cantidad de vacíos y mayor trasmisión de carga entre las partículas.

La teoría de Fuller-Thompson se gestó en 1907 y la teoría de Weymouth en 1933; la diferencia entre las expresiones con las cuales se determinan sus gradaciones radica en la aplicación de un exponente, para Fuller constante para todas las partículas y para Weymouth variable ya que según su teoría, la distribución de las partículas es función del agregado grueso. Estas teorías son mayormente aplicadas en el diseño de mezclas de concreto, pero sirve como soporte comparativo para definir la proporción de vacíos de una mezcla

de agregados para bases granulares; mientras en el concreto, el objetivo es determinar la mayor resistencia en función de la economía de cemento; en una base granular sería determinar la mayor resistencia en función de la economía del costo de disponer una determinada fracción del agregado.

Al respecto de la resistencia de una capa granular, es importante distinguir otra propiedad que directamente determina un factor de resistencia y es la capacidad de drenaje que tenga la capa, ya que el agua así como determina en las partículas finas el efecto de cohesión, en todo el sistema de la capa define un efecto en la fricción interna.

Otro investigador fue René Feret quien en 1894 evaluó la compacidad de mezclas de partículas gruesas, medianas y finas y concluyó que “la máxima compacidad se logra con granulometrías discontinuas”; o sea menor cantidad de partículas intermedias.

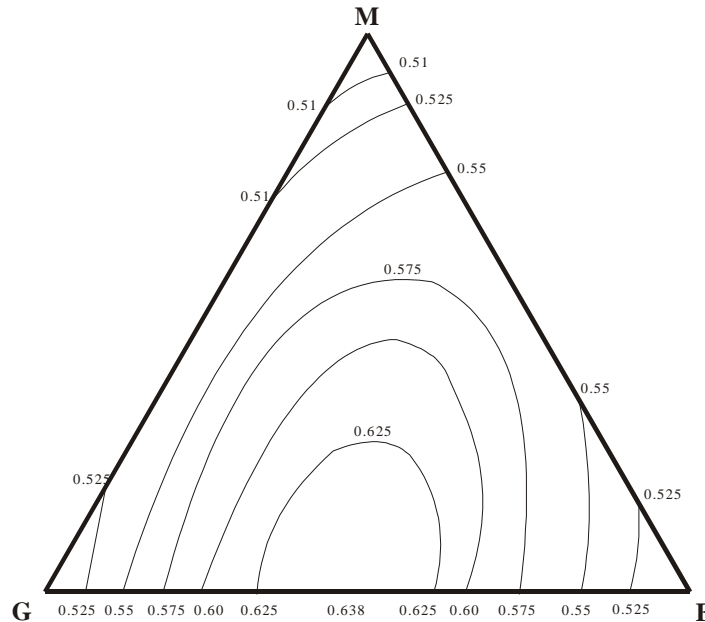


Figura No II.8. Representación gráfica de las leyes de Feret, donde se muestra las líneas de igual compacidad en la mezcla de agregados donde G: gruesos, M: mediano, F: finos.

Este punto de vista, favorece a las mezclas discontinuas, para nuestro caso bases drenantes, pero es importante destacar que éstas implican mayores proporciones de vacíos, en tanto la condición de Feret sería relativa para estas mezclas.

La resistencia en mezclas donde las partículas gruesas se encuentran en mayor proporción que las intermedias y finas, tendría que ver con la trasmisión de esfuerzos entre éstas, siendo indispensable que dichas partículas gruesas ofrezcan gran resistencia al corte para soportar los esfuerzos que se transmiten a través de ellas.

En las figuras No II.4, No II.5, No II.6 y No II.7 se observa que en las gradaciones abiertas e intermedias hay mayor cantidad en peso de partículas gruesas que finas a diferencia de las estabilizadas que sus promedios se apegan a las curvas de Weymouth.

2.1.2 Especificaciones Colombianas M.O.P. de 1.980: Con relación a las sub bases y bases granulares, las especificaciones colombianas en el año de 1.980 no fueron modificadas y se conservaron así hasta el año de 1996 cuando el Ministerio de Obras Públicas se convirtió en el Instituto Nacional de Vías, prácticamente estas normas basaron las prácticas de ingeniería de carreteras durante 33 años y con relación en la construcción de bases granulares, fueron las normas que se aplicaron en la construcción y mantenimiento de la malla vial colombiana durante este periodo.

2.1.3 Especificaciones Colombianas INVIAS de 1.996: Al respecto de la elaboración del documento de las Especificaciones Generales de Construcción del INVIAS DE 1996, el Dr. Guillermo Gaviria Correa, en ese entonces Director General de esta institución manifestó en el prólogo al respecto de la

trayectoria de normatividad del antiguo Ministerio de Obras "...El incremento que desde entonces tuvo el tránsito circulante por la red nacional, tanto en frecuencia como en magnitud de las cargas, el desarrollo continuo de nuevas técnicas de construcción y mantenimiento de las vías, la creciente conciencia por la protección de los recursos ambientales y energéticos, la obligación de satisfacer unas expectativas cada vez mayores de los usuarios, y la necesidad de establecer responsabilidades claras y precisas a los diferentes actores involucrados en la administración, provisión y mantenimiento de las carreteras, llevaron al Ministerio de Obras Públicas y Transporte, desde mediados de los años ochenta, a promover la redacción de un compendio actualizado de especificaciones que regulara sus relaciones con las firmas contratistas encargadas de la construcción y rehabilitación de las carreteras nacionales."

A diferencia de las antiguas normas del M.O.P., las Normas INVIAS de 1.996, concede al constructor mayor autonomía en los procesos preliminares, pero se reserva a la Administración la posibilidad de intervenir en cualquier etapa para asegurar la calidad del producto final.

Las normas de INVIAS 96, tuvieron un condicionamiento general, al respecto el Dr. Gaviria manifestó: "...no son susceptibles de aplicarse de manera indiscriminada en todas las obras, dada la diversidad de características y circunstancias en que éstas se han de desarrollar, siendo necesario, en la gran mayoría de los casos, complementarlas con especificaciones particulares para cada proyecto, las cuales, como ha ocurrido siempre, han de prevalecer sobre las disposiciones de tipo general".

Como se puede ver, la norma del INVIAS 1.996 modificó las antiguas normas del MOP por diferentes causas: administrativas, operativas, nuevas tecnologías etc., pero ese contexto de Norma General, en el caso de capas granulares, se contempló un (1) nuevo artículo denominado pedraplenes, un (1) artículo para

afirmados y dos (2) tipos de husos granulométricos para base y uno (1) para sub base granular.

Con relación al tema del presente estudio, a continuación se comenta el contenido de los artículos basados en la utilización de materiales pétreos.

2.1.3.1 Artículo INV-221 Pedraplenes: Se destaca dentro de las especificaciones del INVIAS 1.996 la implementación de este Artículo para desarrollar terraplenes utilizando materiales pétreos. Las estructuras de terraplén o pedraplén se ejecutan generalmente para acondicionar una carretera con el aspecto geométrico, principalmente sobre depresiones del terreno natural. El pedraplén se define como una superficie de apoyo utilizando materiales procedentes de la excavación de la explanación o de fuentes aprobadas y provenientes de cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.

El pedraplén es una estructura compleja compuesta por tres (3) partes: Cimiento, núcleo y transición; el cimiento y el núcleo son el cuerpo del pedraplén. La transición es la capa de un (1) metro de espesor donde la gradación de las partículas se ajustan para acondicionar sobre ésta la corona.

La corona o subrasante, no forma parte del pedraplén, pero se encuentra incluida en la estructura determinada en este artículo como soporte de la estructura del pavimento; su espesor está definido en 30 cm. si éste no ha sido proyectado de forma diferente en los planos del proyecto.

Como se observa, el terraplén es una estructura de gran dimensión en cuanto a su espesor, proyectada a configurar un soporte hasta el nivel de subrasante de un pavimento.

En cuanto a los controles se definen dos (2): El control de resistencia a la abrasión, determinando un desgaste no mayor al 50% en la máquina de

Los Ángeles y el control de gradación que se encuentra definido mediante la siguiente tabla, donde D es el tamaño máximo nominal del material:

TAMIZ	% QUE PASA
D	90 - 100
D/4	45 - 60
D/16	25 - 45
D/64	15 - 35

Tabla No II.1. Gradación pedraplén INVIAS 1.996.

Los controles de la corona del pedraplén se desarrollan de igual forma que la corona del terraplén; esta capa tiene por objeto contrarrestar los efectos de consolidación, definiéndose unas tolerancias para su aceptación.

Dentro de los controles establecidos no se define alguno que tenga que ver con la verificación de su resistencia al corte o evaluación de densidad; solamente se limita a controlar el grado de consolidación verificado mediante tolerancias; al respecto se manifiesta en la especificación “Teniendo en cuenta que la densidad de las capas no puede verificarse por métodos convencionales, ésta se considerará satisfactoria después de que el equipo de compactación pase sobre cada capa el número de veces definido en la fase de experimentación”.

2.1.3.2 Disposiciones generales para capas granulares INV-300-96: Las especificaciones del INVIAS 1.996 contemplan las disposiciones generales para la ejecución de afirmados, sub bases granulares, bases granulares y estabilizadas INV-300; en este artículo se describe los requerimientos de calidad de los materiales de la siguiente manera:

CAPA	Partículas fracturadas mecánicamente (Agregado Grueso)	Desgaste de los Ángeles	Pérdidas en ensayos de solidez en		Índices de aplanamiento y alargamiento	C. B. R.	I. P.	Equivalente de arena
			Sulfato de Sodio	Sulfato de Magnesio				
Norma de ensayos INV	E-227	E-218 y E-219	E-220	E-220	E-230	E-148	E-125 y E-126	E-133
AFIRMADO		50 % máx.	12 % máx.	18 % máx.			04-09	
SUBBASE GRANULAR		50 % máx.	12 % máx.	18 % máx.		20, 30 ó 40% mín. ¹	<= 6	25 % mín.
BASE GRANULAR	50 % mín.	40 % máx.	12 % máx.	18 % máx.	35 % máx.	80 % mín. ²	<= 3	30 % mín.

¹ Al 95% de compactación referido al ensayo Próctor modificado (INV E-142). El valor mínimo de resistencia por aplicar, se indicará en los documentos del proyecto.

² Al 100 % de compactación, referido al ensayo Próctor modificado (INV E-142)

Tabla No II.2. Requisitos de los materiales para afirmados, sub bases granulares y bases granulares, Artículo 300 INV-96.

2.1.3.3 Sub base granular INV-320-96: Teniendo en cuenta los requisitos de calidad exigidos en disposiciones generales para sub base granular, al material utilizado no se le exige verificar la cantidad de partículas fracturadas mecánicamente; por lo tanto se considera que los materiales de sub base granular son agregados naturales clasificados, a los que igualmente no se les verifica la forma de las partículas.

De acuerdo al artículo INV-320-96 la gradación de sub base granular se encuentra definida con un único huso granulométrico con un tamaño máximo de 2". Véase Figura No II.9.

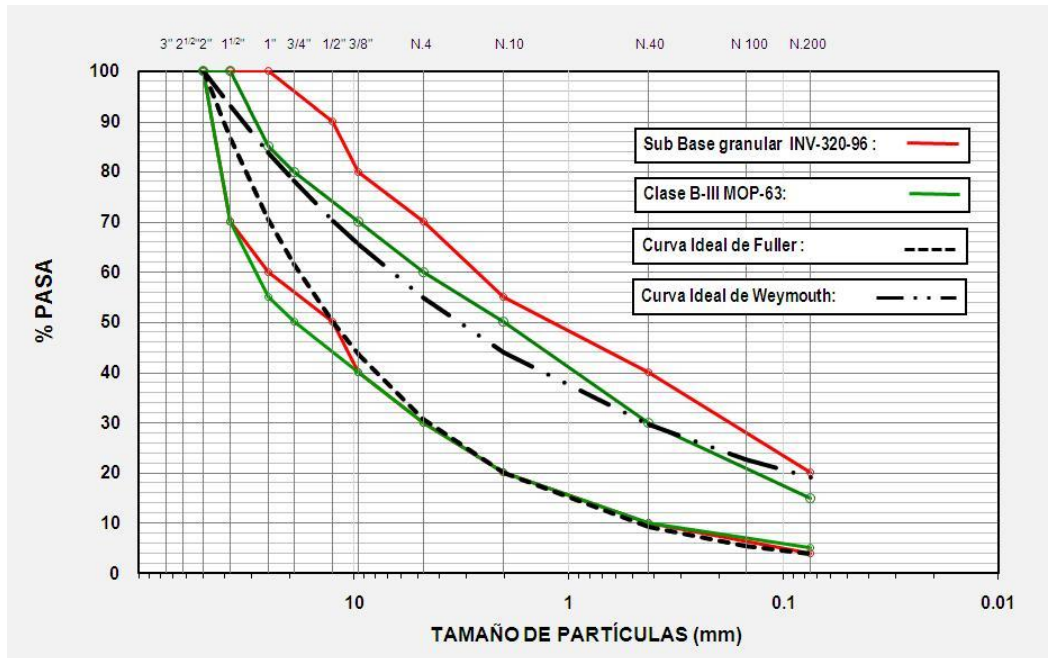


Figura No II.9. Gradación sub base granular INV-320-96.

En la figura anterior, además de mostrar la gradación definida para Sub base granular INV-320-96 (Color rojo) se hace una comparación de ésta con la gradación de base de grava o piedra partida estabilizada Clase B-III del MOP-63 (Color verde) y las curvas ideales Fuller y Weymouth.

Como se puede observar el huso granulométrico de la sub base granular es muy parecido al huso de base de grava o piedra partida estabilizada Clase B-III del MOP-63; los límites inferiores son casi idénticos y el límite superior se ha ampliado brindando más tolerancia hacia la parte fina.

El límite inferior del huso se encuentra ceñido a la curva ideal de Fuller y se puede decir que el valor medio del huso se acondiciona a la curva ideal de Weymouth. Esto indica que el huso granulométrico adoptado para la sub base granular INV-320-96 presuntamente se basó en las curvas comparadas, teniendo en cuenta que por su condición de capa inferior podría tener menores características que las de una base. Igualmente se brindó mayor

tolerancia a la margen fina (límite superior) probablemente evaluando su procedencia natural que debe permitir economía y facilidad de obtención.

Teniendo en cuenta que la curva de Weymouth, es basada en una teoría que delimita las proporciones ideales para obtener la mayor compacidad conformada mediante el cumplimiento de una buena gradación que permita que los diferentes tamaños de agregados deben tener espacio para moverse entre las partículas más grandes evitando de esta manera la interferencia de las partículas; interferencia que aparece cuando hay mucha cantidad de agregados de un solo tamaño; al respecto, con la tolerancia que brinda la especificación de sub base granular INV-320-96 se podría generar una mezcla tanto continua como discontinua; condición importante en el efecto de variabilidad que puede ofrecer una fuente de materiales y podría afectar la estabilidad de un pavimento si no se controla definiendo tolerancias dentro de un proyecto específico.

2.1.3.4 Base granular INV-330-96: A diferencia de la sub base granular, la base granular presenta exigencias en cuanto a la proporción de material triturado, mayor o igual al 50% de partículas fracturadas mecánicamente, definiendo un agregado semi artificial al cual además de diferentes propiedades se le evalúa la forma a diferencia de la sub base.

En cuanto a su gradación la norma determinaba dos (2) husos granulométricos, uno para tamaños máximos de 1 ½" y otro para 1"; véase Figura No II.10 y II.11.

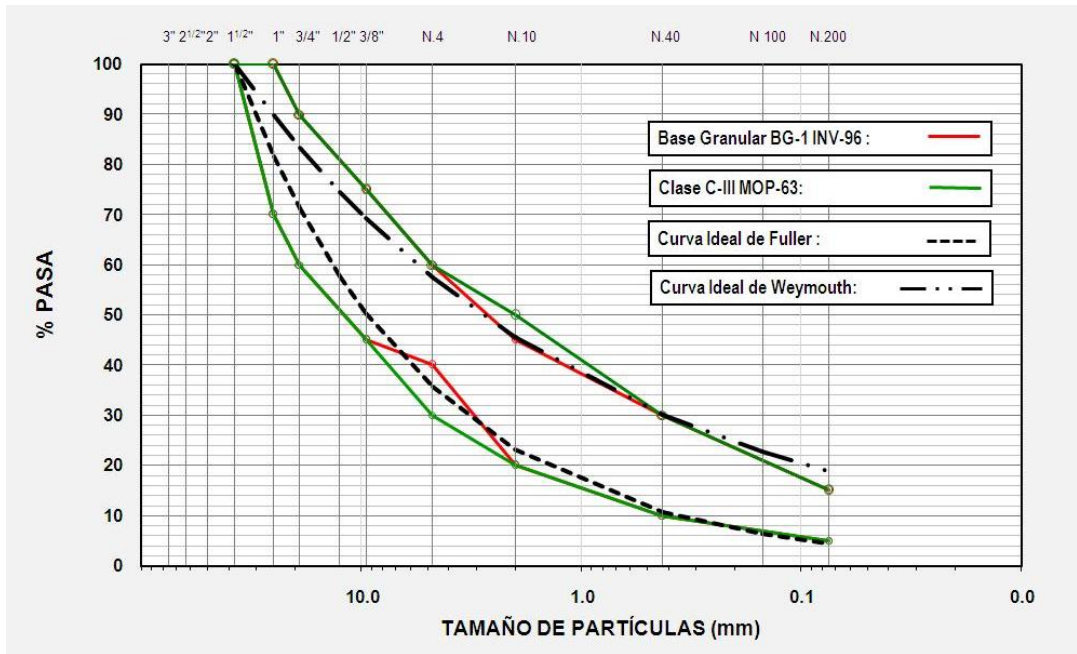


Figura No II.10. Gradación base granular BG-1 INVIAS-96.

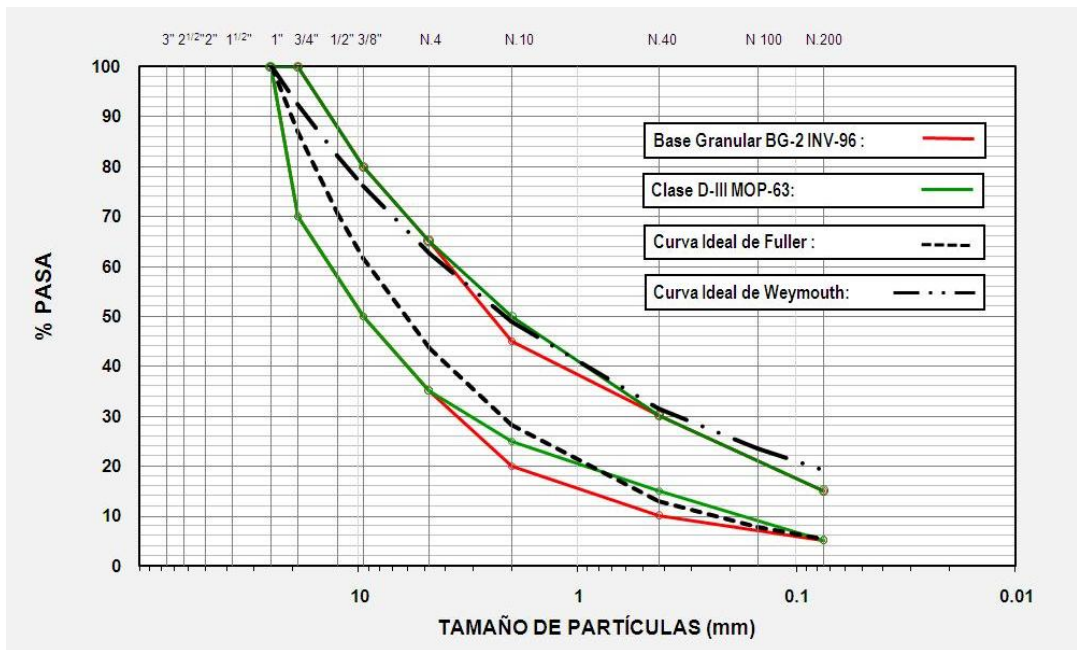


Figura No II.11. Gradación base granular BG-2 INVIAS-96.

Como se observa en las dos (2) gráficas la gradación de la base granular BG-1 y BG-2 son casi idénticas que las gradaciones de base de grava o piedra partida estabilizada Clase C-III y D-III del MOP-63; igualmente es notorio que el huso granulométrico de la especificación se condiciona entre el formado por las curvas de Fuller y Weymouth.

2.1.4 Especificaciones Colombianas INVIAS de 2.002: Las especificaciones del año 2002 fueron generadas por la influencia de nuevas tecnologías, principalmente relacionadas con mezclas asfálticas, geosintéticos y estabilizaciones de granulares con cemento y emulsiones asfálticas.

Con relación a los materiales granulares se conservaron las disposiciones generales INV-300-96 y únicamente se modificó en el Artículo 330 de Base granular lo siguiente:

- En el aparte “bacheo”, numeral 330.4.8, en las excavaciones para reparación de pavimento existente se tenía establecido como valor de relleno por encima de la sub base granular 5 cm. y se modificó a 7.5 cm.
- Se modificó en las condiciones específicas para recibo y tolerancias el aparte de “Calidad del producto terminado”, aparte 330.5.2.2 donde en las especificaciones 2002 se define el “lote” de evaluación y la manera de evaluar la compactación.

2.2. OBSERVACIONES NORMATIVIDAD COLOMBIANA VIGENTE CON RESPECTO A LA CONSTRUCCIÓN DE CAPAS GRANULARES

El Instituto Nacional de Vías mediante Resolución Número 03288 del 15 de agosto de 2007 presentó la actualización de las especificaciones generales de construcción de las cuales se observa un arduo trabajo en cuanto a la actualización de nuevas tecnologías, implementación de nuevos ensayos de materiales, mejor y más clara presentación de los mismos, igualmente se exponen mayores exigencias y se delimitan las situaciones de control y recibo de las obras teniendo en cuenta las experiencias de diferentes contratos realizados por el INVIAS.

Para abordar el tema únicamente nos referiremos a la normatividad de capas granulares sin ligantes o estabilizantes, teniendo en cuenta que se está evaluando a la vez condiciones de permeabilidad y resistencia de materiales en zonas influenciadas por la alta pluviosidad.

Al respecto se observa que la especificación de Pedraplén continua teniendo el mismo contexto que el abordado en las especificaciones de 1.996 comentado en el numeral 2.1.3.1 del presente documento.

Un aspecto importante en las especificaciones de 2007 es la implementación de la gradualidad de las exigencias de calidad (Artículo 100-07, subnumeral 100.2), donde se evalúa el grado de sollicitación que tendrá el material o capa terminada en función del nivel del tránsito al cual será expuesto; al respecto se tiene:

NT1: Nivel de tránsito uno. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es inferior a 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

NT2: Nivel de tránsito dos. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 0.5×10^6 y 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

NT3: Nivel de tránsito tres. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es superior a 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

2.2.1 Disposiciones generales para capas granulares INV-300-07: En las especificaciones del INVIAS 2.007 igualmente se contemplan las disposiciones generales para la ejecución de afirmados, sub bases granulares, bases granulares y estabilizadas (Artículo INV-300-07); que en su contenido se especifica las condiciones de los materiales, equipos, ejecución y recibo de los trabajos. En la Figura No II.12 se presentan los requerimientos de calidad de los materiales de afirmado, sub bases y bases granulares.

Los requerimientos mencionados se los ha evaluado para las diferentes opciones del nivel de tránsito de diseño NT1, NT2 y NT3; al respecto se destaca una evaluación más exigente para condiciones de tránsito alto; igualmente se han incrementado los ensayos de laboratorio determinando nuevos requisitos de características importantes como son:

➤ Dureza:

En el ensayo de la máquina de los Ángeles se adicionó la evaluación de 100 revoluciones y la evaluación después de inmersión. El valor del desgaste que se aceptaba, $\leq 50\%$, actualmente para tránsitos altos de diseño se exige como valor máximo el 35%, condición que expresa gran calidad de la fuente de materiales.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	NT1			NT2			NT3		
		AFIRMADO	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	AFIRMADO	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	AFIRMADO	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR
Composición										
Granulometría	E-213	Tabla 311.1	Tabla 320.1	Tabla 330.1	Tabla 311.1	Tabla 320.1	Tabla 330.1	Tabla 320.1	Tabla 330.1	Tabla 330.1
Dureza										
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A)										
- En seco, 500 revoluciones (%)	E-218	≤50	≤50	≤40	≤50	≤50	≤40	≤50	≤35	
- En seco, 100 revoluciones (%)		-	-	≤8	-	-	≤8	-	≤7	
- Después de 48 horas de inmersión, 500 revoluciones (%)		-	-	≤55	-	-	≤55	-	≤50	
- Relación húmedo/seco, 500 revoluciones		-	-	≤2	-	-	≤2	-	≤2	
Desgaste en el equipo Micro-Deval (%)	E-238	-	-	-	-	≤35	≤30	≤30	≤25	
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de Finos										
- Valor en seco. (KN)	E-224	-	-	-	-	-	≥70	-	≥90	
- Relación húmedo/seco (%)		-	-	-	-	-	≥75	-	≥75	
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleztables (%)	E-211	-	≤2	≤2	-	≤2	≤2	≤2	≤2	
Durabilidad										
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos										
- Sulfato de sodio (%)	E-220	≤12	≤12	≤12	≤12	≤12	≤12	≤12	≤12	
- Sulfato de magnesio (%)		≤18	≤18	≤18	≤18	≤18	≤18	≤18	≤18	
Limpieza										
Límite líquido (%)	E-125	≤40	≤40	≤40	≤40	≤40	-	≤40	-	
Índice de plasticidad (%)	E-126	4 - 9	≤6	≤3	4 - 9	≤6	0	≤6	0	
Equivalente de arena (%)	E-133	-	≥25	≥30	-	≥25	≥30	≥25	≥30	
Valor de azul de metileno (1)	E-235	-	-	≤10	-	-	≤10	-	≤10	
Contracción lineal	E-127	Artículo 311	-	-	Artículo 311	-	-	-	-	
Geometría de las partículas										
Índices de alargamiento y aplanamiento (%)	E-230	-	-	≤35	-	-	≤35	-	≤35	
Porcentaje de caras fracturadas (una cara)	E-227	-	-	≥50	-	-	≥50	-	≥60	
Angulosidad de la fracción fina (%)	E-239	-	-	-	-	-	≥35	-	≥35	
Resistencia del material										
CBR (%) Nota : Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión. Método D.	E-148	≥15	≥30	≥80	≥15	≥30	≥80	≥30	≥100	

(1) El ensayo de Valor de azul de metileno solo será exigido cuando el equivalente de arena del material de base granular sea inferior a treinta (30), pero igual o superior a veinticinco (25)

Figura No II.12. Requisitos de los agregados para afirmados, sub bases granulares y bases granulares, Tabla 300.1, INVIAS 2.007

Igualmente se incrementó el ensayo en el equipo Micro-Deval que tiene por objeto evaluar el material a la pérdida del material por abrasión en presencia de agua.

Se adicionó también como requisito la evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos que a diferencia de los anteriores ensayos donde se evalúa la abrasión, en este ensayo se determina el efecto en las partículas sometidas a esfuerzos de compresión, importante en el comportamiento real donde el material se somete desde la construcción a efectos de degradación por cargas de compresión.

➤ Limpieza:

Se destaca la implementación del ensayo de azul de metileno considerando el efecto que la variación de humedad y la presencia considerable de arcilla y/o material orgánico pueden ocasionar en la estabilidad volumétrica. Igualmente se exige para la base granular NT2 y NT3 la nula existencia de plasticidad.

➤ Geometría de las partículas:

Se destaca para la base granular NT3 el incremento del porcentaje de trituración del 50% al 60% y se presenta un nuevo requerimiento referido a la angulosidad de la partícula fina.

➤ Resistencia:

Se incrementó el valor de Relación de Soporte de California exigido anteriormente en sub base granular de 20% a 30% como mínimo y de base granular de 80% a 100% para tránsito de diseño NT3.

Además de estos nuevos requerimientos, el ensayo de CBR se debe realizar con el método D, sometiendo la muestra a cuatro (4) días de inmersión, asegurándose de disponer de la resistencia bajo el efecto de la condición más crítica.

Como se observa, las especificaciones vigentes son proyectadas a garantizar la durabilidad y adecuado funcionamiento de los materiales asegurando el mejor comportamiento en proporción de las solicitudes del tránsito de diseño.

2.2.2 Sub base granular INV-320-07: Teniendo en cuenta lo expuesto en el numeral 2.1.3.3 del presente documento referente a los requerimientos de esta capa en las especificaciones del INVIAS 1.996 y los requisitos de calidad exigidos actualmente en las disposiciones generales para sub base granular del Artículo 300-07, continua considerándose su disposición como agregados naturales clasificados y la variación en su control de calidad es casi la misma, modificándose principalmente el incremento de la resistencia mínima del material a 30% de C.B.R.

Con relación a la gradación exigida para sub base granular en las especificaciones 2007, presentando cambios comparada con las de 1.996, se incrementaron de uno (1) a dos (2) husos granulométricos, considerando dos (2) diferentes tamaños máximos, SBG-1 para 1 1/2" y SBG-2 para 1".

Como se observa en la Figura No II.13 los valores de tolerancia de los límites superiores del huso granulométrico para SBG-1 se han disminuido en cada tamaño, acción que infiere una corrección importante en disminuir la tolerancia de las partículas finas que sobrepasan la mayor compacidad definida por Weymouth y permitir mayor presencia de vacíos entre partículas mejorando la capacidad de drenaje de la capa. Los límites inferiores se han mantenido estables comparándolos con los determinados en las normas anteriores.

Es importante también observar que el huso granulométrico de sub base granular SBG-1 es más parecido a la base en piedra partida estabilizada de 1.963 que a la sub base granular proyectada en las especificaciones de 1.996.

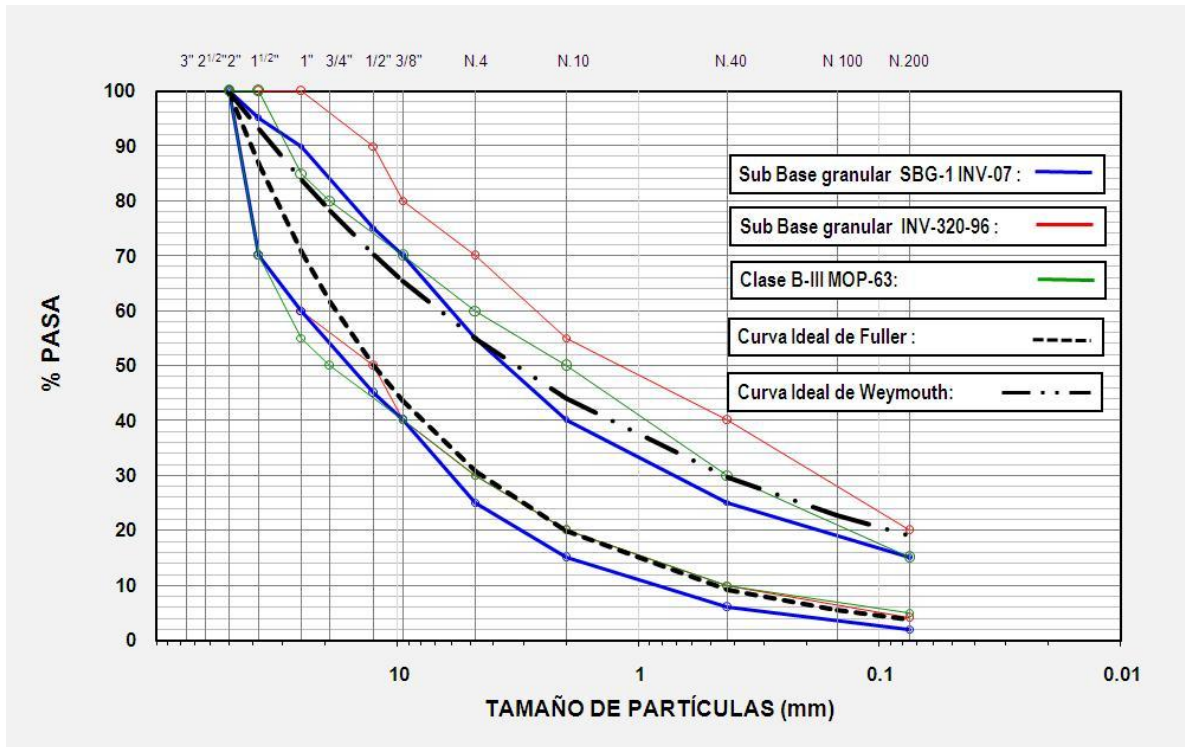


Figura No II.13. Gradación sub base granular SBG-1 INV-07.

El nuevo huso granulométrico definido para la sub base granular SBG-2 (Figura No II.14.) es casi idéntica a la gradación definida para base granular en las normas INVIAS de 1.996 y las definidas como base en piedra partida establecida por el M.O.P. de 1.963., pero hay que recordar que sus condiciones son diferentes por que el material de sub base de la especificación de 2.007 corresponde a un material natural sin condicionamientos de trituración, por lo cual infiere en la fuente una selección más dispndiosa.

Además de las condiciones granulométricas, la especificación exige una curva obtenida del material sensiblemente paralela a los límites de la franja, determinando un requerimiento de continuidad entre los tamaños de las partículas.

Para garantizar la continuidad de la gradación se ha adicionado a la especificación un control de tolerancias en las variaciones dentro de la franja; para agregado grueso mayor a 9.5 mm (tamiz 3/8") tiene una tolerancia de $\pm 7\%$, para agregado fino entre 4.75 mm. (Tamiz No 4) y 0.425 mm (Tamiz No 40) una tolerancia de $\pm 6\%$ y para el pasante del tamiz No 200 una tolerancia de $\pm 3\%$.

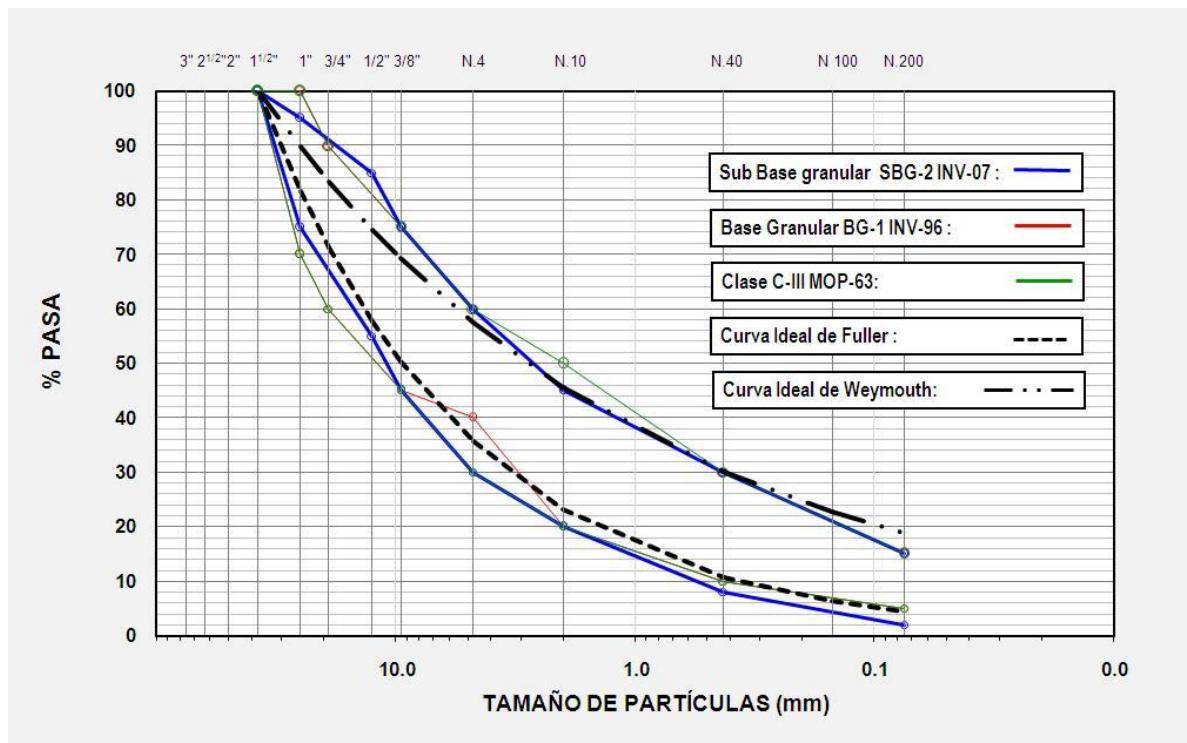


Figura No II.14. Gradación sub base granular SBG-2 INV-07.

Para el control de la densidad seca en el terreno, previa la determinación de la densidad seca máxima obtenida en el laboratorio mediante el ensayo del Próctor modificado (INV-E-142), para el control en obra, la especificación ha dispuesto la verificación de la densidad mediante un proceso estadístico basado inicialmente en la determinación del lote, definido por el menor valor de 500m de calzada, 3.500m² o una jornada de trabajo.

Para el proceso estadístico de la evaluación de un lote se determina como valor mínimo de muestreo cinco (5) ensayos, los cuales se comparan con la densidad obtenida en laboratorio (Dc) de la siguiente manera:

$$D_m - (K * S) \geq 0.95 * D_c \text{ (se acepta el lote)}$$

Donde

D_m = Densidad promedio aritmético de la muestra de ensayos.

K = Factor de confianza para el 90% de probabilidad que depende del número de ensayos.

S = Desviación estándar de la muestra.

Un condicionamiento de los ensayos es la corrección de partículas gruesas según la norma de ensayo INV-E-228.

2.2.3 Base granular INV-330-07: Como se pudo observar en el numeral 2.2.1 del presente documento las condiciones de calidad para base granular son superiores, principalmente para tránsitos de diseño importantes tipo NT3 y se ha ampliado la cantidad de requisitos en cuanto a sus propiedades de dureza, limpieza y geometría de las partículas.

Los principales cambios se encuentran en el incremento de resistencia requiriendo para tránsitos NT3 un C.B.R. $\geq 100\%$, un menor desgaste de 35% y al respecto la evaluación del mismo en presencia de agua.

Con respecto a la gradación indicada en las Figuras No II.15 y II.16, no se han presentado cambios sustanciales con respecto a las gradaciones de base de anteriores normas, únicamente se ha realizado dos (2) ajustes en los límites inferiores para acondicionar el agregado fino.

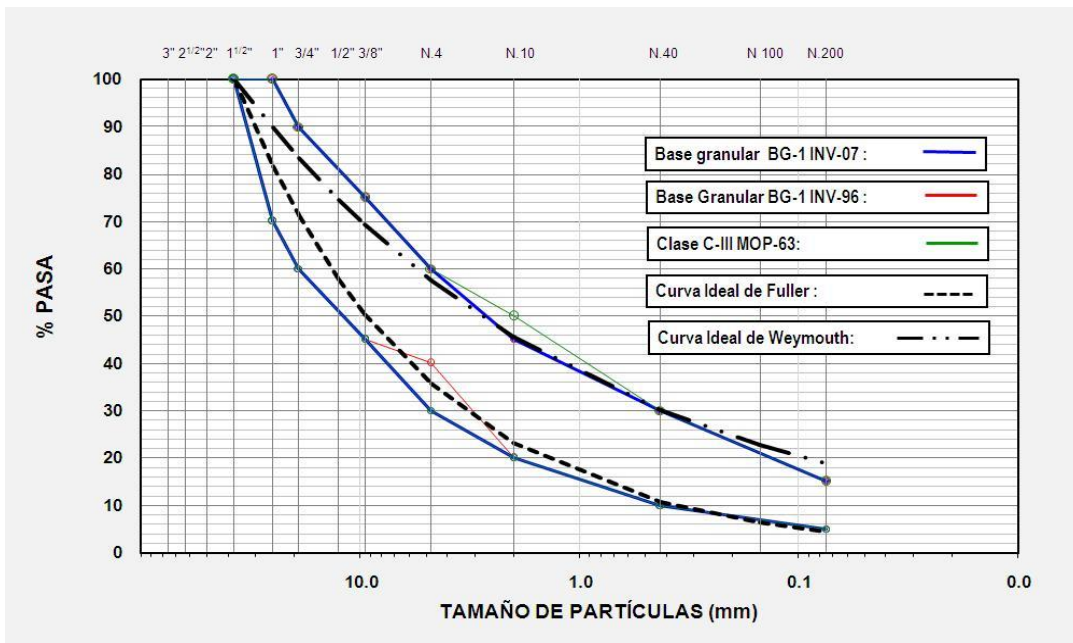


Figura No II.15. Gradación base granular BG-1 INV-07.

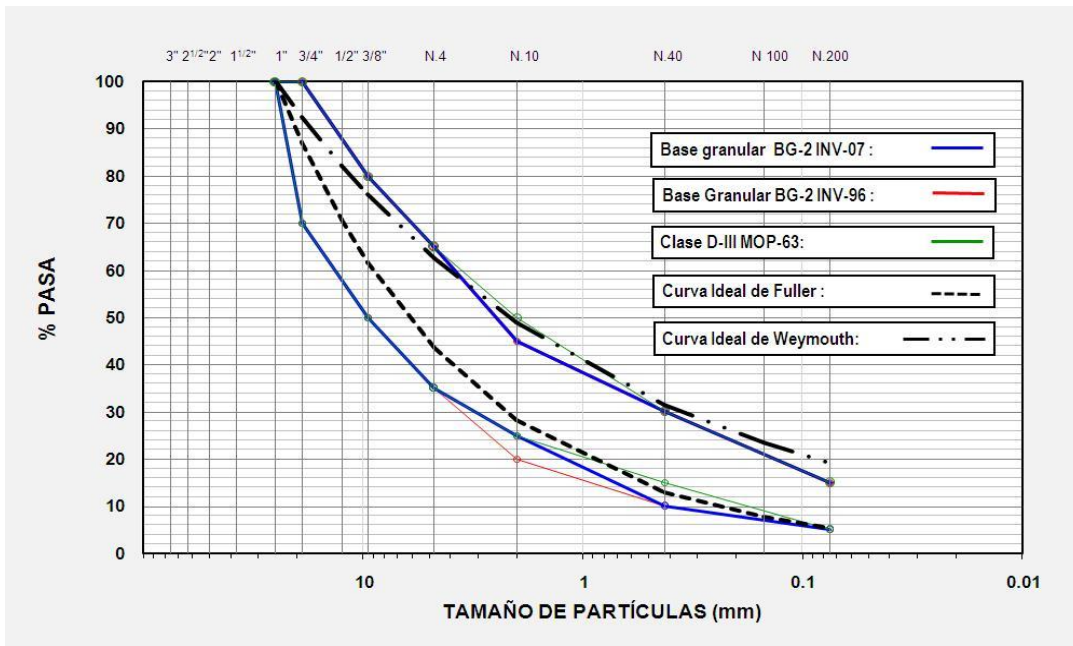


Figura No II.16. Gradación base granular BG-2 INV-07.

El control de la densidad del terreno se lo realiza de la misma forma que la sub base granular con la diferencia que en la condición el factor de aceptación para la densidad seca obtenida en laboratorio (D_c) es la unidad; entonces:

$$D_m - (K * S) \geq D_c \text{ (se acepta el lote)}$$

Donde

D_m = Densidad promedio aritmético de la muestra de ensayos.

K = Factor de confianza para el 90% de probabilidad que depende del número de ensayos.

S = Desviación estándar de la muestra.

2.3. PROBLEMAS EXISTENTES EN LA CARACTERIZACION, CONTROL Y RECIBO DE LAS CAPAS GRANULARES DRENANTES

2.3.1 Inexistencia de norma vigente de referencia para capas granulares drenantes: Uno de los aspectos importantes en la construcción de pavimentos es la definición de los materiales para elaborar las diferentes capas de la estructura, como se observó en el numeral 2.2 del presente documento, las especificaciones del INVIAS definen materiales con características y requisitos necesarios que se definen para cada caso, pero es importante considerar el entorno de las obras, aún más conociendo la diversidad de este aspecto en nuestro territorio colombiano, sectores como los localizados en zonas tropicales húmedas, donde por condiciones climatológicas, es necesario y recomendable utilizar materiales con características especiales; principalmente drenantes, que debido a circunstancias de fuertes y continuas precipitaciones se requiere acondicionar la gradación disminuyendo la proporción de las partículas finas para evitar que el continuo flujo de agua y presión de poros las remueva; y aumentar las dimensiones y proporciones de las partículas gruesas para conformar en su conjunto una estructura estable y resistente ante las cargas y condiciones de drenaje.

Considerando las especificaciones vigentes, la relación entre la necesidad del aumentar la capacidad de drenaje de un pavimento y modificar las características de gradación estipuladas se podrían rebatir otorgando responsabilidad al drenaje y subdrenaje construido lateralmente y/o colocando un geosintético que impida la pérdida de finos en la presencia de agua. Todo esto es posible, pero se debe evaluar los costos, dificultades constructivas y posibilidad de encontrar fuentes de materiales adecuadas; además determinar las proporciones de la situación; al respecto es interesante observar la Figura No II.17.



Figura No II.17. Lluvias en la vía Junín – Barbacoas (Nar.), abril de 2007.

En la figura anterior se muestra la incapacidad de las obras de drenaje dispuestas en la carretera mencionada; frente a tal situación se consideraría que las capas granulares del pavimento rígido construido se alteraron, pero esta estructura está compuesta por una base de gradación abierta que permite permanecer estable por que la mayor proporción de sus partículas son de agregado grueso; la capacidad de los filtros en estas condiciones es superada y su utilización

se limita a evitar la acumulación permanente del agua por condiciones geométricas y evitar la contaminación de los agregados por suelos finos provenientes de los taludes.

Es claro que el material de base del pavimento de la vía Junín – Barbacoas no cumple con las gradaciones definidas en las especificaciones generales de construcción colombianas vigentes; su concepción se remonta en la utilización de las Normas de Construcción para Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de 1.963 en un material denominado Base en Piedra Partida comentado en el numeral 2.1.1 del presente documento, utilizando la gradación abierta Tipo A1.

Otro aspecto importante en cuestión de evaluar el entorno en la concepción de un proyecto de construcción de una carretera es la determinada por la posibilidad de requerir fuentes apropiadas. Por lo general en zonas costeras o cercanas al pie de monte; la posibilidad de encontrar agregados se limita a la utilización de fuentes aluviales, condición que prevalece en gran parte del territorio colombiano. Cabe reflexionar que los agregados obtenidos en fuentes aluviales por lo general son pobres en contenido de agregados finos y sus partículas presentan gran resistencia.

Como se ha observado, el presente estudio se ha enfocado en observar las diferencias de técnicas constructivas de capas granulares a través del tiempo. La observación más importante obedece a la gradación que se ha utilizado y utiliza; este aspecto es determinante y es la base de los problemas de caracterización, control y recibo de este tipo de materiales.

Haciendo una comparación de la gradación utilizada en las especificaciones vigentes de materiales granulares, las utilizadas en anteriores normas y todas estas comparándolas con las definidas en otros países, para el ejemplo España, se considera que nuestras especificaciones se han concentrado en afinar una

porción del abanico de posibilidades tal como lo muestra la Figura No II.18.

NORMA DE CONSTRUCCION DE CARRETERAS MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS 1.963 - COLOMBIA																										
TAMIZ	ESTABILIZADA				GRADACIÓN ABIERTA (DRENANTE)				GRADACIÓN INTERMEDIA (DRENANTE)																	
	AIII	BIII	CIII	DIII	AI	BI	CI	DI	AII	BII	CII	DII														
3"	100				100				100																	
2"	65	100	100		-	-	100		-	-	100															
1.1/2"	-	-	70	100	100	100			-	-	-	100														
1"	45	75	55	85	70	100	100	100	35	65	50	80	-	-	100											
3/4"	-	-	50	80	60	90	70	100	-	-	-	-	-	-	-											
3/8"	30	60	40	70	45	75	50	80	-	-	-	-	-	-	-											
No. 4	25	50	30	60	30	60	35	65	10	30	15	35	20	40	25	45	15	45	20	50	25	55	30	60		
No. 10	20	40	20	50	20	50	25	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	50	
No 40	10	25	10	30	10	30	15	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
200	3	10	5	15	5	15	5	15	-	-	-	-	0	10	0	10	0	10	0	10	0	12	0	12	0	12

ESPECIFICACION INVIAS 2007 - COLOMBIA				
TAMIZ	SUB BASE GRANULAR		BASE GRANULAR	
	SBG-1	SBG-2	BG-1	BG-2
2"	100			
1.1/2"	70	95	100	100
1"	60	90	75	95
3/4"	-	-	-	-
1/2"	45	75	55	85
3/8"	40	70	45	75
No. 4	25	55	30	60
No. 10	15	40	20	45
No 40	6	25	8	30
200.0	2	15	2	15

NORMA ESPAÑOLA																				
TAMIZ UNE (mm)	ZAHORRA NATURAL (SUB BASE GRANULAR)					(BASE GRANULAR)														
						ZAHORRA ARTIFICIAL		ZAHORRA DRENANTE												
	ZN(50)	ZN(40)	ZN(25)	ZN(20)	ZNA	ZA(40)	ZA(25)	ZD-1	ZD-2	ZD-3										
50	100				100															
40	80	95	100		-	-	100		100											
25	60	90	75	95	100	60	100	75	100	70	100	100	100							
20			60	85	80	100	100	-	-	60	90	75	100	50	85	65	100	85	100	
10.0	40	70	45	75	50	80	70	100	40	85	45	70	50	80	30	55	35	65	35	65
5	25	50	30	55	35	65	50	85	30	70	30	50	35	60	10	35	20	45	15	35
2	15	35	20	40	25	50	30	60	15	50	16	32	20	40	0	15	0	15	0	5
0.4	6	22	6	25	8	30	10	35	8	35	6	20	8	22	0	5	0	5	0	2
0.08	0	10	0	12	0	12	0	15	0	18	0	10	0	10	0	2	0	2	0	2

MATERIALES DRENANTES

Figura No II.18. Comparativo de normas de materiales granulares.

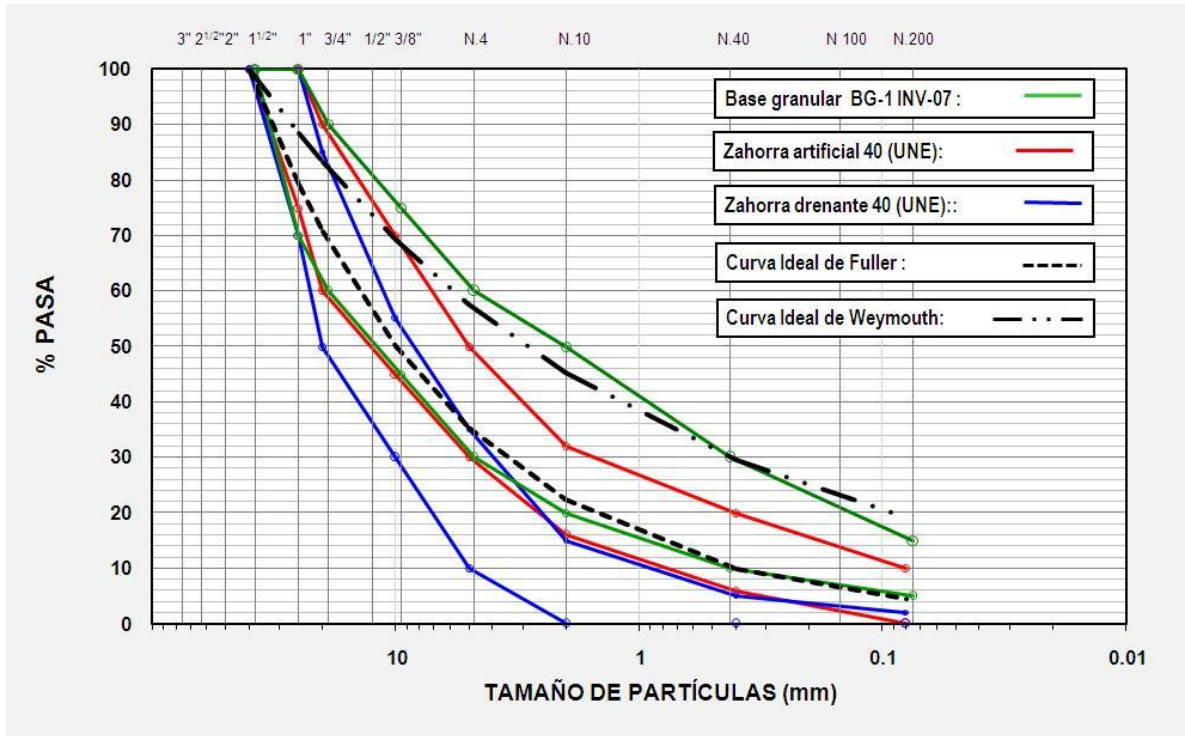


Figura No II.19. Comparativo base granular colombiana y española.

En la Figura No II.19. se presenta la comparación de husos granulométricos de bases granulares de tamaños similares exigidas de normatividad colombiana y española; al respecto se observa que las dos gradaciones españolas se alejan de la curva de Weymouth permitiendo mayor capacidad de drenaje que el huso granulométrico colombiano.

Además de las zahorras presentadas, la norma española dispone de cuatro (4) tipos de gradaciones de Macadam muy parecidas a las colombianas proyectadas por el M.O.P. de 1.963 disponiendo tamaños máximos de 100 mm., 80 mm., 63 mm. y 50 mm. Ver Tabla No II.4. Norma Española para Macadam.

TAMIZ UNE (mm)	MACADAM							
	M1		M2		M3		M4	
100	100							
90	90	100						
80	-	-	100					
63	-	-	90	100	100			
50	-	-	-	-	90	100	100	
40	0	10	0	10	-	-	80	90
25	-	-	-	-	0	10	-	-
20	0	5	0	5	-	-	10	35
12.5	-	-	-	-	0	5	0	5

Tabla No II.3. Gradación de la norma española para Macadam.

2.3.2 Problemas de caracterización: Como se observó en el numeral 2.2.1 del presente documento, en las disposiciones generales para capas granulares (INV-300-07) uno de los aspectos más importantes en la caracterización de los materiales es determinar la resistencia del material mediante el ensayo de C.B.R. en laboratorio (INV-E-148-2007; visto en el numeral 1.2.2.5. del presente documento), ensayo que se encuentra limitado para materiales que presentan partículas con tamaños menores a 3/4" (19 mm.), condición limitada como el máximo tamaño de partículas que se puede utilizar en el molde para C.B.R. de 6" de diámetro y el pistón de prueba de 3 pulg² de área; se considera que partículas mayores a esta dimensión afectan el resultado de resistencia por proporcionalidad y tendrían que remplazarse, tal como se estipula en la norma de ensayo.

Tal como se estipula en el procedimiento del ensayo de C.B.R., inicialmente se deben preparar la muestra para determinar el contenido de humedad óptima y densidad máxima mediante el ensayo "Relaciones de Humedad – Masa Unitaria Seca en los Suelos - Ensayo Modificado de Compactación" (INV-E-142-

2007) el cual estipula en el método D (Requerido en las disposiciones generales) que como mínimo se debe contar con un 30% de material retenido en el tamiz 3/4" para realizar el ensayo; al respecto las Especificaciones Generales del INVIAS estipulan la norma de ensayo "Corrección por Partículas Gruesas en el Ensayo de Compactación de Suelos" (INV-E-228-2007), donde se determina el procedimiento para hacer el remplazo del material retenido en 3/4" por material pasante de 3/4" y retenido en tamiz No 4.

Como se observó en la Figura No II.18. y para el ejemplo los determinados en la Tabla No II.2., la mayoría de los materiales con gradación abierta, principalmente de tamaños máximos de 3" y 2", presentan características de gradación que no se podrían ensayar mediante los ensayos del Próctor y C.B.R., imposibilitando así la caracterización del material.

Por lo expuesto, las condiciones de los materiales con característica drenante que presenten condiciones de gradación que imposibiliten la implementación de caracterización mediante el ensayo de C.B.R. en laboratorio condiciona el utilizar una metodología diferente que permita evaluar el material directa o indirectamente con el objeto de establecer la característica de resistencia de la capa esperada en el diseño.

De acuerdo a lo expuesto en el numeral 1.2.2.5, referente a la variabilidad de ensayos que determinan la resistencia de los materiales, se considera que la caracterización de un material debe estar acorde con la accesibilidad, economía y rapidez para contar con un resultado eficazmente; por tal razón en el presente estudio se evalúa la posibilidad de generar esta importante característica mediante la determinación indirecta de la resistencia determinando el módulo resiliente mediante la utilización de deflexiones y el proceso de retrocálculo que se explicará más adelante.

2.3.3 Problemas de control y recibo: Es conocido que para verificar el estado de compactación y recibo de la misma se debe evaluar la densidad (Condición analizada en el numeral 1.2.2.5 del presente documento), pero teniendo las dificultades mencionadas en el numeral anterior, respecto a la evaluación de la humedad óptima de compactación, resulta imposible hacerlo en desarrollo de la obra; por lo tanto la metodología adoptada para la caracterización debe implementar este aspecto y determinar mediante ensayos de experimentación las condiciones necesarias para desarrollar el control de la obra respecto al proceso de compactación del material.

Con relación a las Especificaciones Generales de Construcción del INVIAS, al respecto se establece que la evaluación de la densidad seca se determina mediante cualquiera de los siguientes ensayos: INV-E-161-2007 “Densidad o masa unitaria del suelo en el terreno - Método del cono de arena” o INV-E-162-2007 “Densidad o masa unitaria del suelo en el terreno - Método del balón de caucho” o INV-E-164-2007 “Densidad del suelo y del suelo-agregado en el terreno mediante métodos nucleares”. Con relación a la aplicación de estos ensayos en las condiciones que presentan los materiales drenantes se observa en el contenido de los artículos que estipulan su metodología las siguientes condiciones que afectan su aplicación:

- INV-E-161-2007 - Método del cono de arena: En el numeral 1.2 de la norma de este ensayo se estipula “El método sirve para los suelos que no contiene cantidades apreciables de rocas o de material grueso de tamaño superior a 38mm (1½”) de diámetro.”; por lo expuesto anteriormente las condiciones de los materiales drenantes incumplen esta condición.
- INV-E-162-2007 - Método del balón de caucho: En el numeral 1.4 de la norma de este ensayo se estipula “Este ensayo requiere de especial cuidado para usos en... Suelos que contienen apreciable cantidad de materiales gruesos en exceso de tamaño de 1 ½” (37.5 mm)... y Suelos granulares con alta relación de vacíos ó Rellenos de materiales que contienen partículas con

bordes y puntiagudos.”; la primera condición se podría tomar como aproximadamente aplicable, pero la segunda y tercera son insalvables; los materiales evaluados presentan vacíos por su condición drenante y la mayor porción de material agregado presentan formas puntiagudos que imposibilitarían evaluar tal condición.

- INV-E-164-2007 - Métodos nucleares: En el numeral 1.2 de la norma de este ensayo se estipula “El método sirve para los suelos que no contienen cantidades apreciables de rocas o de material grueso de tamaño superior a 38mm (1½”) de diámetro.” Debido a que las partículas de gran tamaño y los vacíos alteran los resultados obteniéndose mayor valor con partículas gruesas y menor valor con vacíos presentes.

Por lo expuesto la metodología de control y recibo debe estar ajustada a las condiciones de evaluación en la caracterización y definirse el contenido de humedad y control mediante un proceso de experimentación.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DRENANTES Y DISEÑO DE CAPA DE MEJORAMIENTO EN SUBRASANTES DÉBILES.

Teniendo en cuenta las condiciones planteadas sobre los problemas en la caracterización, control y recibo de capas granulares drenantes donde se expone la necesidad de complementar la metodología propuesta en las Especificaciones del INVIAS para determinar la resistencia del material a utilizar medido de forma indirecta a través del ensayo de C.B.R., es conveniente precisar el objeto de hacerlo; al respecto, todos los métodos de diseño conllevan en utilizar la información de resistencia de una capa en términos de módulos, para el caso de capas granulares, referida al módulo resiliente.

La resiliencia es la propiedad que tiene un material no ligado de absorber la energía cuando se deforma elásticamente y devolverla cuando se descarga; condición que dependerá del tipo de partículas y el estado tensional al que se encuentren sometidas dichas partículas.

Por lo expuesto es necesario considerar que el objeto de determinar la resistencia del material es utilizar tal información para contrastar o ser objeto de un diseño, el cual considera como última información el aporte estructural que brinda el material al conjunto en términos de módulo resiliente.

Como se mencionó en el Capítulo 2, la gran dificultad en evaluar los materiales para capas granulares tipo drenantes es la característica de gradación que implica dificultades en utilizar métodos tradicionales. En el presente

capítulo se determinará una metodología alterna que solucione de la manera más efectiva posible la principal necesidad de evaluar estos materiales de una manera que sea asequible para ser utilizada en desarrollo de cualquier obra.

Al igual que determinar el aporte estructural, es también importante establecer las condiciones para control y recibo de la capas considerando condiciones de humedad y energía de compactación mediante un adecuado proceso de experimentación.

Teniendo en cuenta todos los aspectos que conllevan a determinar el aporte estructural de un material, se debe evaluar los condicionamientos que puede presentar un material cuando este no presenta características homogéneas; para el caso considerar con importancia que la característica no ligada del material y su comportamiento en diferentes espesores, por tal razón es necesario determinar un procedimiento adecuado en el diseño de espesores de mejoramiento.

3.1.MARCO CONCEPTUAL REFERENTE A EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES.

El diseño y construcción de pavimentos, lleva implícito el funcionamiento estructural del mismo basado en la capacidad que debe tener el mismo para soportar las cargas a las cuales se verá expuesto en su vida de diseño y de la misma manera transmitir las al suelo de fundación con unas presiones de contacto que dependerán de las características de los materiales que componen la estructura. Lo anterior se cumple siempre y cuando el diseño esté acorde a las condiciones reales del terreno y que la construcción tanto de la base de apoyo como las capas superiores cumplan los requisitos de calidad de las especificaciones y normativas vigentes.

Como primer paso es indispensable conocer el comportamiento mecánico de la subrasante tanto en el diseño como la verificación en campo, para esto se parte de las herramientas que se han desarrollado a través de la experiencia y de los estudios de diversos investigadores que nos han transmitido los fundamentos teóricos y experimentales en el estudio de materiales de subrasante y granulares. De esta manera encontramos ensayos de uso tradicional y de base empírica como la Relación de Soporte de California (CBR) y otros ensayos de menor utilización de base analítico-empírica como el Módulo de Reacción K y otros de base analítica como el Módulo Resiliente con los cuales se obtiene un valor de resistencia con menor o mayor precisión y que en síntesis se utilizan para determinar el módulo del material con el cual se diseña o evalúa el comportamiento del mismo.

Considerando el caso específico evaluado en el presente trabajo, relacionado con el pavimento rígido proyectado en la vía Junín – Barbacoas, si bien se considera que los esfuerzos que transmiten las losas a su apoyo son bajos, se podría pensar que las losas de concreto por si mismas están en capacidad de soportar las solicitaciones impuestas por el paso de las cargas, lo anterior se cumpliría siempre y cuando el apoyo sea continuo, homogéneo y permanente; para hacerlo se debe garantizar la homogeneidad de la base de soporte la cual debe construirse sobre una subrasante que cumpla los requisitos de resistencia establecidos en el diseño. La uniformidad y permanencia en el tiempo se logra con la utilización de materiales no bombeables con alta permeabilidad y un sistema de drenaje eficiente que evite la erosión de la base.

Los métodos de diseño de pavimentos rígidos que se utilizan en nuestro medio corresponden a diferentes concepciones, mientras el Método de la Portland Cement Association PCA considera los criterios de fatiga y erosión, el Método de diseño del American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO'93 considera los criterios de serviciabilidad, drenaje, bermas y la erosionabilidad de la base, entre otras variables.

Los modelos matemáticos de la mecánica de los pavimentos en concreto es el resultado de los estudios realizados por Westergaard y por Burmister que fueron adoptados por otros investigadores que utilizaron las hipótesis de la solución al problema de las losas delgadas de dimensiones finitas apoyadas en un sólido elástico e isotrópico, apoyados igualmente por los ensayos viales experimentales realizados en Estados Unidos.

La hipótesis de placa delgada para la calzada, del modelo de Westergaard, lleva a cabo la esquematización del suelo así:

Éste se asimila a un sistema de resortes cuyo desplazamiento vertical en un punto (w), es proporcional a la presión vertical (v) en ese punto, o sea: $v = K w$.

Las hipótesis simplificativas permiten tratar problemas que otros modelos (Hogg y Burmister) no pueden resolver, en particular los de carga en el borde o esquina de la placa en concreto.

Donde:

v = esfuerzo vertical sobre el masivo.

K = módulo de reacción del suelo de soporte.

w = desplazamiento vertical de la placa.

Dentro de los conceptos del comportamiento de los materiales y las estructuras de pavimento a la solicitación de las cargas, se encuentra los esfuerzos, deformaciones y deflexiones a las cuales se ven sometidas tanto la subrasante como las capas granulares y la capa de rodadura.

Métodos elásticos multicapas y de elementos finitos se han usado ampliamente para calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones con el propósito de hacer un dimensionamiento. El método de cálculo en el que se supone que los materiales son elásticos, homogéneos e isotropos, sometidos a cargas

estáticas en un sistema multicapa en el que las capas son infinitas en dos dimensiones y finitas en espesor, ha sido el método más ampliamente difundido y usado para calcular las deflexiones, deformaciones y esfuerzos, debido a su simplicidad y a la disponibilidad de herramientas de cálculo por computador fáciles de utilizar y de fácil acceso.

En el análisis de los pavimentos rígidos, las soluciones de Westergaard han sido usadas ampliamente a pesar de que asumen la hipótesis de losa infinita. Para considerar la geometría real de los pavimentos de concreto se han desarrollado varios modelos. No obstante todos estos modelos analíticos o numéricos se han desarrollado con la teoría de placa delgada y con modelos convencionales de subrasante representada por un cimiento sólido elástico.

3.1.1 Técnicas de evaluación estructural: La historia del desarrollo de los equipos de medida de la deflexión también refleja la historia del desarrollo de las técnicas de evaluación estructural de pavimentos.

Se han desarrollado técnicas cada vez más y más avanzadas de retrocálculo para determinar las propiedades de las capas y materiales del pavimento a través de la interpretación de las deflexiones. Inicialmente se usaron métodos semi analíticos basados en la magnitud de la deflexión y la forma de los cuencos de deflexión.

El retrocálculo es un problema delicado que está pobremente condicionado y la solución es muy sensible a pequeños cambios de la deflexión medida. También sucede que se plantea un sistema de ecuaciones que no tiene solución única lo que hace el problema más complicado. La selección inicial de los valores semilla de los módulos es un aspecto importante del retrocálculo y del resultado final del mismo.

La formulación del problema de cálculo estructural de pavimentos consta de cuatro aspectos básicos.

- Modelo de la carga superficial.
- Modelo de los materiales.
- Modelos de respuesta del pavimento.
- Modelo de cálculo inverso.

3.1.1.1 Modelos de carga superficial: La carga aplicada puede ser modelada como, una carga estática, una carga móvil, una carga vibratoria o una carga de impulso. La mayoría de los algoritmos de cálculo inverso usan en la práctica el modelo de carga estática. Modelar cargas móviles o dinámicas es mucho más complejo y requiere mayores esfuerzos de formulación y de cálculo.

3.1.1.2 Modelos de materiales: La mayoría de los algoritmos usados en cálculo inverso asumen que los materiales del pavimento son lineales y elásticos. Este supuesto es una aproximación para la mayoría de los materiales de la estructura; en los materiales granulares de base y subbase la respuesta depende de las tensiones y por lo tanto no tienen respuestas lineales bajo la carga. El comportamiento de los materiales de la subrasante, arenosos o arcillosos también se sabe que depende de las tensiones y no es lineal. El módulo de una subrasante arenosa se incrementará con la profundidad bajo la acción del peso propio, mientras que una subrasante arcillosa se incrementará al aumentar la distancia horizontal de la carga o también según decrece el desviador de tensiones.

3.1.1.3 Modelos de comportamiento de pavimentos: Se necesita un modelo de respuesta en los procedimientos de cálculo inverso para calcular la deflexión bajo la carga de ensayo. En general, dependiendo del modelo de carga y de

los modelos de respuesta de los materiales, el modelo de respuesta del pavimento se puede clasificar en cuatro (4) tipos:

- Análisis lineal estático
- Análisis estático no lineal
- Análisis lineal dinámico y
- Análisis no lineal dinámico.

3.1.1.4 Modelos de cálculo inverso: Existen dos enfoques para el análisis del cálculo inverso para identificar las propiedades de los materiales del firme. El retro análisis inverso y el retro análisis directo. El retro análisis inverso adopta un “criterio de error de ecuación” que minimiza los errores de la ecuación de respuesta para estimar las deflexiones. El retro análisis directo es una aproximación basada en minimizar el “error de salidas de resultados”, por ejemplo la diferencia entre deflexiones medidas y calculadas. Este enfoque ha sido prácticamente utilizado en todos los algoritmos de cálculo inverso recogidos en la literatura. Se debe anotar que los errores de salidas son complicadas funciones de parámetros desconocidos y la expresión analítica a menudo no puede ser determinada. Se han empleado técnicas de diferencias finitas iterativas para obtener los valores de los parámetros de los materiales que mejor ajuste entre las deflexiones medidas y calculadas. Para reducir el tiempo de cálculo se pueden usar bases de datos alternativas y modelos predictivos de regresión. No obstante la transferibilidad de los métodos de base de datos y de técnica de regresión es bastante restrictiva. Actualmente la comparación de la eficacia relativa de diversos métodos de cálculo inverso no puede realizarse directamente debido a los diferentes supuestos y modelos de materiales adoptados en la formulación por cada uno de ellos.

Lo anterior conduce a la valoración del comportamiento del pavimento mediante

la utilización de ensayos que permitan conocer las deflexiones presentes durante la aplicación de una carga estándar de diseño.

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman”. Llamado así en honor a Daniel Benkelman quien la desarrolló en 1955 como parte del programa de ensayos viales WASHO (WASHO Road Test). La idea de ligar la medida de la deflexión superficial del pavimento con la evaluación estructural del mismo ha dominado esta actividad desde aquellos años. La principal aplicación de la medida, no destructiva, de la deflexión desde los primeros días fue el dimensionamiento del refuerzo del pavimento. La medida de la deflexión incrementa su importancia al comienzo de los años 70 cuando el concepto de Sistema de Gestión de Pavimentos fue introducido en la Ingeniería de Pavimentos y la necesidad de disponer de un Sistema de Gestión de Pavimentos se incrementa entre las autoridades de carreteras y los profesionales de los pavimentos en todo el mundo.

En general, se ha concentrado la atención en la medida de las deflexiones recuperables, o sea en la deformabilidad de las estructuras por elasticidad instantánea y retardada. La deflexión es parte de carácter elástico, pero también interviene esfuerzos plásticos. Los primeros desaparecen en cuanto se remueven la carga mientras que los segundos son permanentes, y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones o ahuellamientos en la superficie del pavimento.

Los ensayos de medida de la deflexión con equipos han sufrido con el tiempo transformaciones haciéndose más sofisticados. Versiones automáticas de la Viga Benkelman se construyeron en los años 60, el deflectómetro móvil de California y el Deflectógrafo Lacroix francés fueron los representantes de esta generación de equipos de medida de la deflexión. A mediados de los años 70 la demanda de equipos más rápidos y efectivos que se necesitan para los Sistemas de

Gestión de Pavimentos originó el desarrollo de equipos vibratorios en régimen permanente, tales como el Dynaflect y el Road Rater. A final de los años 80 los deflectómetros de impacto [Falling Weight Deflectometer, FWD] fueron ganando popularidad y difusión e incrementando la aceptación de los investigadores y profesionales de los pavimentos debido a su mejor representación de la cargas del tráfico respecto a sus antecesores, convirtiéndose en el equipo de referencia para la mayoría de las administraciones de carreteras europeas y americanas. A pesar de ello, los FWD como equipos de ensayos no destructivos no son enteramente satisfactorios en dos aspectos:

- El modelo de carga es diferente de las cargas reales actuales (mayores cargas y mayor velocidad de aplicación de las mismas) del tráfico y
- La velocidad global del ensayo es mucho más baja que la velocidad del tráfico real, lo que implica que se necesiten medidas adicionales de interrupción y control del tráfico, con las consiguientes molestias, riesgos y costos.

3.2.PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA OBTENCIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE LA CAPA GRANULAR DRENANTE QUE SERÁ UTILIZADO EN EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

El procedimiento inicial en la modelización de una estructura de pavimento, viene definida por la información que plantea el diseñador sobre las necesidades técnicas, las condiciones económicas y ambientales. Una vez salvadas las condiciones técnicas y económicas, el diseñador se concentra en el acondicionamiento de los requisitos al entorno; inicialmente determina las características del tránsito, el clima y define las características de la subrasante. Posteriormente proyecta un modelo estructural basado en los requerimientos normativos, comportamientos de los materiales en el entorno y las características de los materiales a utilizar basado en conceptos teórico-prácticos definidos por experiencias de la ingeniería.

Aparentemente definir las propiedades y calidades de los materiales a utilizar en el proyecto, parecería una tarea sencilla, porque usualmente el diseñador define estas características basadas en la norma de aplicación, tomando los criterios que determinan el cumplimiento de los requisitos del material; condición que comúnmente se resuelve así. Siendo más responsable el diseñador debería evaluar las fuentes de materiales y modelizar los materiales definidos en el proyecto, para obtener con mayor aproximación las características de los mismos para utilizarlo en el modelo estructural propuesto; por lo general, esta situación en la mayoría de los proyectos no funciona así y además, la normatividad que se aplica a los materiales no se ajustan a las condiciones del entorno.

En esta situación, el problema recae en los ejecutores del proyecto ya definido, teniendo que realizar lo inverso: “adaptar el entorno al modelo estructural proyectado”. En tal situación, a veces con resultados insalvables, se tiene que optar por dos (2) caminos, el primero, sacrificar mayores recursos de la

obra en el transporte del material apropiado y el segundo, modificar el diseño aplicando lo que inicialmente se debió hacer: “Adaptar el modelo estructural al entorno”, obviamente cumpliendo la normatividad o en su defecto sustentando el adecuado comportamiento que garantice la vida útil del pavimento.

Para el caso de los materiales objeto del presente estudio, las normas colombianas no presentan soporte de aplicación, por lo tanto, bajo las condiciones de su obligatoria utilización se debe determinar un proceso aplicado al proyecto específico para obtener las características requeridas para cumplir con el comportamiento de servicio y vida útil esperada.

Como se observó en el Capítulo 2, el problema más determinante en evaluar la característica de resistencia de un material tipo drenante es la condición de granulometría, problema definido por la mayor proporción en porcentaje del contenido de partículas con tamaño mayor de $3/4$ ”, proporción limitada en la especificación con un mínimo de 30% para desarrollar el ensayo convencional de C.B.R.

Observando la necesidad de determinar la resistencia del material granular tipo drenante en condiciones de gradación especial y la dificultad de hacerlo con un ensayo convencional o difícil de implementar como el ensayo de Módulo Resiliente acondicionado o el ensayo de Placa, se requiere entonces utilizar un método alternativo como los descritos anteriormente, en el cual se obtiene la deflexión y por medio de ésta se obtiene el módulo resiliente atravesando un proceso de retrocálculo.

Inicialmente se debe considerar con qué equipo se debe desarrollar la actividad y cuáles son las condiciones para su selección; como se mencionó anteriormente, existen diferentes equipos para medir las deflexiones, unos más avanzados que otros y como se pudo apreciar en lo descrito anteriormente, su adelanto tecnológico obedece a condiciones de rendimiento o incremento de

información para evaluar más definidamente las características de las capas de una estructura de pavimento.

Observando las condiciones generales que se presentan cotidianamente en los proyectos viales, la accesibilidad de equipos especiales de gran costo en su alquiler y disponibilidad, como por ejemplo, la información detallada que se obtendría con un deflectómetro de impacto; igualmente es necesario considerar ¿cuál es la información que realmente se necesita para ser evaluado un material?; entonces se disminuyen las opciones con las cuales se pueda desarrollar una evaluación por lo tanto es conveniente definir el modelo estructural para la evaluación específica del material y al hacerlo se observa que la condición es simple, porque se trata de determinar el módulo resiliente de una sola capa específica colocada en la superficie de soporte.

Teniendo en cuenta estas condiciones el equipo más idóneo es la viga Benkelman por su bajo costo, simplicidad de operación, asequibilidad y sobre todo porque ofrece la información específica necesaria para el objeto de la evaluación, dos (2) datos de deflexión que son suficientes para evaluar un modelo bicapa de forma teórica o por medio del proceso de retrocálculo.

Para soportar el procedimiento descrito a continuación, las Especificaciones Generales de Construcción INVIAS 2007, establecen en el Artículo 300, el numeral 300.4.2, denominado “Fase de experimentación en la construcción de sub bases granulares y estabilizadas”, en el cual se resuelve todos los problemas referentes al acondicionamiento de equipos y los métodos de preparación, transporte, colocación y compactación de los materiales para satisfacer las expectativas de los mismos y permitir la producción a escala industrial. Para el caso esta experimentación incluirá la evaluación estructural con los siguientes pasos:

3.2.1 Verificación de las características de los materiales diferentes a la de resistencia: Como se mencionó anteriormente, además de la resistencia los materiales granulares deben cumplir con lo dispuesto en las Especificaciones Generales de Construcción INVIAS 2007, Artículo 300, Tabla 300.1 “Requisitos de los agregados para afirmados, subbases granulares y bases granulares”; para hacer tal verificación se debe realizar la caracterización de la fuente de materiales y una vez realizada, determinar los ensayos necesarios en el proceso de producción.



Figura No III.1. Explotación de la cantera (desarrollo de una voladura).

Definido la selección del material tipo drenante, se debe verificar y establecer el huso granulométrico más apropiado y establecer las características de la producción y selección para que se logre el cumplimiento de la homogeneidad del material en el proceso industrial de la obra en cumplimiento de los requisitos de los agregados.



Figura No III.2. Proceso planta de trituración (fragmentación, trituración y selección).

Cabe mencionar que la fase de experimentación servirá para seleccionar los equipos más convenientes, entre estos los definidos en la cantera, la planta de trituración y una muy importante es entender que los materiales drenantes tendrán dificultades en compactarse, por tal razón el equipo de compactación deberá ofrecer una buena capacidad de energía de compactación.

Con relación al huso granulométrico seleccionado, la planta de trituración y su materia prima proveniente de la fuente deben garantizar la gradación esperada que como se ha visto depende del tamaño máximo seleccionado. Este aspecto parecería fácil de determinar en una cantera de roca, donde el tamaño del denominado material crudo (extraído con explosivos) dependería de la profundidad de los barrenos y la fragmentación que se logre con un martillo percusor, para posteriormente llevarlos a la planta de trituración; pero en el caso de una fuente aluvial dependería de las características de extracción y de la misma fuente, porque una de las condiciones que dificulta su uso es cumplir con la gradación sin incumplir con la condición de forma de las partículas, porque las fuentes aluviales presentan partículas redondeadas y puede ocurrir que en el proceso de producción sea necesario utilizar una trituración secundaria para fraccionar la fracción de menor tamaño. Por lo tanto en este caso, la fuente y su proceso de extracción es uno de los precedentes más importantes para seleccionar el tamaño máximo, a diferencia de la cantera donde el equipo de trituración se lo puede graduar para obtener el tamaño máximo que se requiera.

Por lo tanto para seleccionar la gradación requerida se debe considerar todos los aspectos; en caso que no se pueda garantizar alguno de ellos, entonces se debe realizar pruebas que determinen cuál es el tamaño máximo que brinda el mejor comportamiento esperado (Drenaje – Resistencia) al mayor rendimiento esperado para la obra.



Figura No III.3. Fase de experimentación para verificar la cantidad de energía de compactación.

Considerando la excepción en el caso de materiales drenantes a los que no se pueden realizar el ensayo del Próctor modificado, la cantidad de energía de compactación que requiere el material para obtener la densidad máxima se la puede determinar en la fase de experimentación observando el comportamiento del vibrocompactador en diferentes áreas con espesores variables y definiendo para cada uno por lo menos tres (3) puntos de control que establezcan seguridad en diferentes condiciones de la subrasante; para hacerlo en cada punto de control se debe realizar lecturas de deflexión con la viga Benkelman después de cada ciclo y estableciendo la cantidad de ciclos que se requiere para determinar en el mismo punto un resultado de deflexión sensiblemente estable. Considerando las condiciones típicas con las cuales se obtendría la densidad máxima en un material, la humedad óptima en un material drenante no se puede considerar como tal, aunque es preferible que el material se encuentre húmedo para permitir menor fricción en el acomodo de las partículas no se podría permitir saturación del mismo; por lo tanto en el momento de extender, el material y la subrasante deben presentar una condición drenada.

Como ejemplo del proceso de evaluación de compactación para cada punto de control se podría obtener una gráfica similar a la expuesta en la Figura No III.4; donde se observa que la deflexión D_0 se mantiene casi estable después del octavo o noveno ciclo de compactación, sugiriendo establecer para el caso, que la capa de espesor definido tendría la máxima densidad después del octavo ciclo.

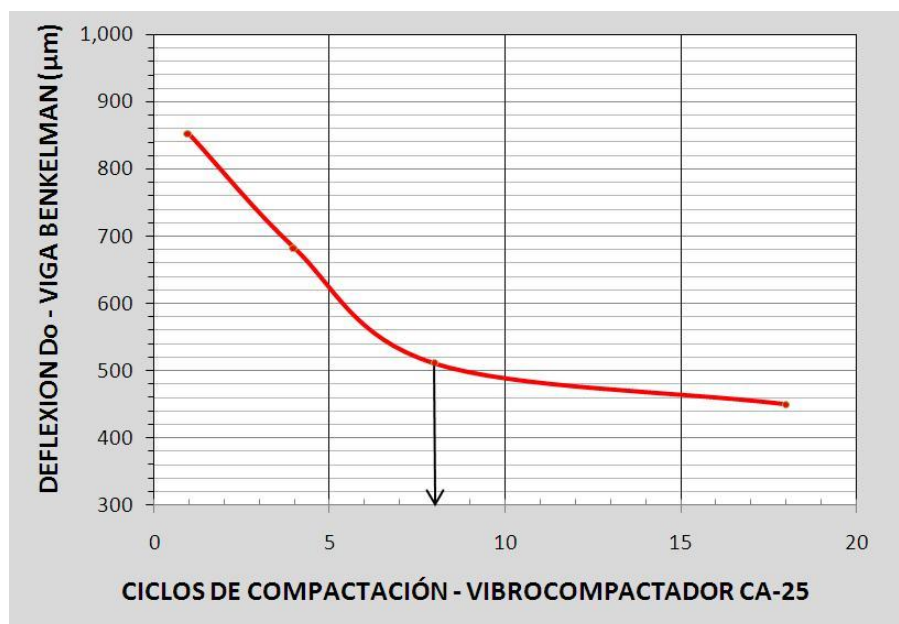


Figura No III.4. Evaluación de energía de compactación mediante la viga Benkelman.

Es importante observar que el comportamiento de la curva podría tener algunas variaciones en su configuración dependiendo de las condiciones de la subrasante o de la capa inmediatamente inferior al cual se esté haciendo la evaluación.

El aspecto mencionado se lo observará con mayor detenimiento más adelante cuando se identifique el comportamiento de la deflexión relacionándola con el módulo resiliente obtenido y con relación a la subrasante o capa inferior

observando el cuenco de deflexión que explica las modificaciones que podría contener la forma de la curva mostrada anteriormente.

3.2.2 Desarrollar el tramo de prueba donde se determinará el módulo resiliente del material: Como se observó el proceso de experimentación provee además de la verificación de las características iniciales del material, la energía de compactación requerida para garantizar la máxima densidad. Esta primera etapa no va desligada de la determinación del módulo resiliente de material evaluado porque la fase de experimentación para determinar la energía de compactación puede formar parte de la evaluación del módulo resiliente.

Es importante señalar que el tramo de prueba se lo debe evaluar en dos etapas: la primera, evaluar la condición inicial de la subrasante o capa de soporte y la segunda, evaluar el material ya instalado, objeto de la investigación. Entonces en la actividad inicial o primera etapa, no hay que olvidar que se desea obtener el valor de resistencia inicial o resistencia del estrato de soporte; entonces, las condiciones de evaluación corresponden a determinar para el caso de los equipos destinados para el ensayo, el CBR de la subrasante o la deflexión inicial obtenida de un material al cual no se le pueda realizar el ensayo de CBR, para el caso un material tipo afirmado.

El tramo de prueba para evaluar el Módulo Resiliente del material drenante consiste en acondicionar un segmento de carretera de aproximadamente 200m para investigar el comportamiento del módulo resiliente del material en aproximadamente 12 diferentes espesores y en cada uno, tres (3) puntos de registro, haciendo una variación del espesor con el objeto de realizar los ensayos de viga Benkelman, CBR de campo o CBR en muestras inalteradas de la siguiente manera:

3.2.2.1 Conformación de la calzada de la subrasante del tramo de prueba: Mediante equipos de conformación y compactación se debe acondicionar un espacio de 200m de largo y 6m o 7m ancho garantizando los niveles requeridos en la carretera, dentro o fuera del proyecto, preferiblemente en una zona homogénea de características similares a la condición típica de la vía.

Teniendo en cuenta que la subrasante típica puede tener condiciones normales y especiales como subrasantes débiles o afirmado existente, se debe identificar claramente estas áreas dentro del tramo de prueba para determinar la metodología a implementar en cada caso.

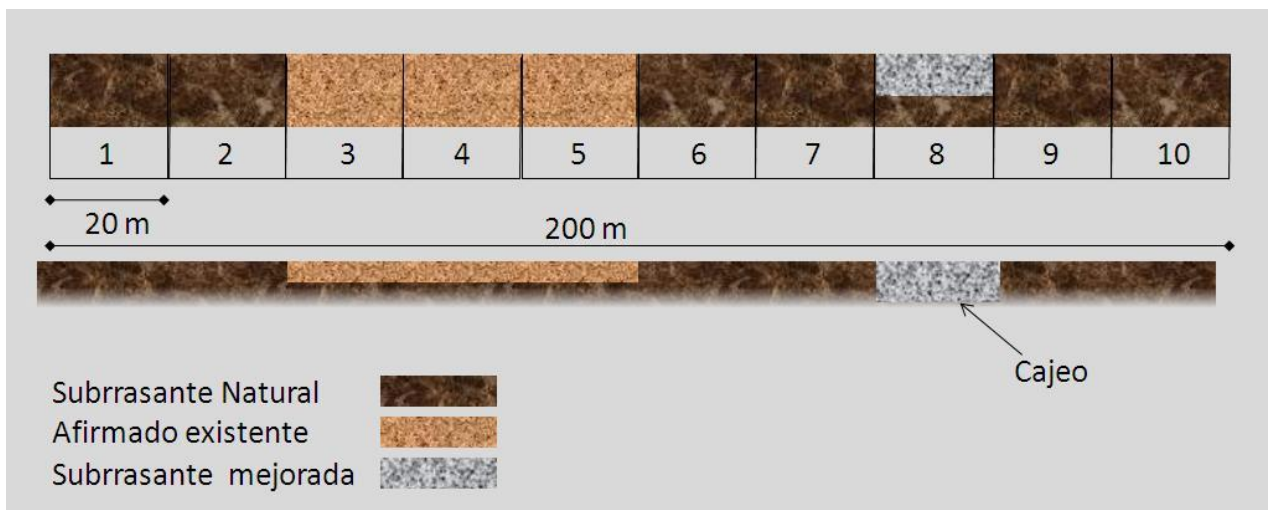


Figura No III.5. Tramo de prueba: 1ª Etapa - Conformación.

3.2.2.2 Identificación del procedimiento inicial para cada segmento del tramo de prueba: Como se observó en la Figura No III.5 el tramo de prueba puede presentar diferencias que son susceptibles de estudio y su identificación es de vital importancia; al respecto, se podría observar en las características de la capa de soporte inicial los siguientes casos:

- Subrasante débil: En este caso, donde en el tramo de prueba a nivel de subrasante se defina un sector con suelos débiles que impida acondicionar el sector para los ensayos se puede evaluar la resistencia inicial de dos (2) maneras:
- La primera, logrando los niveles necesarios y sin intervenir con equipos tomar una muestra inalterada del material para determinar posteriormente el CBR en laboratorio.
 - Y la segunda, acondicionar el terreno para poder soportar los equipos, para lo cual se debe realizar el mejoramiento, para hacerlo se realiza el cajeo (reemplazo) de la zona afectada lo más homogéneamente posible, definiendo una profundidad de mejoramiento de tal forma que se garantice el soporte de los equipos de extensión y compactación, (preferiblemente con el material que se desea evaluar), teniendo en cuenta que una vez cajeadado, este segmento del tramo de prueba tendrá diferentes condiciones se debe observar que: a) el nivel de la subrasante natural es diferente en dicho segmento; b) El área afectada por el cajeo debe ser representativa para evaluarse independientemente, considerando o no el nuevo espesor. Para este caso se evaluará cada segmento con ensayos de viga Benkelman y/o con la viga y el CBR de campo si se quiere determinar el aporte estructural que ofrece el material de mejoramiento del cajeo o únicamente con la viga si no se tiene en cuenta el material del cajeo, haciendo tal ensayo después de colocar y evaluar con viga el segmento mejorado.
- Afirmado existente: Si es sobre afirmado existente preferiblemente solo se realizará la evaluación con la viga Benkelman debido a que las condiciones de granulometría y uniformidad del afirmado podría impedir realizar a la subrasante el ensayo de CBR, además por ser una capa que podría tener un espesor no representativo podría generar información no válida, tomando registro sobre la subrasante conformada y nivelada en los puntos de evaluación definidos.

- Subrasante natural resistente: Si se trata de una subrasante natural que soporte la movilidad de los equipos, se podría hacer la prueba de determinar la resistencia inicial con el equipo de CBR de campo o con la Viga Benkelman o con los dos si se quiere observar las diferencias al determinar el módulo resiliente de soporte.

3.2.2.3 Localización y nivelación: Una vez definidas las condiciones del tramo de prueba y realizada su conformación es necesario determinar la localización de cada segmento denotando sus características y ubicando en cada uno de ellos cada punto de control, para hacerlo se debe realizar un levantamiento topográfico referenciando los puntos base, realizando el levantamiento con equipos con suficiente precisión para localizar los puntos de control exactamente cuando se haya colocado y compactado el material objeto del estudio en los niveles requeridos.

Igualmente, en el momento de extender el material y conformar los espesores requeridos para la prueba se debe utilizar la información topográfica necesaria.

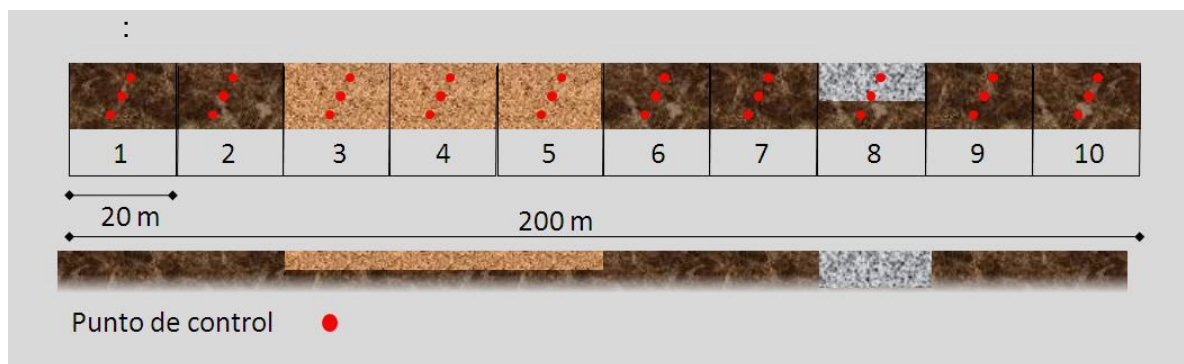


Figura No III.6. Puntos de control del tramo de prueba.

3.2.3 Pruebas iniciales de resistencia, realizadas a nivel de la plataforma de soporte del material a evaluar sobre los puntos de control: Las pruebas iniciales en los puntos de control se limitan a desarrollar ensayos de deflexión con la viga Benkelman sobre los puntos de control que se desea y puede realizarse. Los ensayos de CBR con equipos de campo o con muestras inalteradas es preferible realizarlos después de ejecutar todo el procedimiento de extensión, compactación y levantamiento de deflexiones del material evaluado, porque la plataforma de soporte será alterada con la compactación, entonces, una vez realizadas las pruebas finales de deflexión se realiza un apique en cada punto de control que requiera ser levantada la información de resistencia mediante el ensayo de CBR de campo o con muestra inalterada.

3.2.4 Extensión, conformación y compactación del material sobre el tramo de prueba: Como se mencionó anteriormente el tramo de prueba tendrá diferentes espesores de evaluación, el objeto de hacerlo es observar el comportamiento real del módulo resiliente del material en diferentes espesores, considerando las posibles características de un material que se comporta diferente en menores que en mayores espesores debido a su condición no ligada y de gradación no estabilizada.

En la proyección de cada segmento se mencionaba anteriormente la disposición de un espacio como mínimo de 20 m, esta condición tiene como objeto permitir que el equipo de viga Benkelman y la volqueta con la cual se realice la prueba tenga el suficiente espacio para desarrollarse, al respecto se recuerda que en la prueba de deflexión el vehículo debe alejarse una distancia tal que su presencia no afecte la reacción del suelo reflejada en la prueba de la siguiente manera:

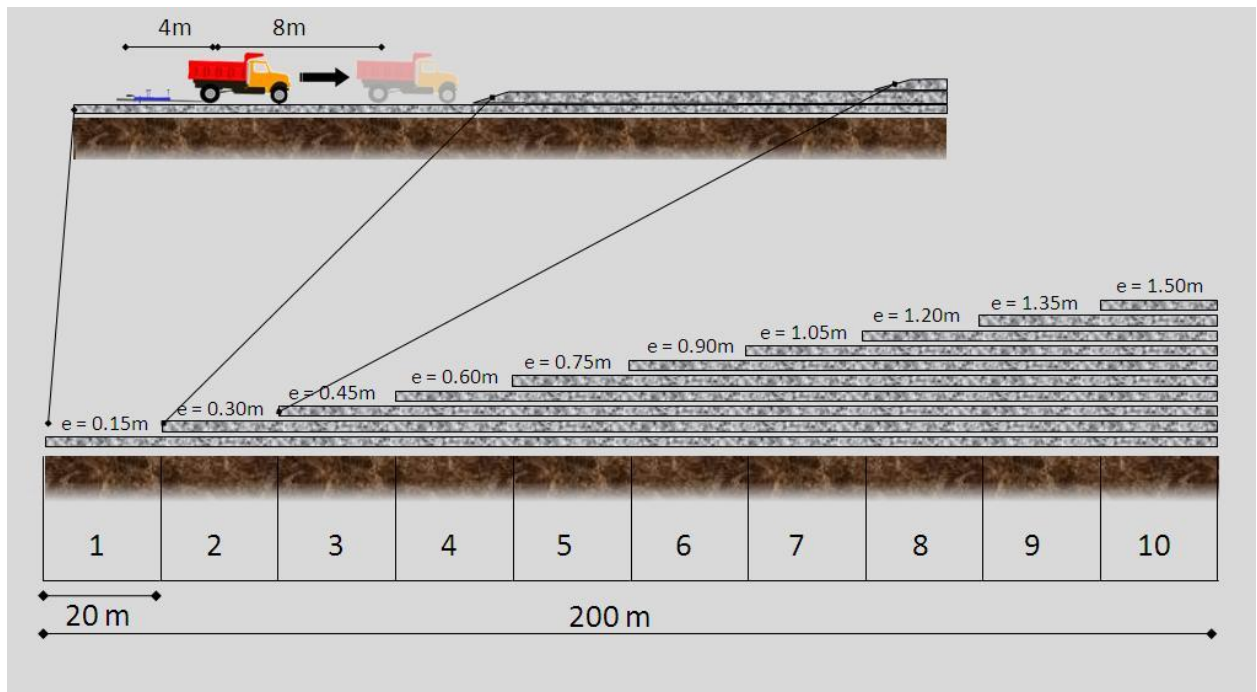


Figura No III.7. Capas del tramo de prueba.

3.2.5 Pruebas de campo sobre los puntos de control del tramo de prueba:

Como se ha mencionado, cada punto de control entregará información específica de resistencia de la capa de soporte y después de instalar el material objeto de las pruebas, la información de resistencia del conjunto soporte – estructura; con esta información, se evaluará el comportamiento del material en diferentes condiciones de espesor que ofrecen cada segmento del tramo de prueba.

En la ejecución de los ensayos se debe considerar que la información inicial y final podría ser alterada por el contenido de humedad de la subrasante y/o por la alteración de su resistencia cuando el tramo de prueba se abandona después de las pruebas iniciales. Por lo tanto se recomienda que las pruebas iniciales y finales se realicen simultáneamente, preferiblemente el mismo día. Por este aspecto, se considera que la situación más correcta es desarrollar las pruebas de Viga Benkelman final e inmediatamente después el ensayo de CBR de

campo, realizando la toma de información de forma simultánea, así, se podría garantizar que los efectos ambientales y de estado tensional de la subrasante son estables y no afectan los resultados.

Dependiendo de la condición de la capa de soporte en cada punto de control se podrá desarrollar como mínimo los ensayos indicados en la Tabla No III.1. “Ensayos requeridos para cada punto de control del tramo de prueba”.

Como se observa en la Tabla No III.1., además de los ensayos mencionados de CBR y Viga Benkelman, se ha incluido el ensayo de Penetración Dinámica de Cono, el cual servirá en la ejecución de la obra para definir rápidamente el espesor requerido de mejoramiento en sitios específicos, determinando el CBR correlacionado de soporte para establecer el espesor requerido, determinando en esta etapa de experimentación la correlación más aproximada del equipo que se utilizará en la obra para dicha evaluación y control.

Además de los ensayos se incluye el proceso de nivelación y localización, actividad determinante para evaluar el espesor y si se quiere, evaluar el asentamiento y compactación del material, información imprescindible en el momento de cuantificar cantidades y valorar precios unitarios. Cabe señalar que esta actividad se la debe relacionar con las condiciones variables de la subrasante, por que se espera que se obtenga mayores asentamientos en subrasantes débiles y mínimos en subrasantes normales o regulares.

Condición de la capa de soporte		Ensayos iniciales (Tramo de prueba acondicionado)				Ensayos finales (Material instalado)		
		Nivelación - Localización	CBR campo o Lab.	Viga Benkelman	PDC	Nivelación - Localización	CBR campo	Viga Benkelman
Subrasante natural (Estrato firme, soporta la maquinaria, suelo fino)	Veces	1	1 Opcional	1 Fijo u Opcional	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional.
	Observación:	Identificación y dato inicial para espesor	preferible /. CBR campo. Comparar alteración	Si no se hace CBR es fijo o si se quiere comparar resistencia con CBR.	Para calibración de PDC en proceso constructivo	Identificación y dato final de espesor. Nivelación en c/ ciclo de compactación ¹	preferible/. CBR campo. Si se hace Viga al inicio sería opcional	Dato final de deflexión del conjunto. Se haría 1 si no se evaluará compactación.
Subrasante natural (Subrasante débil, no soporta la maquinaria, suelo fino)	Veces	1	1	0	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional	1	1 fijo o 15 Opcional.
	Observación:	Identificación y dato inicial para espesor y asentamiento	preferible /. CBR laboratorio. Comparar alteración	No se puede desarrollar.	Para calibración de PDC en proceso constructivo	Identificación y dato final de espesor. Nivelación en c/ ciclo de compactación ¹	preferible/. CBR campo. (especial cuidado con anillo de carga) ²	Dato final de deflexión del conjunto. Se haría 1 si no se evaluará compactación.
Subrasante afirmado existente	Veces	1	0	1	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional	0	1 fijo o 15 Opcional.
	Observación:	Identificación y dato inicial para espesor y asentamiento	No se puede desarrollar por el tamaño de las partículas	Se debe se homogenizar el material (acabado liso)	No se recomienda.	Identificación y dato final de espesor. Nivelación en c/ ciclo de compactación ¹	No se puede desarrollar	Dato final de deflexión del conjunto. Se haría 1 si no se evaluará compactación.

- Notas: 1. La nivelación en cada ciclo de compactación determina el factor de compactación y/o asentamiento requerido para evaluar las cantidades de material por cada m3 instalado si previamente se cubica el material en volquetas. Para hacer tal verificación se requeriría hacer un apique final para comparar el nivel final.
2. Los anillos de carga de un equipo de CBR de laboratorio o campo tienen por lo general capacidad de 6000 Lb., con lecturas iniciales mayores a 70 Lb., para subrasantes débiles se debe utilizar anillos más sensibles que determinen lecturas iniciales mayores de 10 lb.

Tabla No III.1. Ensayos requeridos para cada punto de control del tramo de prueba.

A continuación se describen los ensayos a realizar, considerando aspectos específicos requeridos para acondicionar su utilización en desarrollo de la evaluación estructural de materiales drenantes.

3.2.5.1 Ensayo de Viga Benkelman en materiales granulares: En la Norma de Ensayos del INVIAS 2.007 el ensayo de viga Benkelman se estipula su desarrollo mediante el artículo INV-E-795-07 con el nombre “Medida de la deflexión de un pavimento empleando la viga Benkelman”; su aplicación en los materiales granulares es el mismo, exceptuando la medida de temperatura que no es necesaria. Para el ensayo en materiales granulares, es preferible utilizar la viga doble para obtener mayor información, determinando el cuenco de deformación, información que se puede utilizar para apreciar el comportamiento global de la capa y determinar un punto adicional para obtener el módulo resiliente del material en el proceso de retrocálculo.

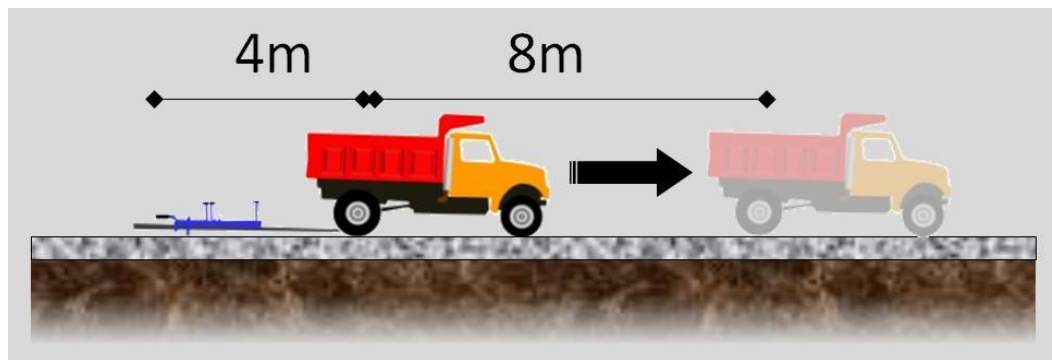


Figura No III.8. Vista general del ensayo Viga Benkelman.

Entre los detalles más importantes en el desarrollo del ensayo en materiales granulares es considerar las características del agregado superficialmente por que puede observar protuberancias o huecos entre las partículas que pueden afectar el apoyo de la viga; para ello se debe homogenizar la superficie con una arena húmeda debidamente compactada como se indica en la Figura No III.9.

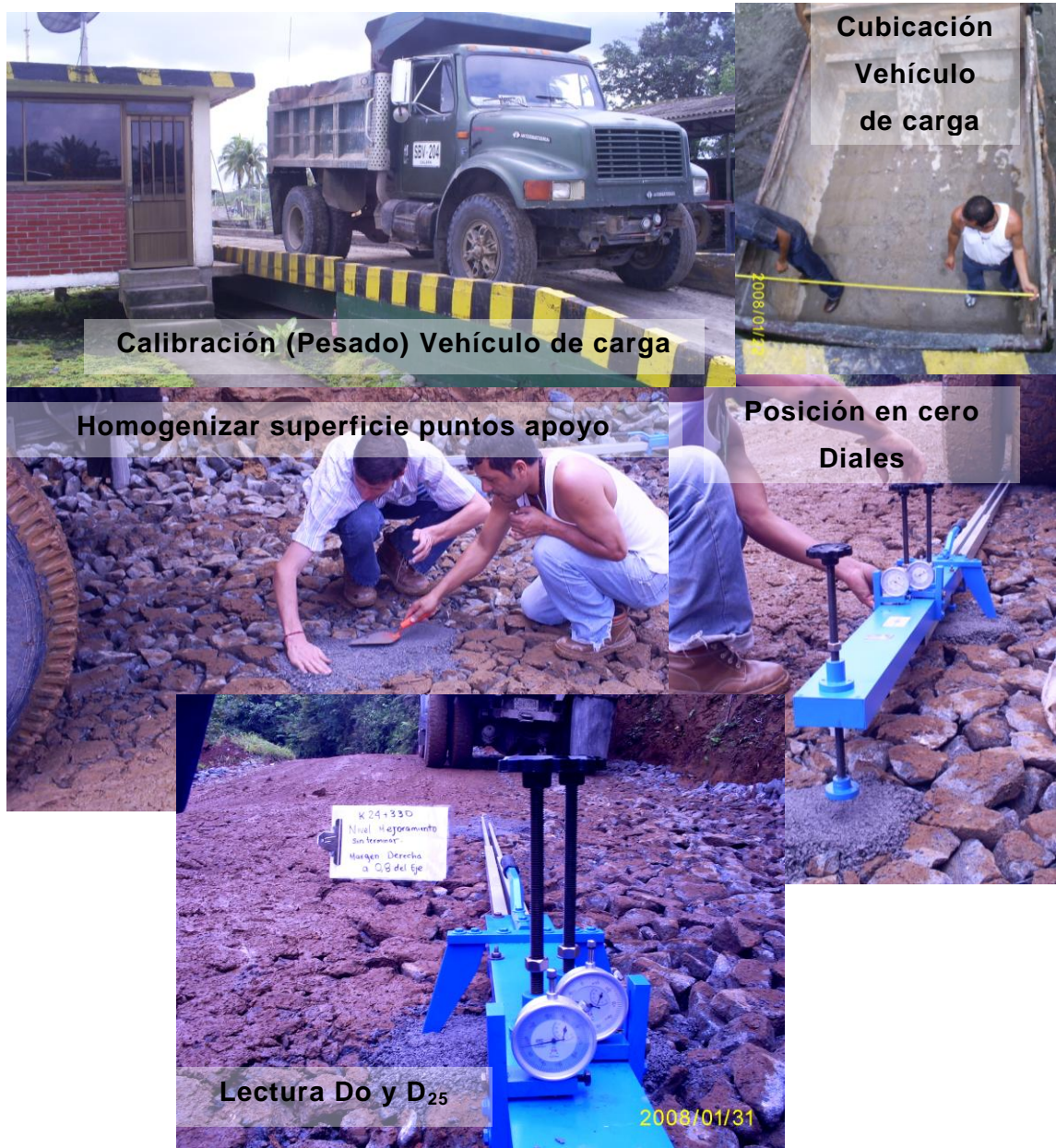


Figura No III.9. Ensayo Viga Benkelman en material granular.

3.2.5.2 Ensayo de CBR de campo: En la Norma de Ensayos del INVIAS 2.007 el ensayo de CBR de campo se normaliza mediante el artículo INV-E-169-07 con el nombre “Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR In situ)”; su aplicación y restricciones son las mismas que las estipuladas, únicamente, se debe considerar que su implementación en la metodología propuesta debe considerar el realizarse en las mismas condiciones ambientales y de localización horizontal, esta última porque la variación de relación de soporte puede ser bastante variable en distancias cortas, condición que aparentemente no se consideraría probable, pero evidenciado resultados en el presente estudio se detectó que es muy posible, la situación se presenta en condiciones de drenaje de un punto a otro, para el ejemplo en datos tomados cercanos al borde interno del talud y borde externo donde los resultados fueron CBR de 10% y 2.5%; por lo tanto, se debe tener especial cuidado en localizar el punto donde se tome la información de CBR, para que sea precisamente el mismo sitio donde se desarrolle el ensayo de viga Benkelman.



Figura No III.10. Ensayo CBR de campo.

3.2.6 Identificación de la información levantada, y determinación de objetivos del tramo de prueba para la evaluación estructural del material granular: Como se puede observar en la Tabla No III.1. “Ensayos requeridos para cada punto de control del tramo de prueba”, la información levantada en cada punto de control debe ofrecer dos (2) datos de resistencia, la primera, de la capa de soporte, sea subrasante natural, afirmado existente o capa ya construida en el caso de cajeos de mejoramiento; y la segunda, el resultado de resistencia de la capa total con el espesor del material drenante proyectado en el punto de prueba. Esta información será suficiente para ser utilizada en la metodología propuesta para la evaluación estructural del material drenante.

Otro aspecto a evaluar en el tramo de prueba es la energía de compactación requerida para disponer de la máxima capacidad estructural que puede ofrecer el material drenante, para lo cual, en la misma proyección de ensayos indicada en la Tabla No III.1. se establece un control de las deflexiones para 15 diferentes ciclos, que podrían ser más o menos, dependiendo del equipo a utilizar en la obra y donde se obtendrá una curva con el resultado de las diferentes pruebas, la cual definirá el número de ciclos requeridos para mantener estable el valor de la deflexión.

De forma adicional y utilizando la información de nivelación y localización requerida para el tramo de prueba se puede determinar el valor de asentamiento para diferentes valores de resistencia de la subrasante, información que como se manifestaba anteriormente es indispensable ante las reclamaciones de los constructores referente a las cantidades de material suelto versus la cantidad de material compacto después de instalar la capa, teniendo en cuenta que las especificaciones y documentos contractuales señalan que el recibo se debe realizar mediante secciones transversales.

En la Figura No III.10. se presenta una tabla modelo con algunos datos para

ejemplo con la cual se puede levantar toda la información requerida para el estudio del material drenante.

Localización						Plataforma evaluada			Subrasante			Deflexiones		
Abscisa	Margen (I-C-D)	Coord. Norte	Coord. Este	Subrasante		Tipo de Material	Espesor (cm)	Ciclos compact.	Clasif. U. S. C.	CBR (%)	W%	Do ₂	D25 ₂	Rc ₂
				Cota inicial	Cota final							Do ₁	D25 ₁	Rc ₁
24+076	D	936.972	143.182	600.12	600.11	Base en P. P.	37.0	8	ML	6.11	76.8	717	351	85.4
						Mejoramiento	25.0					-	-	-
						Total :	62.0							
24+099	I	946.824	144.895	603.37	603.35	Mejoramiento	45.0	8	MH	5.71	75.3	683	273	76.3
						Total :	45.0					-	-	-

Figura No III.11. Tabla modelo resumen de información levantada en campo y laboratorio para el tramo de prueba.

En la tabla indicada anteriormente se distinguen cuatro (4) apartes, el primero, la localización, donde se consigna la abscisa, margen, coordenadas y cotas requeridas para establecer el emplazamiento de cada prueba y los resultados de niveles mencionados para evaluar el asentamiento.

En el segundo aparte de la tabla modelo, se consigna los espesores, tipo de material evaluado y cantidad de ciclos de compactación de la capa objeto del estudio.

En el tercer aparte, los resultados de evaluación de resistencia de la subrasante, con alguna información adicional como la clasificación y la humedad del mismo, para distinguir las condiciones de la subrasante de soporte.

En el cuarto y último aparte se consignan los valores de deflexión obtenidos con la viga Benkelman doble, antes (subíndice 1) y después (subíndice 2) de instalar el material drenante.

La información consignada debe desarrollarse en orden, teniendo en cuenta que posteriormente se clasificará por espesores y rangos de CBR y deflexiones para generar las curvas necesarias para el análisis.

3.2.7 Determinación del módulo resiliente del material granular drenante:

Una vez obtenido los resultados de campo y laboratorio de acuerdo a la metodología propuesta y la consignación de los datos en la tabla modelo de la Figura No III.11., a continuación se presenta dos (2) métodos para realizar la determinación del módulo resiliente, el primero, de acuerdo a la teoría Bicapa del modelo de Burmister y el segundo, de acuerdo al proceso de retrocálculo explicado en el numeral 3.1 del presente estudio.

3.2.7.1 Aplicación práctica de la teoría Bicapa en la determinación del módulo resiliente de materiales drenantes: El objeto de utilizar esta metodología, es contar con un resultado comparativo de módulo resiliente determinado con la metodología de cálculo inverso para establecer con mayor afinidad el ajuste del valor definitivo obtenido, teniendo en cuenta que en los ensayos se pueden obtener variabilidad por cualquier situación que lamentablemente se presenta en condiciones reales.

La teoría de Burmister es apropiada para determinar el módulo del material, considerando que las capas tienen un macizo homogéneo y se cuenta con los resultados del ensayo de CBR de la subrasante y la deflexión con las condiciones de carga determinados con el ensayo de la viga Benkelman.

El modelo bicapa establece las siguientes condiciones para el caso específico:

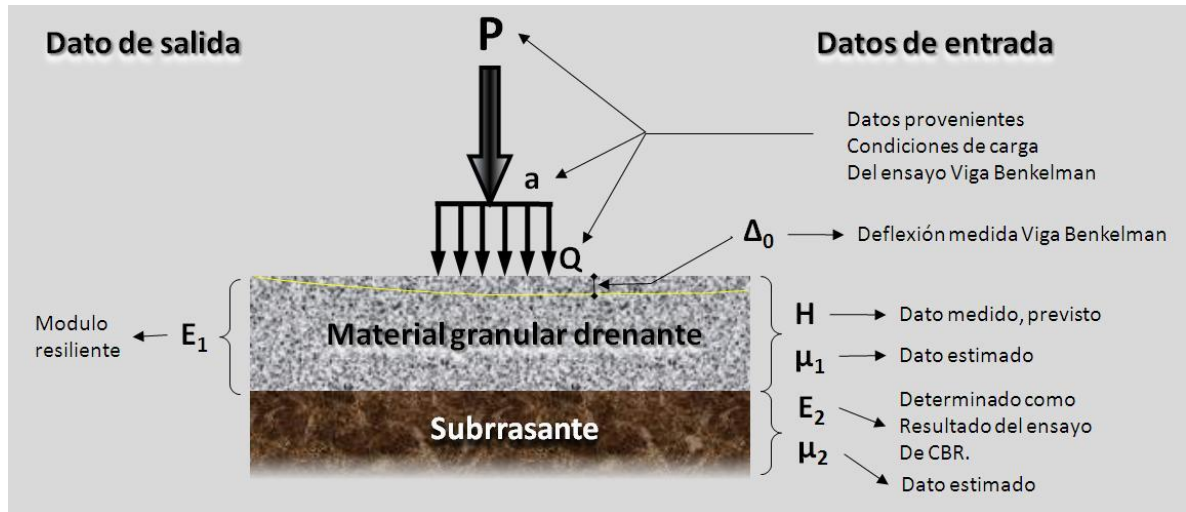


Figura No III.12. Modelo bicapa aplicado para determinar el módulo resiliente de un material drenante.

El modelo establece la siguiente expresión general:

$$\Delta_0 = \frac{1.5 Q a}{E_2} * F_2$$

Expresión que utilizándose para determinar el factor de desplazamiento vertical F_2 , el cual se encuentra en función de la relación modular (E_2/E_1) y la relación (H/a); donde, E_1 , módulo resiliente de la capa superior es la incógnita, por lo tanto el dato a buscar en el gráfico de Burmister es la relación modular (E_2/E_1).

Para el caso específico de las condiciones de carga del ensayo de viga Benkelman las expresiones se resumen en:

$$F_2 = \frac{E_2 * \Delta_0}{1.5 * 5.6 \text{ Kg/cm}^2 * 10.8 \text{ cm}}$$

3.2.7.2 Aplicación práctica del cálculo inverso en la determinación del módulo resiliente de materiales drenantes: Como se observó anteriormente, el modelo estructural requerido para el estudio está definido por dos (2) capas, la subrasante existente y capa de material granular del cual se desconoce el módulo resiliente. El método del cálculo inverso para este caso consiste en determinar el módulo resiliente de la capa granular utilizando las condiciones de carga y los resultados de deflexión de la viga Benkelman recurriendo a un software que genera un proceso de convergencia de una magnitud de deflexiones calculadas comparando la magnitud de las deflexiones medidas, para hacerlo se debe asumir los módulos, logrando que la asignación determinada de éstos, aproxime la deflexión calculada a la deflexión medida en un rango de error previsto.

Existen dos (2) formas para hacerlo, la primera, utilizando únicamente la información de deflexión D_0 y D_{25} , las condiciones de carga del ensayo y el espesor medido de la capa granular objeto del estudio, determinando módulos asumidos para ambas capas y obteniendo en la convergencia de las deflexiones medidas y calculadas un mínimo error, determinando los módulos de la subrasante y la capa granular evaluada.

La segunda es utilizar los mismos datos de entrada de la primera y adicionando la información de resistencia de la subrasante obtenida mediante el ensayo de CBR, otorgando un módulo fijo para esta capa. La convergencia de las deflexiones obtenidas en el proceso iterativo ofrece como resultado un error más acentuado, debido a las condiciones independientes de los dos ensayos, Viga Benkelman y CBR. Cabe resaltar que la asignación de módulo de la subrasante que se realice con el resultado del CBR debe considerarse con criterio ingenieril.

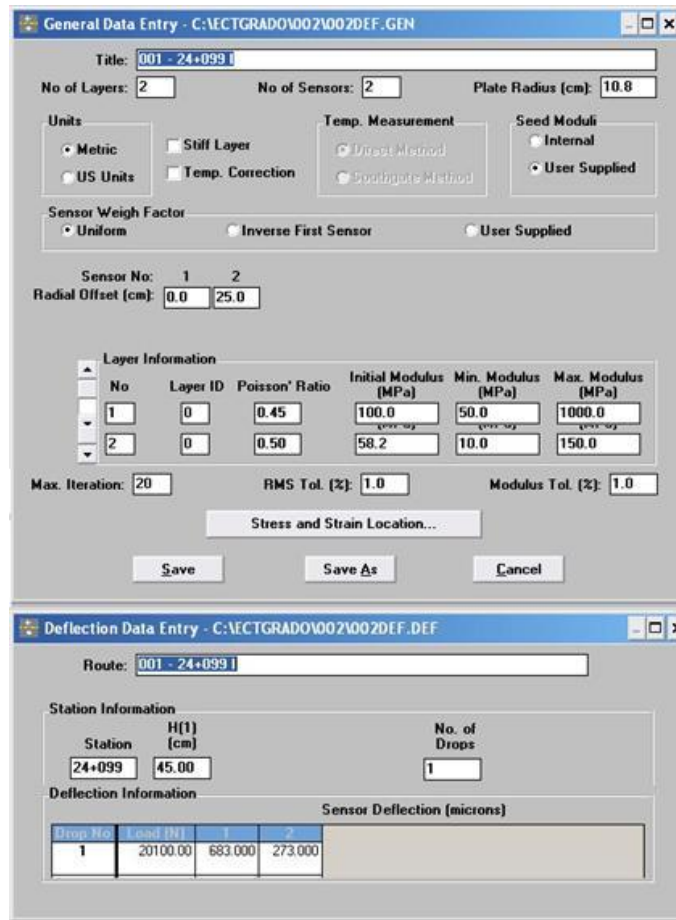
Aparentemente, se pensaría que la primera es más conveniente por que genera un mínimo de error, pero el error no es el que consigna el programa, sino el que se establece en la relación de módulo resiliente de la subrasante medido y calculado. Como conclusión, el resultado de las dos evaluaciones otorga

un rango del resultado definitivo, el cual puede definirse comparando con el resultado del módulo resiliente calculado con el modelo bicapa visto en el numeral 3.2.7.1 del presente estudio.

En las Figuras No III.14. y No III.15. se presentan los datos de entrada y resultados de la corrida de ejemplo en el programa Evercalc 5.0 para los casos expuestos, a continuación obsérvese las diferencias en un ejemplo:

METODO	Deflexiones					Modulo subrrsante E ₂			Modulo capa granular E ₂
	Medido		Calculado		Error % (software)	Medido (Mpa)	Calculado (Mpa)	Error %	Calculado (Mpa)
	Do	D25	Do	D25					
Retrocalculo 1	683	273	687	273	0.45	58.2	52.8	9.28	184.1
Retrocalculo 2	683	273	695	259	3.86	58.2	58.2	0.00	173.7
Teoria Bicapa	683					58.2			181.0
								Adoptado:	179.6

Figura No III.13. Resumen de diferencias entre métodos de cálculo.



BACKCALCULATION by Evercalc© 5.0 - Detail Output

Station: 24+099	No of Drops: 1	Average RMS Error(%): .45
Thickness (cm): 45.00		Pavement Temperature (C): N/A
Drop No: 1	Load (N): 20100.0	No of Iterations: 2
Convergence: RMS Error Tolerance Satisfied		RMS Error (%): .45
Sensor No:		1 2
Measured Deflections (microns):		683.000 273.000
Calculated Deflection (microns):		687.345 273.025
Difference (%):		-.64 -.01
Layer No:		1 2
Seed Moduli (MPa):		100.00 58.20
Calculated Moduli (MPa):		184.07 52.87
Layer No:		1 2
Radial Distance (cm):		.00 .00
Position:		Bottom Top
Vertical Stress (kPa):		-26.82 -26.81
Radial Stress (kPa):		52.85 -3.18
Bulk Stress (kPa):		78.88 -33.18
Deviator Stress (kPa):		-79.67 -23.63
Vertical Strain (10 ⁻⁶):		-404.11 -446.93
Radial Strain (10 ⁻⁶):		223.48 223.47

Figura No III.14. Corrida ejemplo retrocálculo utilizando solo deflexiones.

General Data Entry - C:\ECTGRADO\002\002DEF-1.GEN

Title:

No of Layers: No of Sensors: Plate Radius (cm):

Units: Metric US Units Stiff Layer Temp. Correction

Temp. Measurement: Direct Method Southgate Method

Seed Moduli: Internal User Supplied

Sensor Weigh Factor: Uniform Inverse First Sensor User Supplied

Sensor No: 1 2
 Radial Offset (cm): 1 2

Layer Information					
No	Layer ID	Poisson' Ratio	Initial Modulus (MPa)	Min. Modulus (MPa)	Max. Modulus (MPa)
1	0	0.45	100.0	50.0	1000.0
2	1	0.50	58.2		

Max. Iteration: RMS Tol. (%): Modulus Tol. (%):

Stress and Strain Location...

Save Save As Cancel

Deflection Data Entry - C:\ECTGRADO\002\002DEF.DEF

Route:

Station Information

Station	H(1) (cm)	No. of Drops
24+099	45.00	1

Deflection Information

Drop No	Load (N)	Sensor Deflection (microns)	
		1	2
1	20100.00	683.000	273.000

BACKCALCULATION by Evercalc© 5.0 - Detail Output

Station: 24+099	No of Drops: 1	Average RMS Error(%): 3.86
Thickness (cm): 45.00		Pavement Temperature (C): N/A
Drop No: 1	Load (N): 20100.0	No of Iterations: 3
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied		RMS Error (%): 3.86
Sensor No:		1
Measured Deflections (microns):		683.000
Calculated Deflection (microns):		695.880
Difference (%):		-1.88
		273.000
		259.011
		5.12
Layer No:		1
Seed Moduli (MPa):		100.00
Calculated Moduli (MPa):		173.74
		58.20
		58.20
Layer No:		1
Radial Distance (cm):		.00
Position:		Bottom
Vertical Stress (kPa):		-28.90
Radial Stress (kPa):		46.29
Bulk Stress (kPa):		63.68
Deviator Stress (kPa):		-75.19
Vertical Strain (10 ⁻⁶):		-406.10
Radial Strain (10 ⁻⁶):		221.38
		221.36
		Top
		-28.89
		-3.13
		-35.15
		-25.77
		-442.73
		221.36

Figura No III.15. Corrida ejemplo retrocálculo utilizando deflexiones y CBR.

3.2.8 Análisis e interpretación de resultados: En los resultados del presente estudio aplicado al caso específico donde se utilizó la metodología propuesta, se observó que debido a una condición no ligada y no estabilizada, la capa granular drenante presenta una relación “Aporte Estructural – Espesor” variable, sensible a espesores normales utilizados en carreteras. Esta situación se refleja a menor escala en materiales granulares tipo bases o subbases estabilizadas utilizadas normalmente debido a la ausencia de cohesión; por tal situación estas bases y subbases se les considera un aporte estructural desde los 15 cm de espesor en adelante; en el caso de materiales granulares drenantes utilizados en el caso específico estudiado se observó que el aporte estructural se empieza a denotar desde los 30 cm.

Al respecto, se comprobó que las deflexiones obtenidas antes y después de instalar capas con espesor menor a 30 cm sobre subrasantes débiles y normales (CBR entre 2 a 10%), las deflexiones permanecen sensiblemente constantes concluyendo así que el módulo resiliente de la plataforma evaluada es similar y sensiblemente igual al original.

Esta explicación podría desvirtuarse aparentemente por que en la experiencia cuando a este tipo de subrasantes se les adiciona materiales granulares parecería que mejora su resistencia, pero no, la mejora se la observa en la transitabilidad, la cual hace referencia al grado de comodidad que percibe el usuario de una vía que es desmejorada debido al efecto que ofrece una subrasante desprotegida sin un adecuado drenaje, siendo susceptible a ser remodelada, disminuyendo así su resistencia natural y comodidad al transitarse por ella; por lo tanto, la adición de este tipo de materiales granulares mitiga el remodelo producido por la acción del agua y el contacto con las llantas de los vehículos y además si se drena lateralmente, el efecto de la mejora estabiliza y mantiene dicha transitabilidad durante un tiempo prolongado pero sin aumentar su capacidad estructural.

Al respecto hay que considerar también el significado de los términos de subrasante débil o debilitada y el de subrasante normal; la subrasante normal es capaz de soportar un vehículo de carga normal contemplando valores de resistencia evaluada con CBR mayores al 5% y las subrasante débiles no son capaces de hacerlo con valores de resistencia evaluada con CBR menores al 5%.

Siendo aclarados estos aspectos iniciales, para establecer el módulo resiliente del material tipo drenante, se debe organizar la tabla de resultados de cálculos de módulos de la siguiente manera:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
No	Abscisa	I o D	Plataforma evaluada			Subrasante		Deflexión		Resultados Retrocálculo Solo Deflexiones			TEORIA BICAPA Con Do y MR medido					Resultados Retrocálculo Deflexiones y MRste					Modulo Adoptado	
			Tipo de Material	Espesor (cm)	Compactación	CBR (%)	MR (Mpa)	Do	D25	MR Cal (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	F2	H1/a	E1/MR	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	Do Cal	D25 Cal	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	% Error	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)
4	24+065	Eje	Mejoramiento	32.0	Total	13.8	141	1502	662	28.05	102.9	1.049	2.37	2.96	0.55	77	782	1491	148	50.5	515	55	77	783
5	24+094.8	D	Base en P. P.	41.0	Total	5.58	56.9	751	429	27.2	248.6	2.535	0.48	3.8	3.5	191	1.948	805	293	149	1.519	22	196	2.001
2	24+099	I	Mejoramiento	45.0	Total	5.71	58.3	683	273	52.8	184.1	1.877	0.45	4.17	3.1	181	1.846	696	259	173.7	1.771	4	180	1.831
15	24+341.1	D	Mejoramiento	45.0	Total	11.9	121	478	312	29.4	479	4.884	0.65	4.17	2	241.8	2.466	519	147	200.6	2.046	37	307	3.132
17	24+350	D	Mejoramiento	51.0	Total	12	122	512	234	50.6	273.3	2.787	0.70	4.72	1.71	209	2.131	559	148	180	1.835	27	221	2.251
3	24+076	D	Base en P. P.	62.0	Total	6.11	62.3	717	351	26.4	206.1	2.102	0.50	5.74	2.5	156	1.591	787	238	135.3	1.380	24	166	1.691
7	24+190	D	Base en P. P.	67.0	Total	17.5	178	478	312	18.8	446.2	4.550	0.96	6.2	1.1	196	1.999	537	118	175.8	1.793	45	273	2.780
6	24+180	D	Base en P. P.	76.0	Total	16.7	170	375	234	14.9	734.2	7.487	0.72	7.04	1.37	233	2.376	421.9	104	231.6	2.362	45	400	4.075
1	24+100	I	Mejoramiento	99.0	Total	2.54	13	683	273	27.2	180.5	1.841	0.10	9.17	17	220	2.243	560	327	320	3.263	19	240	2.449

Figura No III.16. Ejemplo de resumen de resultados de módulos de capa granular drenante – En orden ascendente de espesores.

Una vez depurada la información de datos inconsistentes, se debe considerar la posibilidad de poder clasificar la información por condiciones homogéneas para ser comparadas. La principal información a ser graficada son los resultados de módulos resiliente versus el espesor del material de la siguiente manera:

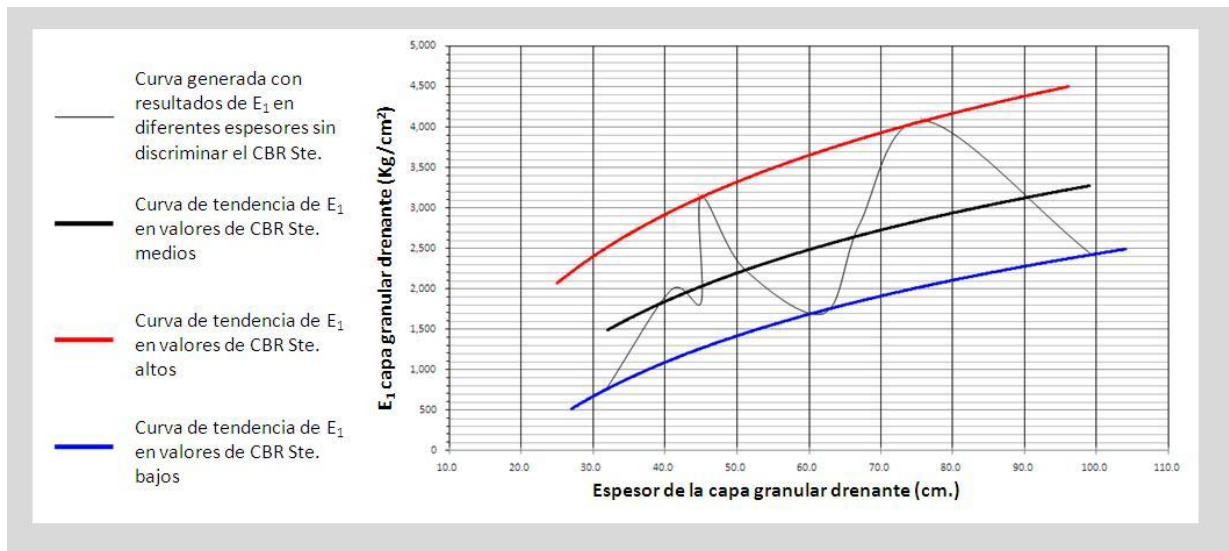


Figura No III.17. Ejemplo de una gráfica de resultados de módulos de capa granular drenante versus espesor construido.

En la gráfica del ejemplo, los resultados denotan variaciones importantes concernientes en valores de módulos que generan picos en la curva que son originados por variaciones importantes de resistencia de la subrasante. Teóricamente la resistencia de la subrasante no debería influenciar en los cálculos, teniendo en cuenta que el módulo obtenido no es de la plataforma compuesta por la bicapa sino del resultado independiente de la capa granular drenante; por lo tanto se considera que este resultado no esperado, debe identificarse y evaluarse preferiblemente en diferentes rangos de resistencia de la subrasante, obteniendo para cada una gráfica independiente.

La cantidad de ensayos proyectados en el tramo de prueba o tramo de experimentación, garantizan que los resultados presenten el soporte estadístico requerido, considerando que la idea de su proyección fue basada en la experiencia obtenida en desarrollo de las actividades de las pruebas piloto realizadas en el presente estudio obtenidas en el caso específico Junín – Barbacoas, donde a diferencia del proceso proyectado en esta

experiencia, cada paso se fue gestando de acuerdo a las necesidades observadas y los resultados obtenidos, por lo tanto el procedimiento propuesto es el resultado de la experimentación real.

3.3.DISEÑO DE MEJORAMIENTO CON MATERIAL GRANULAR DRENANTE.

Una vez el diseñador proyecta el diseño basado en información de caracterización de la subrasante, condiciones de tránsito, clima y características de los materiales proyectados se determina la estructura del pavimento a ser utilizada en el proyecto. En su análisis y cálculos establece los espesores de las capas de los materiales a ser utilizados brindando las recomendaciones técnicas requeridas para brindar la estabilidad de la obra durante la vida útil estimada.

En el modelo estructural concebido se establece parámetros básicos que en el caso de la subrasante son generalizados para tramos homogéneos, es el caso del Módulo resiliente. Este parámetro inicial es determinante en los cálculos de los espesores obtenidos de la estructura.

Teóricamente se consideraría que el valor establecido de resistencia de subrasante asignado a cada tramo de prueba hará cumplir cualquier variación, pero la realidad práctica evidencia situaciones a veces preocupantes, tal es el caso de un tramo homogéneo de la carretera del caso específico referida en el presente estudio, donde se observa que el diseñador determinó en la caracterización un CBR de plataforma en la subrasante de 5.1% y en realidad se presentan variaciones de 2% a 12% que generalmente se manifiestan en distancias cortas por condiciones puntuales de drenaje.

Cuando el módulo resiliente de la subrasante observado en desarrollo del proyecto muestra valores mayores al determinado en el diseño no habría

problema, la plataforma de soporte a nivel de subrasante supera el valor requerido para cumplir el modelo estructural propuesto en el diseño.

El problema se presenta cuando se detectan subrasantes débiles con valores de resistencia menores al definido en el diseño, en ese momento, el constructor requiere hacer el mejoramiento de la subrasante adicionando un material de mejores propiedades de resistencia con un determinado espesor que garantice la resistencia requerida de la plataforma de soporte del pavimento a nivel de la subrasante.

Estas actividades de mejoramiento son generalmente utilizadas en todos los proyectos viales, para hacerlo se utilizan diferentes métodos, la diferencia al realizarse con adición de material granular tipo drenante se encuentra en la asignación del módulo resiliente del material granular donde el diseñador debe adoptar un proceso iterativo en la asignación y cálculo del espesor, teniendo en cuenta que con este tipo de material se presentará variación del módulo resiliente el cual se encuentra en función del espesor y el módulo resiliente de la subrasante. Por lo expuesto, se considera necesario para establecer el espesor de mejoramiento requerido el siguiente método:

3.3.1 Determinación del módulo resiliente de la subrasante: Como se observó el módulo resiliente de la subrasante en el tramo de prueba se determinó con los ensayos de CBR, pero en el caso de realizar la determinación del mejoramiento de un sitio puntual la utilización de este ensayo resulta antieconómica y dispendiosa, para ello en el desarrollo del tramo de prueba visto en el numeral 3.2 del presente estudio se puede implementar conjuntamente con los ensayos del CBR, la utilización de ensayos de penetración del cono dinámico (PDC) para calibrar sus resultados para las condiciones específicas de la vía.

El objeto de utilizar el PDC es brindar mayor agilidad en el proceso constructivo para determinar de forma inmediata el valor de resistencia de la subrasante y por ende el espesor requerido para mejoramiento.

3.3.2. Asignación del módulo resiliente del material granular. Teniendo en cuenta que en los estudios de diseño o tramo experimental en obra se desarrolló el estudio del material granular drenante, el módulo del material es conocido, para diferentes espesores y diferentes condiciones de subrasante. Conociendo la resistencia de la subrasante, solo queda considerar la variación del módulo para el espesor requerido; por lo tanto, de la Figura No III.17, se selecciona la tendencia de resistencia de la subrasante y posteriormente se asigna un espesor inicial aproximado al valor esperado, obteniendo un valor de módulo resiliente del material granular drenante con el cual se hace el diseño del espesor definitivo.

3.3.3. Diseño del espesor de mejoramiento para una determinada resistencia de soporte requerida en la plataforma de la subrasante: Como se mencionó, existen diferentes formas para diseñar el espesor de mejoramiento, para ejemplo se presenta a continuación el método de IVANOV, el cual se utiliza cotidianamente para el remplazo de materiales, utilizando la siguiente expresión:

$$E_{\text{conj}} = \frac{E_2}{\left\{ 1 - \left[\left(\frac{2}{\pi} \right) - \left(1 - \frac{2}{n^{3.5}} \right) * \arctan \left(\frac{n (h_1)}{2 a} \right) \right] \right\}} ; \text{ Donde: } n = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{1/2.5}$$

Donde:

E_1 = Módulo de la capa de de mejoramiento (Material granular drenante) en Kg/cm².

- E_2 = Módulo de la subrasante (Kg/cm^2).
- h_1 = Espesor de la capa de mejoramiento (m).
- a = Radio de carga; 0.108 m en carga de 8.2 Ton.
- E_{conj} = Módulo del conjunto sobre el nivel de la subrasante (Kg/cm^2); Parámetro del diseño.

La expresión se la utiliza para realizar iteraciones, haciendo variaciones de espesor y módulo de la capa granular drenante hasta que el E_{conj} sea igual al módulo determinado en el diseño para la plataforma de soporte en la subrasante.

3.4. CONTROL DE LA RESISTENCIA DE CAPAS CONSTRUIDAS CON MATERIAL GRANULAR DRENANTE.

El control de resistencia de las capas construidas con material granular drenante se realiza mediante la verificación de la deflexión requerida para garantizar el módulo determinado en los diseños para el nivel de plataforma evaluado.

Para hacer tal verificación el diseñador debe establecer el valor de deflexión requerida en el tramo de prueba para cada nivel de plataforma a evaluar de la siguiente manera:

- Mediante el procedimiento descrito en el numeral 3.3.3 del presente estudio se determina el módulo resiliente del conjunto en el nivel de plataforma evaluada.
- Aplicando la teoría de esfuerzos y deformaciones se determina la deflexión requerida, teniendo en cuenta que al determinar el módulo de conjunto el modelo estructural se transforma a una sola capa, para lo cual se

considera apropiado aplicar la teoría de Boussinesq con la siguiente expresión:

$$\Delta_0 = \frac{2 * Q * a}{E_{Conj}} (1 - \mu)$$

Δ_0 = Deflexión requerida en la plataforma de soporte.

a = Radio de carga; 10.8 cm en carga de 8.2 Ton.

Q = Presión de contacto 5.6 Kg/cm².

μ = Relación de Poisson.

E_{Conj} = Módulo del conjunto sobre el nivel de la superficie evaluada (Kg/cm²).

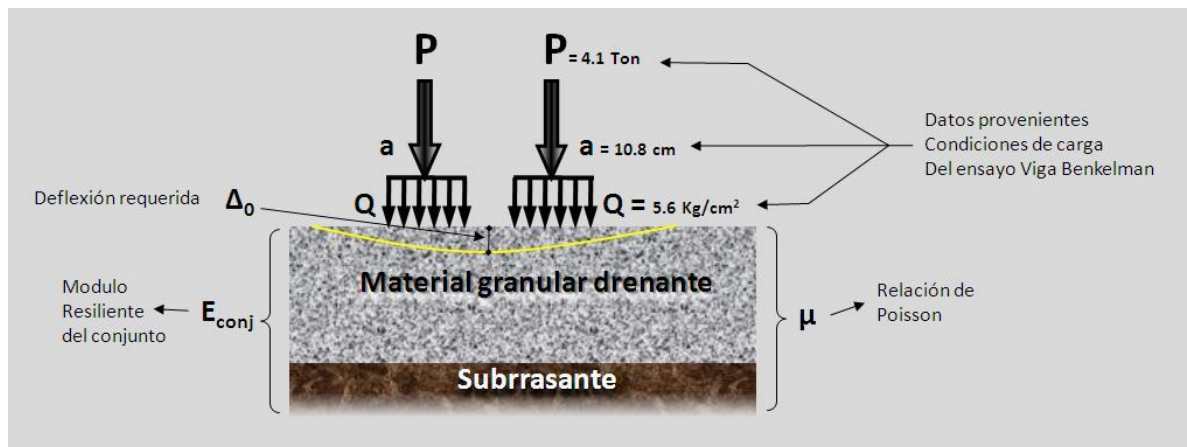


Figura No III.18. Modelo estructural de una capa para determinar la deflexión requerida en evaluación de materiales granulares drenantes.

4. DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE APORTE ESTRUCTURAL DEL MATERIAL GRANULAR DRENANTE UTILIZADO EN EL CASO ESPECIFICO DE LA VIA JUNIN - BARBACOAS.

4.1. GENERALIDADES.

Como es de conocimiento general la carretera Junín – Barbacoas se localiza en el piedemonte costero del Departamento de Nariño, en sentido troncal y su inicio se ubica en el poblado de Junín (K0+000) a 119 Km desde Tumaco y termina en la cabecera del Municipio de Barbacoas a 54 Km de longitud.

La vía se encuentra en toda su extensión sobre el municipio de Barbacoas y su mantenimiento se encuentra a cargo de la Gobernación de Nariño.



Figura No IV.1. Localización de la vía Junín - Barbacoas.

La carretera Junín – Barbacoas desde la liquidación del antiguo Ministerio de Obras Públicas ha estado a cargo de la Gobernación de Nariño y desde entonces se ha realizado mantenimientos menores esporádicos e insuficientes para ir mejorando las condiciones de transitabilidad y por el contrario su deterioro ha ido aumentando al pasar el tiempo.

Las malas condiciones de esta vía que es la única fuente de comunicaciones terrestres de las poblaciones y moradores del noroccidente del departamento de Nariño (Barbacoas, Roberto Payán, Magui Payán, etc.) han convertido la economía de estos pueblos en el principal agravante de carestía, especulación, abandono y desarrollo insostenible de sus gentes.

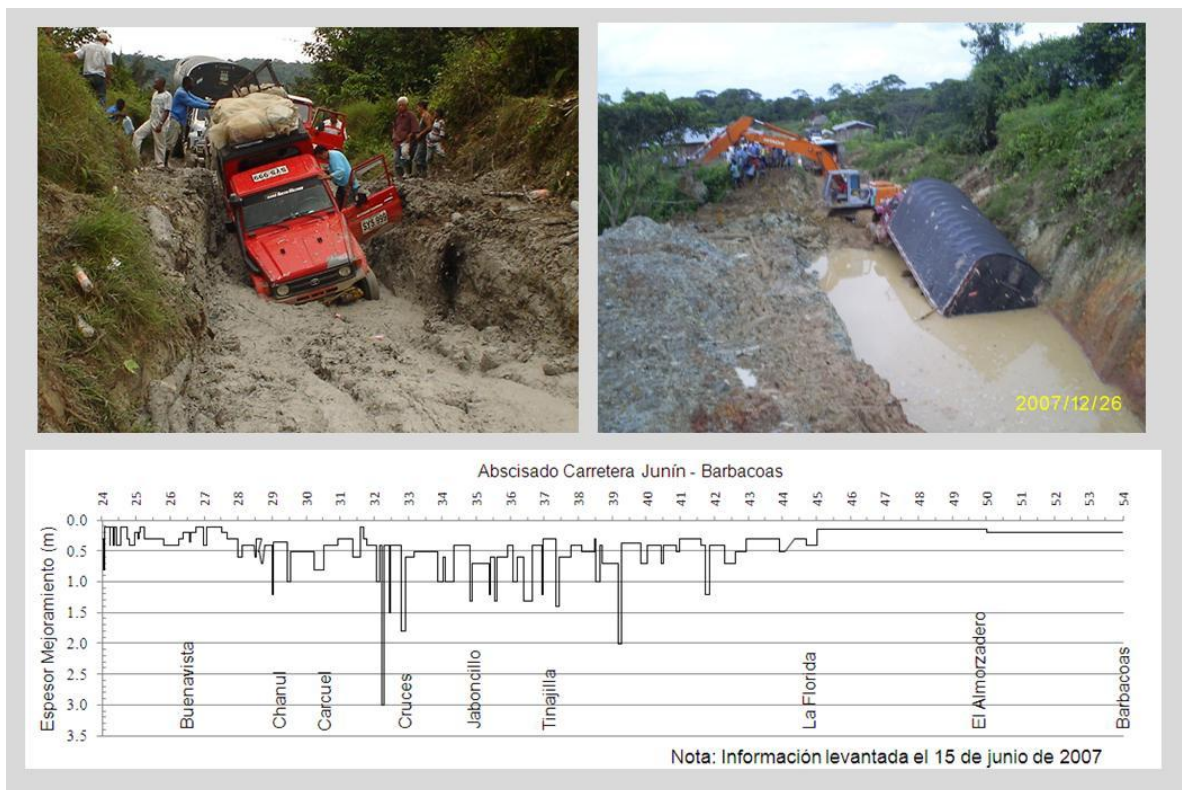


Figura No IV.2. Dificultades en transitabilidad de la vía Junín - Barbacoas.

El Gobierno Nacional en desarrollo del Programa de Infraestructura Vial de Integración y Desarrollo Regional - Plan 2500, incluyó a la vía Junín – Barbacoas para desarrollar las obras de mejoramiento y pavimentación preocupado por brindar un mejor nivel de vida a las comunidades de la costa pacífica nariñense interviniendo la carretera mediante diferentes contratos desde el Poblado de Junín hacia la población de Barbacoas, pavimentando con diferentes dificultades 17 Km y afirmando 8.5 Km. Actualmente, se adelanta la pavimentación mediante el contrato de obra No 1827 del 2005 suscrito con el Consorcio INECON-TE – PUCALPA G-93, que ha pavimentado 7.6 Km (incluidos en los 17 Km mencionados).

Independientemente de las actividades de pavimentación que han alcanzado el K27 con rodadura en pavimento rígido o afirmado, la carretera continúa presentando deterioro entre el K27 al K54; como se observa en la Figura No IV.2, la carretera ha perdido el afirmado de forma continua debido a las deficiencias del drenaje, al remoldeo de los suelos y abandono en el mantenimiento.

En este sector el INVIAS adelantó a finales del año 2007 y comienzos del 2008 un mantenimiento consistente en recuperar la transitabilidad en sitios críticos desarrollando obras de drenaje y adición de afirmado, teniendo que realizar esta actividad durante las actividades de construcción del pavimento, considerando que su desarrollo ha sido lento debido a diferentes circunstancias.

Estabilizar estos sitios críticos requiere de actividades de obra especiales como la remoción de suelos remodelados que se logra con dificultades por que los equipos se entierran por su peso, igualmente, transportar materiales por una trocha que difícilmente un vehículo y operador normal podrían hacerlo, condición que incrementa los costos, teniendo que estabilizar cada sitio con adecuadas estrategias de control del drenaje y optimizando los recursos implementando disminuciones de materiales con aplicación de refuerzos como geomallas.



Figura No IV.3. Estabilización de sitios críticos en el mantenimiento de la vía Junín - Barbacoas. (Jaboncillo, Km 36).

A diferencia de las actividades de mantenimiento, en la construcción del pavimento, las condiciones de acceso son diferentes, facilitando la disposición de toda la maquinaria y materiales requeridos.

En desarrollo de la pavimentación de la carretera a continuación se presenta el estado de la vía esquemáticamente:

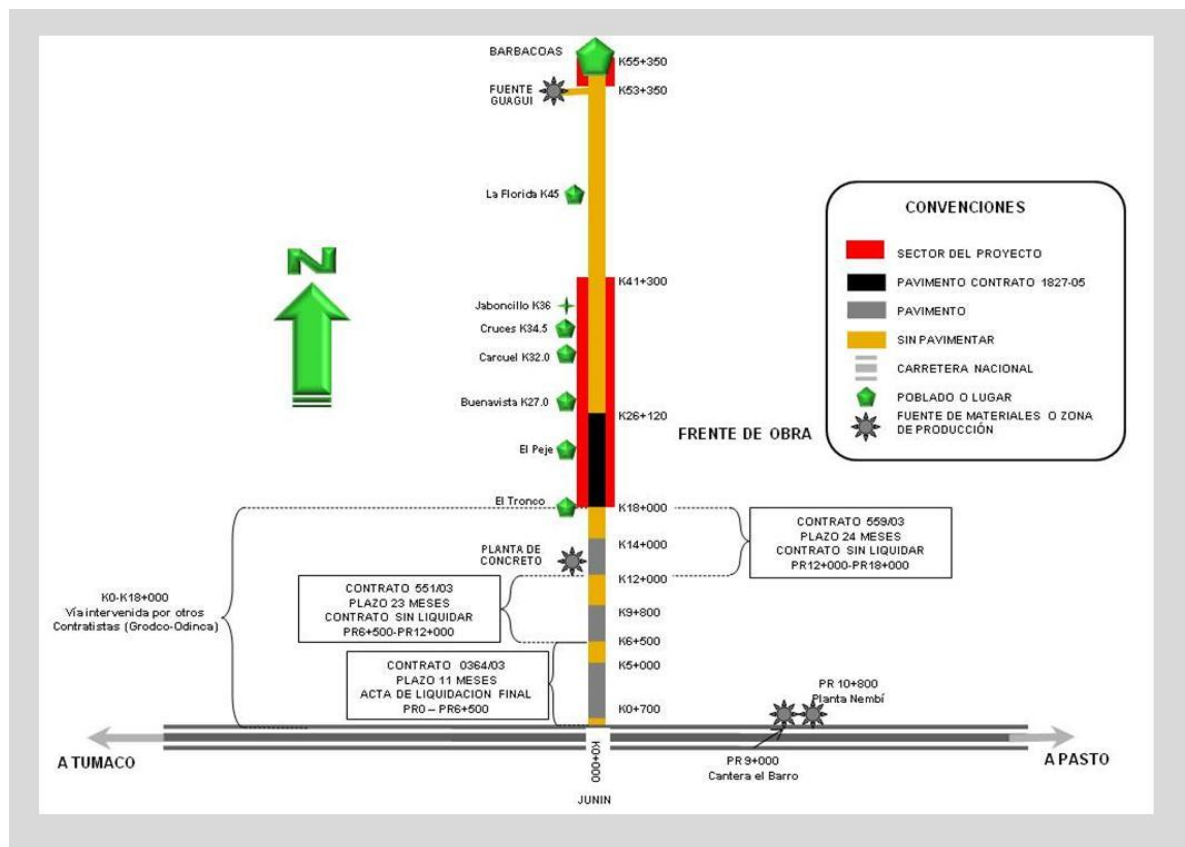


Figura No IV.4. Esquema del estado de la vía Junín - Barbacoas.

Como se observa, la carretera presenta discontinuidades en la pavimentación que son el producto de diferentes situaciones entre ellas: condiciones sociales, de marginidad, de seguridad, etc. que lastimosamente han afectado el normal desarrollo de los contratos ejecutados por el gobierno.

4.2. CONDICIONES ESPECÍFICAS DEL PAVIMENTO.

Debido a las condiciones climatológicas adversas presentes en la región se escogió la construcción de la estructura del pavimento con capas granulares drenantes y capa de rodadura en losas de concreto hidráulico.

4.2.1 Estructura del pavimento proyectada para el contrato vigente:

PARÁMETROS DE DISEÑO PARA PAVIMENTO RÍGIDO	
Tránsito ($N \times 10^6$, Ejes equivalentes a 8.2t)	1.33
Confiabilidad	90%
Desviación estándar	0.35
Índice de servicio inicial	4.5
Índice de servicio final	2.5
Pérdida de serviciabilidad	2.0
Coefficiente de transferencia de carga	3.6 (con pasadores sin berma)
CBR subrasante equivalente (%)	5.1
Módulo resiliente subrasante (psi)	7650
Módulo resiliente base drenante abierta (psi)	14000
Módulo de reacción combinado (pci)	200 (57MPa/m)
Módulo de rotura losa de concreto (psi)	650 (4.5MPa)

Tabla No IV.1. Parámetros de diseño para el diseño del pavimento.

ESPEORES DE PAVIMENTO DISEÑADO	
Capa del pavimento	Espesor (cm)
Placa MR=4.5 MPa	20
Base drenante abierta	25
TOTAL	45

Tabla No IV.2. Estructura diseñada del pavimento rígido de la vía Junín – Barbacoas en el contrato vigente.

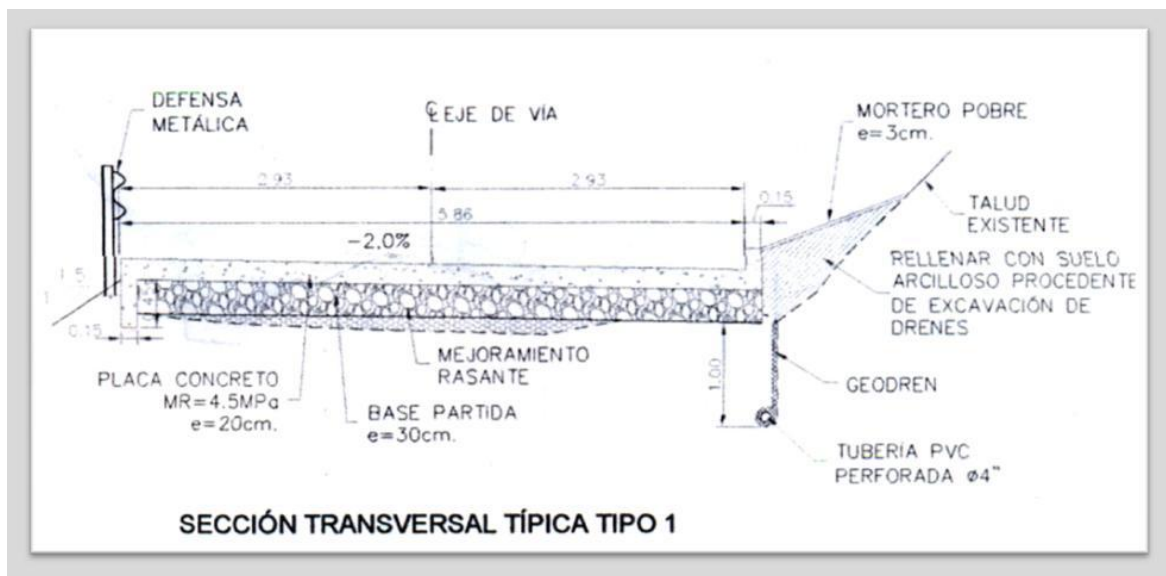


Figura No IV.5. Sección trasversal típica aprobada de la vía Junín – Barbacoas en el contrato vigente.

4.2.2 Materiales granulares drenantes utilizados en la estructura del pavimento: Como se observa en la Figura No IV.5, el diseñador proyectó en el pavimento las capas granulares denominadas “Base en piedra partida” y “Mejoramiento”, las cuales sirven de soporte de la placa de pavimento y la acción de las cargas.

Teniendo en cuenta las condiciones de la vía existente, la cual casi de forma general presenta un ancho de banca de 4 m. que cuenta con un afirmado de espesor variable consistente en rocas y fracciones de la misma proveniente de fuentes de cantera. Por condiciones de seguridad vial la calzada se debía ampliar a 6m, para lo cual se realiza la explanación, dejando un espacio de aproximadamente 2 m. contiguo al afirmado existente el cual debe tratarse.

Considerando que el afirmado existente debe aprovecharse para evitar sobre costos de reposición, con la capa de mejoramiento se realiza la nivelación de la calzada a las condiciones geométricas requeridas y/o se refuerza la subrasante que presente deficiencias de resistencia en cuanto al requerimiento determinado por el diseñador requerido a nivel de la plataforma de subrasante que para el caso es 5.1% de CBR.

La denominada Base en Piedra Partida, proporciona apoyo uniforme y estable a la placa de concreto rígido, considerando su condición drenante, ayuda al control del drenaje evitando la alteración del soporte ante las condiciones ambientales extremas a las cuales se encuentra expuesto el pavimento.

La materia prima para elaborar estos agregados proviene de una excelente fuente de materiales de cantera denominada El Barro, que paradójicamente se denomina así por ubicarse cerca de un caserío que se encontró expuesto a un deslizamiento de flujo de lodos muy cercana a la cantera. Esta fuente de materiales presenta las siguientes características:

➤ Clasificación (SUCS):	GP
➤ Gravas:	97 - 99%
➤ Arenas:	1 - 3%
➤ Finos:	0.2%
➤ Gravedad específica:	2.820
➤ Absorción:	2.5%

- Desgaste en la máquina de Los Angeles: 17%
- Solidez en sulfato de magnesio: 14%

La extracción de este material solo se puede llevar a cabo por medio de voladuras, fragmentación con martillo percusor y su trituración, por cuestiones de economía considerando que la totalidad del material es destinado para capas granulares se realiza únicamente mediante trituración primaria.

Una de las condiciones para establecer la gradación seleccionada para el proyecto fue la condición de los equipos de trituración primaria que limitan la disminución de las partículas a menores tamaños. A continuación se presenta la gradación de los materiales granulares drenantes utilizados:

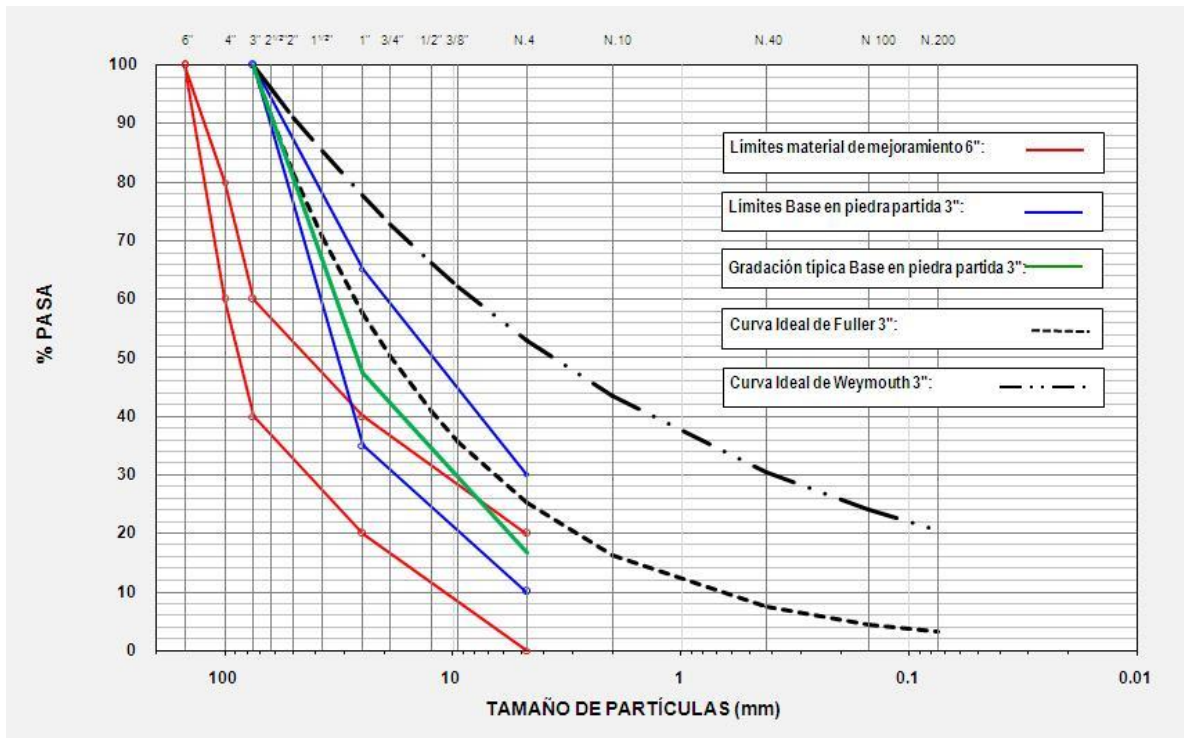


Figura No IV.6. Gradación de material de mejoramiento y base en piedra partida.

Considerando la necesidad de contar con materiales en las capas granulares apropiados y requeridos para atender las condiciones del proyecto, los gestores del proyecto ante la falta de información de referencia en las especificaciones vigentes, seleccionaron las características granulométricas de las Especificaciones del M.O.P. del año 1.963 observando materiales tipo Macadam y Base en Piedra Partida que se utilizaban en épocas anteriores en condiciones similares.

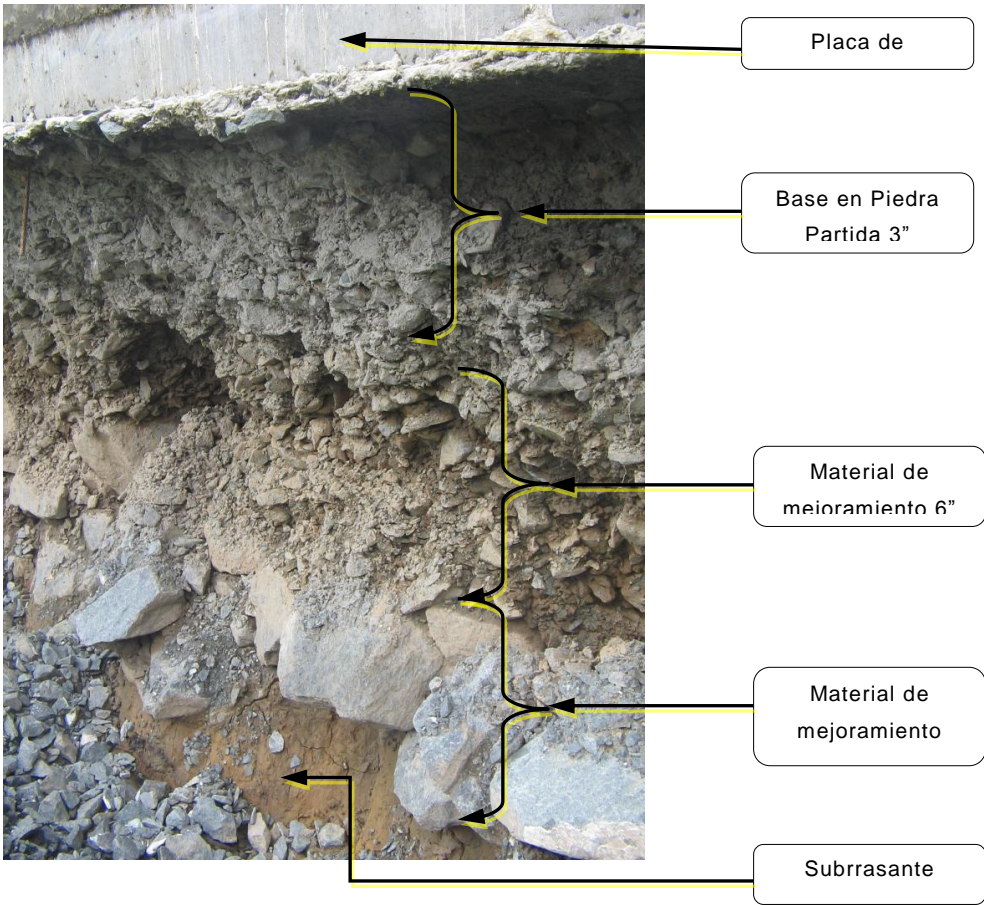


Figura No IV.7. Corte real de la estructura del pavimento de la vía Junín – Barbacoas localizado en una zona de subrasante débil.

Una de las dificultades encontradas en tal selección ha sido adaptar las condiciones del más apropiado de los materiales cercanos a la obra a las especificaciones particulares exigidas, las cuales establecen resistencias para base con CBR de 80% y condiciones de control y recibo por medio de los ensayos tradicionales como el Próctor Modificado y Densidad In Situ que como se observó en el Capítulo 2 del presente estudio no es posible realizarlo.

4.3. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE APOORTE ESTRUCTURAL DE LOS MATERIALES GRANULARES DRENANTES UTILIZADOS EN EL PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN DE LA VIA JUNIN - BARBACOAS.

En atención a las dificultades observadas y con la preocupación de conocer las propiedades de los materiales granulares para Base en Piedra Partida y Mejoramiento utilizados en la pavimentación de la vía Junín – Barbacoas, el Consorcio Vías 2500 VCG-93, interventor del proyecto, aceptó la propuesta realizada por los autores del presente estudio para apoyar las actividades de evaluación de las propiedades de aporte estructural de estos materiales. Para tal fin, esta empresa informó al INVIAS la necesidad de hacerlo contando con la colaboración del contratista Consorcio INECON-TE – Pucalpa G93.

Como se mencionó en el Capítulo 3, las pruebas realizadas en la evaluación estructural de los materiales granulares para Base en Piedra Partida y Mejoramiento sirvieron como base para estructurar el modelo expuesto en el mencionado Capítulo; por lo tanto las pruebas realizadas en la vía Junín – Barbacoas fueron piloto y no se realizaron en el orden propuesto en tal metodología, pero cuenta con toda la información suficiente para soportar el resultado.

4.3.1 Resultados de los ensayos de campo y laboratorio: Para el desarrollo de los ensayos de campo y laboratorio se aprovechó el avance de la obra para realizar las pruebas directamente sobre los materiales instalados de Base en Piedra Partida y material de Mejoramiento contando con el inconveniente de no poder disponer de un tramo específicamente preparado para hacerlo, logrando evaluar los materiales en diferentes condiciones de espesores y resistencia de la subrasante.

ENSAYOS REALIZADOS PARA EVALUAR LAS CAPAS GRANULARES DRENANTES DE LA VÍA JUNIN – BARBACOAS	
Contenido de humedad (método del horno)	10
Granulometría por tamizado (con lavado)	12
Límite plástico, límite líquido e Índice de plasticidad	10
Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR in situ) - incluye masa unitaria y sistema de Reacción.	10
Penetración dinámica de cono PDC	7
Viga Benkelman	20

Tabla No IV.3. Cantidades de ensayos de campo y laboratorio realizados en el presente estudio de la vía Junín – Barbacoas.

- Clasificación: Los ensayos de Contenido de humedad, granulometría y límites de Atterberg se realizaron para observar la variabilidad de la subrasante, la cual, ante la necesidad de evaluar las capas granulares es indiferente considerando que la principal característica requerida es determinar

su resistencia. La gradación típica de los materiales drenantes se extrajo de los resultados cotidianos en el proyecto suministrados por la Interventoría, la cual se indica en Figura No IV.5.

- Resistencia CBR: Considerando la necesidad de evaluar la resistencia de la subrasante de forma simultánea a los ensayos de deflexión se determinó realizarlos In Situ, considerando que cualquier alteración en la humedad de la subrasante afectaría los resultados, igualmente ocurriría lo mismo con muestras inalteradas y transportadas a grandes distancias porque se podrían alterar.

- Viga Benkelman: Inicialmente se calibró el equipo de carga siguiendo los lineamientos establecidos en la norma de ensayos vigente, para hacerlo se utilizó material tipo filtro y se pesó el conjunto y cada eje de la volqueta en una balanza con precisión de 10 Kg. en la planta Araki, ubicada a 54 Km desde Tumaco.
Homogenizando la superficie de los apoyos de la viga con arena de trituración utilizada al dar acabado a la Base en Piedra Partida se realizó los ensayos de deflexión que se realizaron con una Viga Benkelman doble tomando información para D_0 y D_{25} .

- Penetración Dinámica de Cono PDC: Los ensayos de PDC se utilizaron para verificar la correlación del equipo determinada en los estudios de diseños para pavimentos en toda la zona del proyecto y verificar la homogeneidad de la subrasante en estratos inferiores.

Los cálculos de cada ensayo se presentan en los anexos del presente estudio, de igual manera el registro fotográfico de las actividades de campo. A continuación se presenta los resultados de los ensayos en la siguiente tabla:

Abscisa	Margen	Dist. Eje	Plataforma evaluada			Subrasante			Deflexión		
			Tipo de Material	Espesor (cm)	Grado de Compacta	Clasificación	CBR (%)	W%	Do	D25	Rc
24+100	I	1.9	Mejoramiento	54.0	Total	MH	2.54	77.4	683	273	76.3
			Subrsante	45.0							
			Total :	99.0							
24+099	I	1.9	Mejoramiento	45.0	Total	MH	5.71	75.3	683	273	76.3
			Total :	45.0							
24+076	D	1.3	Base en P. P.	37.0	Total	ML	6.11	76.77	717	351	85.4
			Mejoramiento	25.0							
			Total :	62.0							
24+065	Eje	0.0	Base en P. P.	25.0	Total	MH	13.77	54.7	1502	662	37.2
			Mejoramiento	7.0							
			Total :	32.0							
24+094.8	D	1.5	Base en P. P.	20.0	Total	MH	5.58	77.16	751	429	97
			Mejoramiento	21.0							
			Total :	41.0							
24+180	D	1.4	Base en P. P.	34.0	Total	MH	16.67	46.16	375	234	220.7
			Mejoramiento	42.0							
			Total :	76.0							
24+190	D	1.6	Base en P. P.	30.0	Total	MH	17.46	48.43	478	312	188.2
			Mejoramiento	37.0							
			Total :	67.0							
24+330	D	0.8	Base en P. P.	30.0	Total	CH	1.36	88.08	1502	624	35.6
			Mejoramiento	37.0							
			Total :	67.0							

Tabla No IV.4. Tabla resumen de resultados de los ensayos de campo y laboratorio (parte 1).

Abscisa	Margen	Dist. Eje	Plataforma evaluada			Subrrasante			Deflexión		
			Tipo de Material	Espesor (cm)	Grado de Compacta	Clasificación	CBR (%)	W%	Do	D25	Rc
24+341.1	D	1.1	Mejoramiento	45.0	1 Pasada VibroC	-	-	-	990	468	57.9
			Total :	45.0							
24+347.1	I	2.4	Filtrante	35.0	1 Pasada VibroC	MH	2.6	95.1	6894	1403	5.7
			Total :	35.0							
24+350	D	1.2	Mejoramiento	51.0	1 Pasada VibroC	MH	12	70.3	853	507	90.2
			Total :	51.0							
24+341.1	D	1.1	Mejoramiento	45.0	4 Pasadas VibroC	-	-	-	956	468	64
			Total :	45.0							
24+347.1	I	2.4	Filtrante	35.0	4 Pasadas VibroC	MH	2.6	95.1	4710	2299	13
			Total :	35.0							
24+350	D	1.2	Mejoramiento	51.0	4 Pasadas VibroC	MH	12	70.3	683	234	69.6
			Total :	51.0							
24+341.1	D	1.1	Mejoramiento	45.0	8 Pasadas VibroC	-	-	-	478	312	188.2
			Total :	45.0							
24+347.1	I	2.4	Filtrante	35.0	8 Pasadas VibroC	MH	2.6	95.1	2730	896	17
			Total :	35.0							
24+350	D	1.2	Mejoramiento	51.0	8 Pasadas VibroC	MH	12	70.3	512	234	112.4
			Total :	51.0							
24+341.1	D	1.1	Mejoramiento	45.0	18 Pasadas VibroC	-	-	-	819	234	53.4
			Total :	45.0							
24+347.1	I	2.4	Filtrante	35.0	18 Pasadas VibroC	MH	2.6	95.1	2799	1247	20.1
			Total :	35.0							
24+350	D	1.2	Mejoramiento	51.0	18 Pasadas VibroC	MH	12	70.3	341	117	139.3
			Total :	51.0							

Tabla No IV.4. Tabla resumen de resultados de los ensayos de campo y laboratorio. (parte 2).

4.3.2 Tabulación de resultados del cálculo del módulo resiliente del material granular drenante:

No	Abscisa	I o D	Plataforma evaluada			Subrasante		Deflexión		Resultados Retrocálculo Solo Deflexiones			TEORÍA BICAPA Con Do y MR medido					Resultados Retrocálculo Deflexiones y MRste				% Error
			Tipo de Material	Espesor (cm)	Compactación	CBR (%)	MR (Mpa)	Do	D25	MR Cal (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm²)	F2	H1/a	E1/MR	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm²)	Do Cal	D25 Cal	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm²)	
1	24+100	I	Mejoramiento	54.0	Total	2.54	12.96	683	273	27.2	180.5	1,841	0.10	9.17	17	220	2,243	560	327	320	3,263	19
			Subrasante	45.0																		
			Total	99.0																		
2	24+099	I	Mejoramiento	45.0	Total	5.71	58.27	683	273	52.8	184.1	1,877	0.45	4.17	3.1	181	1,846	696	259	173.7	1,771	4
3	24+076	D	Base en P. P.	37.0	Total	6.11	62.35	717	351	26.4	206.1	2,102	0.50	5.74	2.5	156	1,591	787	238	135.3	1,380	24
Mejoramiento	25.0																					
Total	62.0																					
4	24+065	Eje	Base en P. P.	25.0	Total	13.77	140.5	1502	662	28.05	102.9	1,049	2.37	2.96	0.24	34	347	1491	148	50.5	515	55
Mejoramiento	7.0																					
Total	32.0																					
5	24+004.8	D	Base en P. P.	20.0	Total	5.58	56.94	751	429	27.2	248.6	2,535	0.48	3.8	3.5	191	1,948	805	293	149	1,519	22
Mejoramiento	21.0																					
Total	41.0																					
6	24+180	D	Base en P. P.	34.0	Total	16.67	170.1	375	234	14.9	734.2	7,487	0.72	7.04	1.37	233	2,376	421.9	104	231.6	2,362	45
Mejoramiento	42.0																					
Total	76.0																					
7	24+190	D	Base en P. P.	30.0	Total	17.46	178.2	478	312	18.8	446.2	4,550	0.96	6.2	1.1	196	1,999	537	118	175.8	1,793	45
Mejoramiento	37.0																					
Total	67.0																					
8	24+330	D	Base en P. P.	30.0	Total	1.36	6.939	1502	624	16.29	85.15	868	0.12	6.2	20	139	1,417	1122	772	218	2,223	24
Mejoramiento	37.0																					
Total	67.0																					
9	24+341.1	D	Mejoramiento	45.0	1 Ciclo		0	990	468	27.1	148	1,509	0.00	4.17	5.5	149	1,519				0	
			Total	45.0																		
10	24+347.1	I	Filtrante	35.0	1 Ciclo	2.6	13.27	6894	1403	15.3	13.3	136	1.03	3.24	1	13	133	6697	1543	14.3	146	7
			Total	35.0																		
11	24+350	D	Mejoramiento	51.0	1 Ciclo	12	122.4	853	507	17.9	223.7	2,281	1.17	4.72	0.85	104	1,061	940.6	187	97.3	992	45
			Total	51.0																		
12	24+341.1	D	Mejoramiento	45.0	4 Ciclos		0	956	468	26.4	158.3	1,614	0.00	4.17	6.5	172	1,754				0	
			Total	45.0																		
13	24+347.1	I	Filtrante	35.0	4 Ciclos	2.6	13.27	4710	2299	6.5	33.1	338	0.70	3.24	1.73	23	235	4987	1430	21.2	216	27
			Total	35.0																		
14	24+350	D	Mejoramiento	51.0	4 Ciclos	12	122.4	683	234	63.7	166.2	1,695	0.94	4.72	1.1	135	1,377	741	167	128.3	1,308	21
			Total	51.0																		
15	24+341.1	D	Mejoramiento	45.0	8 Ciclos		0	478	312	29.4	479	4,884	0.00	4.17	19	559	5,700				0	
			Total	45.0																		
16	24+347.1	I	Filtrante	35.0	8 Ciclos	2.6	13.27	2730	896	20.2	47.6	485	0.41	3.24	3.92	52	530	2333	1126	66.9	682	21
			Total	35.0																		
17	24+350	D	Mejoramiento	51.0	8 Ciclos	12	122.4	512	234	50.6	273.3	2,787	0.70	4.72	1.71	209	2,131	559	148	180	1,835	27
			Total	51.0																		
18	24+341.1	D	Mejoramiento	45.0	18 Ciclos			819	234	74.7	127.6	1,301	0.00	4.17	1.76	131	1,336				0	
			Total	45.0																		

Tabla No IV.5. Tabla resumen de resultados de los cálculos de los módulos resilientes del material granular drenante.

4.3.3 Interpretación y análisis de resultados del cálculo del módulo resiliente del material granular drenante: Considerando la interpretación presentada en el Capítulo anterior del presente estudio, numeral 3.2.8, donde se observó que:

- “Debido a una condición no ligada y no estabilizada, la capa granular drenante presenta una relación “Aporte Estructural – Espesor” variable, sensible a espesores normales utilizados en carreteras. Esta situación se refleja a menor escala en materiales granulares tipo bases o subbases estabilizadas utilizadas normalmente debido a la ausencia de cohesión; por tal situación estas bases y subbases se les considera un aporte estructural desde los 15 cm de espesor en adelante; en el caso de materiales granulares drenantes utilizados en el proyecto se observó que el aporte estructural se empieza a denotar desde los 30 cm”.

- “Se comprobó que las deflexiones obtenidas antes y después de instalar capas con espesor menor a 30 cm sobre subrasantes débiles y normales (CBR entre 2 a 10%), las deflexiones permanecen sensiblemente constantes concluyendo así que el módulo resiliente de la plataforma evaluada es similar y sensiblemente igual al original.”. Esta explicación podría desvirtuarse aparentemente por que en la experiencia cuando a este tipo de subrasantes se les adiciona materiales granulares parecería que mejora su resistencia, pero no, la mejora se la observa en la transitabilidad, la cual hace referencia al grado de comodidad que percibe el usuario de una vía que es desmejorada debido al efecto que ofrece una subrasante desprotegida sin un adecuado drenaje, siendo susceptible a ser remoldeada, disminuyendo así su resistencia natural y comodidad al transitarse por ella; por lo tanto, la adición de este tipo de materiales granulares mitiga el remoldeo producido por la acción del agua y el contacto con las llantas de los vehículos y además si se drena lateralmente, el efecto de la mejora estabiliza y mantiene dicha

transitabilidad durante un tiempo prolongado pero sin aumentar su capacidad estructural.

No	Abscisa	Tipo D	Plataforma evaluada			Subrasante		Deflexión		Resultados Retrocálculo Solo Deflexiones			TEORIA BICAPA Con Do y MR medido					Resultados Retrocálculo Deflexiones y MRste			Modulo Adoptado			
			Tipo de Material	Espesor (cm)	Compactad (%)	CBR (%)	MR (Mpa)	Do	D25	MR Cal (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	F2	H1/a	E1/MR	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	Do Cal	D25 Cal	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	% Error	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)
4	24+065	Eje	Mejoramiento	32.0	Total	13.8	141	1502	662	28.05	102.9	1,049	2.37	2.96	0.55	77	782	1491	148	50.5	515	55	77	783
5	24+094.8	D	Base en P. P.	41.0	Total	5.58	56.9	751	429	27.2	248.6	2,535	0.48	3.8	3.5	191	1,948	805	293	149	1,519	22	196	2,001
2	24+099	I	Mejoramiento	45.0	Total	5.71	58.3	683	273	52.8	184.1	1,877	0.45	4.17	3.1	181	1,846	696	259	173.7	1,771	4	180	1,831
15	24+341.1	D	Mejoramiento	45.0	Total	11.9	121	478	312	29.4	479	4,884	0.65	4.17	2	241.8	2,466	519	147	200.6	2,046	37	307	3,132
17	24+350	D	Mejoramiento	51.0	Total	12	122	512	234	50.6	273.3	2,787	0.70	4.72	1.71	209	2,131	559	148	180	1,835	27	221	2,251
3	24+076	D	Base en P. P.	62.0	Total	6.11	62.3	717	351	26.4	206.1	2,102	0.50	5.74	2.5	156	1,591	787	238	135.3	1,380	24	166	1,691
7	24+190	D	Base en P. P.	67.0	Total	17.5	178	478	312	18.8	446.2	4,550	0.96	6.2	1.1	196	1,999	537	118	175.8	1,793	45	273	2,780
6	24+180	D	Base en P. P.	76.0	Total	16.7	170	375	234	14.9	734.2	7,487	0.72	7.04	1.37	233	2,376	421.9	104	231.6	2,362	45	400	4,075
1	24+100	I	Mejoramiento	99.0	Total	2.54	13	683	273	27.2	180.5	1,841	0.10	9.17	17	220	2,243	560	327	320	3,263	19	240	2,449

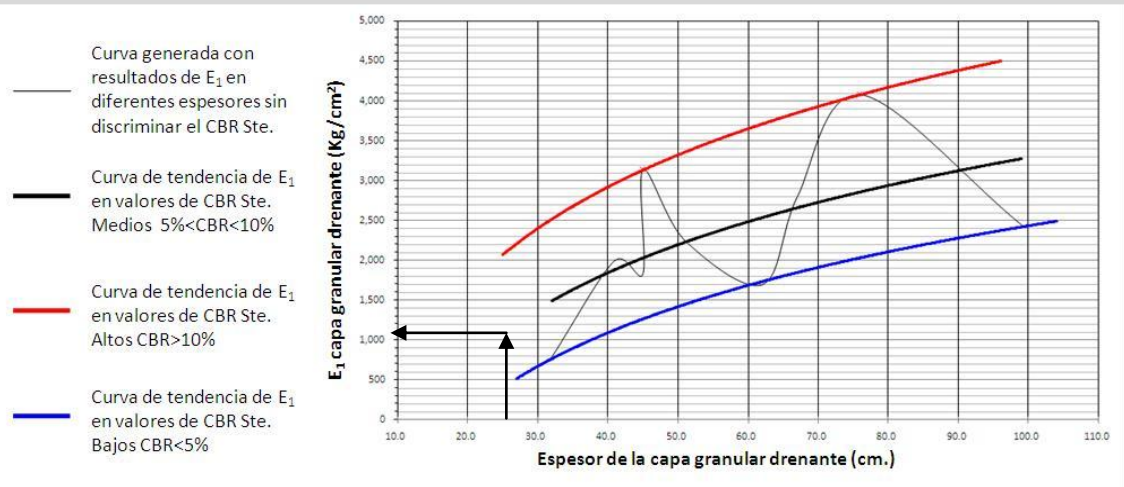


Figura No IV.8. Interpretación de resultados de los cálculos de los módulos resilientes del material granular drenante.

- Observando los resultados en la Figura No IV.8 se mencionó en el Capítulo 3 del presente estudio que: “los resultados denotan variaciones importantes concernientes en valores de módulos que generan picos en la curva que son originados por variaciones importantes de resistencia de la subrasante. Teóricamente la resistencia de la subrasante no debería influenciar

en los cálculos, teniendo en cuenta que el módulo obtenido no es de la plataforma compuesta por la bicapa sino del resultado independiente de la capa granular drenante; por lo tanto se considera que este resultado no esperado, debe identificarse y evaluarse preferiblemente en diferentes rangos de resistencia de la subrasante, obteniendo para cada una, una gráfica independiente”, se observó que el módulo resiliente del material granular depende de dos variables: El espesor y la resistencia de la subrasante; por lo tanto para seleccionar el módulo del material se debe contar como base para hacerlo estas dos variables.

- Considerando los espesores de material drenante utilizado, en Base en Piedra Partida de 25 cm, el valor de Módulo resiliente de material drenante, destinado para una plataforma de soporte de CBR = 5.1%, si se considerara que el material brinda aporte estructural para ese espesor según la Figura No IV.6. sería de 1.100 Kg/cm²; pero, observando las conclusiones mencionadas sobre el nulo aporte estructural que el material drenante genera en espesores menores a 30 cm, se consideraría que este módulo sería de 510 Kg/cm², equivalente a la resistencia de la plataforma de soporte.
- El módulo resiliente adoptado por el diseñador para la capa granular drenante según la Tabla No IV.1. “Parámetros de diseño para el diseño del pavimento.” Fue de 14.000 PSI, equivalente a 984 Kg/ cm². Se considera que el valor adoptado es muy conservador y apropiado.
- Es importante resaltar que aunque el valor del módulo resiliente del material granular lo escribe en los parámetros de diseño como una propiedad del material, no lo utiliza en la asignación del módulo de reacción combinado, el cual lo determinó mediante pruebas de campo con ensayos de placa, despreciando el aporte estructural del material drenante, pero definiendo claramente la capacidad de resistencia del nivel de soporte de la placa que correlacionado sería 5.1% de CBR.

- Por lo expuesto, el diseño del pavimento de la vía Junín – Barbacoas está bien concebido y deja de tarea a los ejecutores del proyecto a desarrollar la obra controlando los requisitos determinados sobre la plataforma de soporte, teniendo que realizar la verificación de la resistencia de la subrasante y la plataforma de soporte de la losa.

- Con la información de los módulos resilientes determinados para diferentes espesores y diferentes plataformas se tendría que desarrollar los diseños de la subrasante débil para determinar los espesores requeridos de material de remplazo con el objeto de garantizar la plataforma de soporte determinada en el diseño.

4.3.4 Resultados de compactación: Con el objeto de determinar la energía de compactación requerida para garantizar el máximo módulo resiliente del material granular drenante se realizaron pruebas en tres (3) sitios con diferentes resistencias de subrasante y diferentes espesores.

Inicialmente se extendió la capa de material drenante con motoniveladora y posteriormente se realizó una compactación inicial para garantizar el reacomodo del material; consecutivamente se realizó los ensayos de Viga Benkelman a 1, 4, 8 y 18 ciclos de compactación (ida y vuelta) como se consigna en la Tabla No IV.5 observando en los tres sitios las siguientes condiciones:

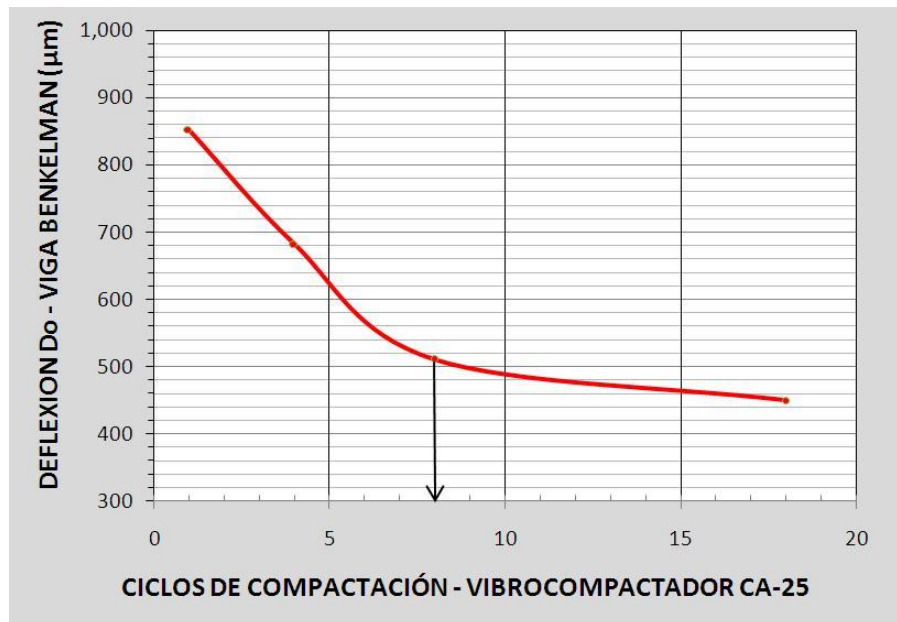


Figura No IV.9. Interpretación de resultados de deflexión aplicada a la energía de compactación requerida del material granular drenante.

En la Figura No IV.9; se observa que la deflexión D_o se mantiene casi estable después del octavo o noveno ciclo de compactación para las tres (3) condiciones, observando que se tendría la máxima densidad después del octavo (8^o) ciclo, condicionando el espesor a máximo 20 cm para el compactador CA 25 dispuesto en la obra.

4.3.5 Requerimientos de resistencia mediante la medida de la deflexión para el control y recibo de los niveles de mejoramiento y base en piedra partida:

Considerando el modelo estructural determinado por el diseñador del pavimento del proyecto de pavimentación de la vía Junín – Barbacoas para el diseño, la subrasante mejorada, debajo de la fibra inferior de la base debe contar con una resistencia de CBR de 5.1% condición que debe garantizarse en toda el área de plataforma mediante la medida de la deflexión requerida calculada mediante la metodología propuesta en el numeral 3.4 del presente estudio, aplicando

la teoría de esfuerzos y deformaciones determinada por Boussinesq mediante la expresión del numeral así:

$$\Delta_0 = \frac{2 * 5.6 \text{ Kg/cm}^2 * 10.8}{510 \text{ Kg/cm}^2} (1 - 0.5) = 0.118 \text{ cm} = 1.186 \text{ } \mu\text{m}$$

$\Delta_0 =$	Deflexión requerida en la plataforma de soporte.
10.8 cm =	a; Radio de carga; en carga de 8.2 Ton.
5.6 Kg/cm ² =	Q; Presión de contacto 5.6 Kg/cm ² .
0.5 =	μ ; Relación de Poisson.
510 Kg/cm ² =	E_{Conj} ; Módulo del conjunto sobre el nivel de la superficie evaluada (Kg/cm ²).

5. ESPECIFICACIONES PARTICULARES PROPUESTAS PARA EL CONTROL Y RECIBO DE CAPAS GRANULARES DRENANTES EN EL CASO ESPECIFICO.

5.1. FORMULACION DE LOS AJUSTES PROPUESTOS.

Por ausencia de normatividad vigente que involucre las condiciones especiales requeridas para el control y recibo de capas granulares drenantes mencionadas en el presente estudio, Capítulo 2 “IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS EXISTENTES EN EL CONTROL Y RECIBO DE LAS CAPAS GRANULARES DRENANTES”, que dichos materiales por sus características granulométricas no contemplan su utilización; al respecto, en el numeral 2.3.2 se mencionó que los ensayos convencionales de C.B.R., Próctor Modificado y Densidad In Situ, utilizados para evaluar la resistencia de los materiales y controlar su recibo se limitan por condiciones del tamaño máximo de las partículas.

Para resolver estas deficiencias ante la necesidad de utilizar este tipo de materiales se propone la aplicación de la metodología desarrollada en el presente estudio definiendo los cambios para caracterizar, controlar y recibir capas de material granular drenante establecidas en el Capítulo 3. “METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DRENANTES Y DISEÑO DE CAPA DE MEJORAMIENTO EN SUBRASANTES DÉBILES” aplicándose en la formulación de las especificaciones particulares de “Mejoramiento con adición de material granular drenante” y “Sub base granular drenante” que complementan, remplazan y/o modifican las Especificaciones Generales de Construcción del INVIAS, las cuales como ha ocurrido siempre, prevalecen sobre las disposiciones de tipo general, haciendo parte integral de las mismas.

5.2. ESPECIFICACION PARTICULAR PARA MEJORAMIENTO CON ADICIÓN DE MATERIAL GRANULAR DRENANTE.

Para desarrollar la formulación de la especificación particular del material granular drenante, para el caso denominado “Mejoramiento con adición de material granular drenante”, se basó en las circunstancias que se han desarrollado en el proyecto “Mejoramiento y pavimentación de la vía Junín – Barbacoas”, siendo susceptible de acondicionarse y aplicarse en otras obras que establezcan similares condiciones.

La especificación particular se fundamentó en el contexto de las Especificaciones Generales:

- ARTÍCULO 221 – 07 “Pedraplenes”
- ARTÍCULO 230 – 07 “Mejoramiento de la subrasante”
- ARTÍCULO 300 – 07 “Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas.
- ARTÍCULO 310 – 07 “Conformación de la calzada existente”
- ARTÍCULO 311 – 07 “Afirmado”

Considerando que la especificación particular propuesta formará parte integral de las Especificaciones Generales, deben adoptar la codificación correlacionada con los capítulos definidos en el índice de la misma; para ello se diferencia del Artículo 230-07 “Mejoramiento de la subrasante” con el código y nombre: Artículo 230P-07 “Mejoramiento con adición de material granular drenante”.

El documento: Artículo 230P-07 “Mejoramiento con adición de material granular drenante”, se presenta como Anexo No A. ARTÍCULO 230 P – 07 MEJORAMIENTO CON ADICIÓN DE MATERIAL GRANULAR DRENANTE, contemplando la codificación y contexto desarrollado.

5.3. ESPECIFICACION PARTICULAR PARA SUBBASE GRANULAR DRENANTE.

De igual manera como se mencionó en el Numeral 5.2, la formulación de la especificación particular del material granular drenante, para el caso denominado “Sub base granular drenante”, se basó en el desarrollo de la construcción de la estructura del pavimento del proyecto “Mejoramiento y pavimentación de la vía Junín – Barbacoas” considerando los resultados del presente estudio, siendo susceptible de acondicionarse y aplicarse en otras obras que establezcan similares condiciones.

La especificación particular se fundamentó en el contexto de las Especificaciones Generales:

- ARTÍCULO 300 – 07 “Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas.
- ARTÍCULO 310 – 07 “Conformación de la calzada existente”
- ARTÍCULO 320 – 07 “Sub base granular”

Considerando que la especificación particular propuesta formará parte integral de las Especificaciones Generales, deben adoptar la codificación correlacionada con los capítulos definidos en el índice de la misma; para ello se diferencia del Artículo 320-07 “Sub base granular” con el código y nombre: Artículo 320P-07 “Sub base granular drenante”.

El documento: Artículo 320P-07 “Sub base granular drenante”, se presenta como Anexo No B. ARTÍCULO 320P – 07 SUB BASE GRANULAR DRENANTE, contemplando la codificación y contexto desarrollado.

CONCLUSIONES

Como se observó en los antecedentes históricos, los modelos de las estructuras de los caminos que desarrollaron antiguas civilizaciones como los romanos y tecnologías nacientes de la ingeniería determinadas en el siglo XIX por pioneros como McAdam y Telford, enfocaban la durabilidad de los caminos al control del drenaje, considerando que su resistencia dependía de este importante aspecto; en su momento, estas estructuras satisfacían las necesidades de la época, donde las solicitaciones de carga eran limitadas a vehículos livianos. Estos modelos se fundamentaron en la utilización de afirmados con materiales de gradación abierta, que han sido utilizados por siglos y que actualmente por la tendencia a utilizar estructuras más resistentes a mayores solicitaciones se han prescindido en su uso, trazando una brecha de la experiencia obtenida durante años en la construcción de carretables.

La evolución de los pavimentos generada en el mundo han adoptado y ajustado nuevas tecnologías a los materiales que se utilizaron y disponen desde la antigüedad, este es el caso de la normatividad que actualmente tiene otros países como España y que en Colombia mantuvo hasta la liquidación del antiguo Ministerio de obras Públicas en 1996. Desde la creación del Instituto Nacional de Vías en el mismo año rigen en Colombia las especificaciones de construcción de carreteras donde actualmente en su versión 2007 tiene a estos materiales con gradación abierta excluidos, dejando únicamente la utilización de bases, subbases y afirmados con gradación estabilizada.

Las especificaciones adoptadas en Colombia se enfocan a requerir materiales granulares estabilizados, bien gradados y con mayor presencia de finos que prestan mayor grado de densificación, los cuales provenientes y utilizados en

zonas montañosas donde se ofrece condiciones estables ambientalmente y donde se establecen en mayor proporción el desarrollo de los asentamientos urbanos del país, pero considerando la variedad de condiciones ambientales, topográficas, geológicas y sociales presentes en Colombia no cubre los requerimientos de la diversidad de necesidades en la construcción de carreteras en zonas alejadas a las cordilleras donde actualmente se gesta un nuevo desarrollo, debido a recientes políticas de expansión requeridas para permitir el acceso del comercio internacional y desembotellamiento de puertos marítimos, igualmente el acceso a zonas marginales con recursos sin explotar, para brindar a la población vulnerada por el conflicto armado facilidad de progresar.

En zonas alejadas a las cordilleras, como es el caso de la costa pacífica colombiana, la condición climática predominante determina una alta pluviosidad, dificultando la utilización de los materiales establecidos en la especificación del INVIAS debido al lavado de la fracción fina al que quedaría expuesto en fuertes aguaceros, teniendo que utilizar obras de protección y drenaje generando sobrecostos a los proyectos, por tal razón se observa la necesidad de acondicionar los requisitos a materiales apropiados para la zona, los cuales brinden una solución óptima a la necesidad.

Los materiales granulares para bases, sub-bases y afirmados dispuestos en las especificaciones vigentes colombianas presentan características de gradación ajustadas a obtener la mayor compacidad en la mezcla de sus partículas, menor cantidad de vacíos y mayor transmisión de carga entre las mismas; características enfocadas al hecho de que una estructura granular más densa es más resistente, dejando en segundo plano su capacidad de drenaje, la cual es proporcional a condiciones ambientales normales para la cual está dispuesta. Si ésta se viera vulnerada se mitigará construyéndose obras de drenaje laterales que protejan su débil condición.

Los materiales con gradación abierta ofrecen drenaje en condiciones extremas, además, la estabilidad y resistencia necesaria para ser utilizados como soporte directo y/o parte de la estructura de un pavimento.

La dificultad en la utilización de materiales granulares drenantes obedece principalmente a la falta de información de su comportamiento para determinar su utilización en el diseño de pavimentos y en Colombia la ausencia de normatividad para su construcción, a pesar de que países que soportan difíciles condiciones ambientales como las estaciones de invierno los han utilizado para mantener estables los pavimentos cuando el agua se deshuela.

Para su evaluación estructural, de acuerdo a la norma de ensayos colombiana vigente, no se cuenta con pruebas destinadas a obtener la resistencia que ofrecen estos materiales, las convencionales, como el ensayo de CBR se limita en su aplicación debido a las condiciones granulométricas limitadas ya que estos materiales granulares drenantes presentan mayores proporciones de gran tamaño que el límite establecido para este ensayo; en otros como el ensayo de Placa son limitados por las dificultades de acceso del vehículo de reacción y disponibilidad de estos equipos en particulares. Aunque existen más diversidad de pruebas de campo y laboratorio para determinar la resistencia de estos materiales, casi todas se truncan bien sea por disponibilidad o por costos; la más conveniente por todos aspectos es el ensayo con la viga Benkelman que aunque en la norma de ensayos la ha limitado para pavimentos flexibles la utilización en evaluación estructural de materiales granulares drenantes es irrefutable considerando que estos materiales se comportan aceptablemente dentro de las condiciones de la teoría elástica.

De igual manera, por las mismas condiciones granulométricas de estos materiales, los ensayos dispuestos en la norma para el control y recibo como el Próctor modificado y densidad en el terreno dispuestos para materiales granulares no se pueden utilizar, teniendo que remitirse al control y

recibo de acuerdo al modelo estructural diseñado mediante la determinación de la deflexión requerida con el mismo ensayo de viga Benkelman.

Es generalizado observar que el diseño de los pavimentos se realiza considerando que los materiales con los cuales se va a hacer las obras se estipulan con resistencias y demás parámetros preestablecidos en cumplimiento de las normas, es el ejemplo de la base granular, para la cual se establece una resistencia medida en el ensayo de CBR del 80%, entonces el diseñador proyecta de forma irrevocable en su diseño esta condición, calculando con ella el espesor destinado para esta capa, olvidándose y obligándose a abstenerse de verificar si esta situación se la puede lograr con los materiales dispuestos en las fuentes cercanas al proyecto, dejando en manos de los recursos de la obra el lograrlo a toda costa. Se observa entonces que las especificaciones limitan un abanico de posibilidades promoviendo mayores costos aplicando diseños que podrían obtenerse con distintas alternativas más económicas sin sacrificar el servicio esperado.

Fue un acierto obligado el proyectar la obra de la pavimentación de la vía Junín – Barbacoas con materiales granulares drenantes como soporte de las placas de concreto rígido, porque se ha observado que pese a las condiciones climáticas extremas, el pavimento hasta ahora construido se encuentra estable y dispuesto a esperar las solicitaciones para las cuales fue diseñado, considerando que el diseño de acuerdo a la verificación realizada en el Capítulo 4 se encuentra bien concebido. Pero ha sido un desacierto prescindir por omisión y debido cuidado de una especificación particular o reajuste de la misma que establezca la real necesidad de control y recibo de las capas construidas para estos materiales.

En el presente estudio se constató que los materiales granulares drenantes presentan características de resistencia media debido a su condición no ligada y no estabilizada, para los materiales evaluados del caso específico valores de resistencia oscilan entre 700 Kg/cm² y 4000 Kg/cm² definiendo con estos

valores características de aporte variables para considerar el material como tipo Base en condiciones más favorables o Sub base en condiciones más desfavorables.

Se verificó que la resistencia de las capas construidas con materiales granulares drenantes varía dependiendo de su espesor e independientemente de la resistencia de la plataforma en la cual se soporta.

La metodología propuesta para determinación de la resistencia, del control y recibo de las capas granulares drenantes propuesta en el presente estudio resuelve la totalidad de las incertidumbres infundadas en la complejidad de utilizar este tipo de materiales, considerando que las pruebas piloto con las cuales se gestaron sirvieron para proyectar cada aspecto definido.

BIBLIOGRAFÍA

ARENAS LOZANO, Hugo León. Teoría de Los Pavimentos. Universidad del Cauca. Popayán 2007.

BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis y BEVÍA GARCÍA, José. Manual de carreteras: Vol.1 CRESPO, del Río Ramón " LA INGENIERIA DE PAVIMENTOS EN EL SIGLO XX1". AEPO S.A. España 2002.

BENAVIDES BASTIDAS, Carlos. Notas de Clase. Especialización en Ingeniería de Carreteras.

CRESPO, del Río Ramón " LA INGENIERIA DE PAVIMENTOS EN EL SIGLO XX1". AEPO S.A. España 2002.

DEPARTMENT OF THE ARMY AND THE AIR FORCE. "Pavement desing for road, streets, and open storage areas, elastic layered method". USA October 1994.

HUANG, Yang H. "Pavement analysis and design", Prentice Hall. United States of America, 1993.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado, Bogotá : ICONTEC.

INTITUTO NACIONAL DE VIAS , Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Bogotá D.C. Invías - Versión 1996.

INTITUTO NACIONAL DE VIAS , Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Bogotá D.C. Invías - Versión 2002.

INTITUTO NACIONAL DE VIAS , Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Bogotá D.C. Invías - Versión 2007

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, "Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras", Bogotá D.C., marzo, 2002.

LILLI, Félix J. "Curso sobre diseño racional de Pavimentos". Popayán Septiembre de 1987.

MEDINA, Luis R. y otros. " COMPROBACION ESTRUCTURAL DE LAS SECCIONES DE PAVIMENTO DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS 6.1 y 6.2 I.C.". AEPO S.A. España 2000.

MONTEJO, Alfonso. "Ingeniería de pavimentos para carreteras". Universidad Católica de Colombia. Bogotá 2001.

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Pavimento Rígidos. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto 2002.

OLIVERA, Fernando B. "Estructuración de las vías terrestres". CECSA. México 1996. (Segunda Edición).

RAMIREZ G., María Teresa. La infraestructura de transporte terrestre en Colombia durante la primera mitad del siglo XX. Bogotá: Banco de la República, 2005.

REYES, Fredy L. "Diseño de pavimentos por métodos racionales". Tomo I. Universidad de Los Andes. Bogotá 1999.

SABOGAL, Fernando S. "Pavimentos". Tomo I, Universidad La Gran Colombia. Bogotá 1992.

SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. "Addendum to the Shell pavement design manual". London 1985.

VARGAS CAICEDO, Hernando. De la Mula al Avión. Bogotá: Universidad de los Andes, 2002.

VASQUES VARELA, LUIS RICARDO. "Funciones de transferencia en el método empírico - mecanicístico de diseño de pavimentos flexibles". Manizales 2002.

VASQUES VARELA, LUIS RICARDO. "Método empírico - mecanicístico de diseño de pavimentos flexibles". Manizales 2002.

YODER, E. J. y WITCZAK, M. W. " PRINCIPLES OF PAVEMENT DESING". Second edition. Jhon Wiley & Sons, Inc. 1975.

ZORIO BLANCO, Valeriano. Breve historia de las carreteras. Madrid: Revista de obras públicas, Enero 1987.

ANEXO A
ESPECIFICACION PARTICULAR
ARTICULO 230 P – 07
MEJORAMIENTO CON ADICIÓN DE MATERIAL GRANULAR DRENANTE

ARTICULO 230 P – 07

MEJORAMIENTO CON ADICIÓN DE MATERIAL GRANULAR DRENANTE

230P.1 DESCRIPCION

230P.1.1 Generalidades.

Este trabajo consiste en mejorar las condiciones del terreno natural, realizando el retiro, preparación de la superficie de apoyo, suministro de materiales pétreos (granulares), colocación, compactación y perfilado final, de acuerdo con los planos y secciones transversales del proyecto y las instrucciones del Interventor.

La Aplicación de este trabajo se ejecuta en cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando presenta características de subrrasante débil ($CBR < 5\%$).
- Cuando se requiera a nivel de la subrrasante una plataforma de soporte con un valor específico de resistencia ($CBR_{SUBRRASANTE DISEÑO}$) establecido en los diseños.

230P.1.2 Partes del Mejoramiento.

En el mejoramiento de subrrasante débil con adición de materiales granulares drenante se distinguirán dos partes o zonas constitutivas:

- a. Cimiento, parte inferior del mejoramiento, con contacto con el terreno natural. Su aplicación estará dado cuando se presente subrrasante débil ($CBR < 3\%$).

b. Mejoramiento en material granular: Parte del mejoramiento comprendida entre el cimientado y el nivel final de la capa de mejoramiento, logrando con su aporte un valor de resistencia global de CBR > 5% o el requerido en el diseño para el nivel final de la subrasante.

El cimientado y el mejoramiento en material granular conforman el cuerpo del mejoramiento.

230P.1.3 Superficie final del mejoramiento.

Es la superficie superior del mejoramiento estimada de acuerdo a los requerimientos y necesidades de soporte inicial una estructura final pavimento o nivel final de afirmado.

230P.2 MATERIALES

Los materiales por emplear en la construcción de mejoramiento pueden proceder de la explotación, trituración y selección de canteras o fuentes aluviales con características apropiadas de resistencia a la abrasión y durabilidad previa gradación ajustada a la presente especificación, los cuales deben cumplir los siguientes requisitos:

230P.2.1 Granulometría

230P.2.1.1 Granulometría del cimientado

- El tamaño máximo no podrá ser > a 15" o 2/3 del espesor de la capa compactada.

- El tamaño máximo no deberá ser superior a las condiciones de movilidad con mano de obra, de los equipos de cargue y colocación, además debe garantizar el acomodamiento entre partículas.
- El tamaño mínimo no podrá ser < a 6” debiendo garantizar el acomodo de las partículas, observando en este aspecto el mínimo de espacios vacíos menores al 10% en volumen.

230P.2.1.2 Granulometría del mejoramiento en material granular

El material del mejoramiento en material granular deberán ajustarse a la siguiente franja granulométrica:

Tabla No 1. Granulometría del materia granular drenante para mejoramiento.

Normal (mm)	Alternativo	L. Inferior	L. Superior
152.4	6”	100	100
101.6	4”	60	80
76.1	3”	40	60
25.4	1”	20	40
4.76	No 4	0	20

Sin embargo, de acuerdo con la información obtenida durante la fase de experimentación a que se refiere el numeral 230P.4.4 del presente Artículo, el Interventor podrá modificar esta franja, adaptándola a las características del material drenante y al proceso que se apruebe para la ejecución de la obra.

230P.2.2 Resistencia a la abrasión.

Al ser sometido al ensayo de “Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3 /4”) por medio de la máquina de los ángeles”,

gradación E, según norma de ensayo INV-E-219-07, el material por utilizar en la construcción del mejoramiento no podrá presentar un desgaste mayor de cincuenta por ciento (50%).

Considerando la necesidad de exponer el material a difíciles condiciones climáticas y la permanente inmersión que esta condición predispone se considera necesario determinar la resistencia al desgaste del material de acuerdo a la norma de ensayo INV-E-218-07, sometiendo el material a la máquina de los Angeles después de 48 horas de inmersión, requiriendo que el desgaste obtenido no debe ser mayor al cincuenta por ciento (50%).

230P.2.3 Adecuada forma de las partículas.

Considerando la posibilidad de utilizar fuentes aluviales la característica más importante a controlar en el aspecto de geometría de las partículas es el porcentaje de trituración, el cual es prescindible para evitar el desplazamiento de las partículas al estar expuesto a la rodadura de los vehículos, para tal efecto se establece como porcentaje mínimo de trituración el 30%, establecido mediante la norma de ensayos INV-E-227-07.

230P.3 EQUIPO

Al respecto, se requiere que el equipo empleado para la construcción del mejoramiento deberá ser compatible con los procedimientos de ejecución adoptados y demanda aprobación previa del Interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de los trabajos y al cumplimiento de las exigencias de la presente especificación.

El INVIAS y/o sus representantes se reserva el derecho a solicitar y exigir la disposición de equipos de conformación convencional (Motoniveladora y compactador) o no convencional (Retroexcavadora o bulldozer) si el acceso a la obra no lo permite, cumpliendo con las características (capacidad y buen estado) que requiera el proyecto para dar cumplimiento al rendimiento programado.

Igualmente el constructor desarrollará pruebas de campo para la previa evaluación de las condiciones del terreno natural y aporte estructural del material de mejoramiento utilizando equipos de CBR de campo, Viga Benkelman y Vehículo de carga, de acuerdo a las Normas de Ensayos INV E-169-07 y INV E-795-07.

230P.4 EJECUCION DE LOS TRABAJOS

230P.4.1 Generalidades

Los trabajos de construcción Mejoramiento con adición de material granular drenante deberán efectuarse según procedimientos puestos a consideración del Interventor y su aprobación. Su avance físico deberá ajustarse al programa de trabajo.

Si los trabajos de construcción de mejoramiento afectaren el tránsito normal en la vía o en sus intersecciones con otras vías, el Constructor será responsable de mantenerlo adecuadamente, disponiendo en obra la señalización, el control de tráfico con paleteros e información permanente de cierres temporales en lugares definidos por el Interventor.

230P.4.2 Evaluación del terreno natural y aporte estructural del mejoramiento.

230P.4.2.1 Prueba piloto de evaluación del mejoramiento

Utilizando el equipo de Viga Benkelman y CBR de Campo se realizarán pruebas al material granular drenante utilizado en el mejoramiento de la siguiente manera:

- En una longitud determinada por el espacio requerido para realizar los ensayos de campo y la variación de espesores a evaluarse definida por el interventor, (no menor a tres (3) espesores) se acondicionará el tramo de prueba en un sector de condiciones típicas de subrasante a mejorar que no podrá ser menor de 60 m.
- El tramo de prueba estará subdividido en segmento de cada espesor, en cada uno de estos se evaluarán tres (3) puntos de control, a los cuales se les localiza y nivela en un sistema de coordenadas.
- A cada punto de control se les realiza los según la Tabla No 2. “Ensayos requeridos para cada punto de control del tramo de prueba”; en la cual se establece el número de ensayos requerido para cada punto de control, observando condiciones adicionales como la evaluación de la energía de compactación requerida, el asentamiento y la correlación del equipo del Penetración dinámica de cono PDC.

Los ensayos de PDC se realizan en cada punto de control en la subrasante natural con el fin de lograr su calibración con respecto a la evaluación de resistencia de la subrasante realizado con el ensayo de CBR., el cual servirá en la etapa de construcción para diseñar el espesor requerido en un sitio puntual.

Tabla No 2. Ensayos requeridos para cada punto de control del tramo de prueba.

Condición de la capa de soporte		Ensayos iniciales (Tramo de prueba acondicionado)				Ensayos finales (Material instalado)		
		Nivelación - Localización	CBR campo o Lab.	Viga Benkelman	PDC	Nivelación - Localización	CBR campo	Viga Benkelman
Subrrasante natural (Estrato firme, soporta la maquinaria, suelo fino)	Veces	1	1 Opcional	1 Fijo u Opcional	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional.
	Observación:	Identificación y dato inicial para espesor	preferible / CBR campo. Comparar alteración	Si no se hace CBR es fijo o si se quiere comparar resistencia con CBR.	Para calibración de PDC en proceso constructivo	Identificación y dato final de espesor. Nivelación en c/ ciclo de compactación ¹	preferible/ CBR campo. Si se hace Viga al inicio sería opcional	Dato final de deflexión del conjunto. Se haría 1 si no se evaluará compactación.
Subrrasante natural (Subrrasante débil, no soporta la maquinaria, suelo fino)	Veces	1	1	0	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional	1	1 fijo o 15 Opcional.
	Observación:	Identificación y dato inicial para espesor y asentamiento	preferible / CBR laboratorio. Comparar alteración	No se puede desarrollar.	Para calibración de PDC en proceso constructivo	Identificación y dato final de espesor. Nivelación en c/ ciclo de compactación ¹	preferible/ CBR campo. (especial cuidado con anillo de carga) ²	Dato final de deflexión del conjunto. Se haría 1 si no se evaluará compactación.
Subrrasante afirmado existente	Veces	1	0	1	1 Opcional	1 fijo o 15 Opcional	0	1 fijo o 15 Opcional.
	Observación:	Identificación y dato inicial para espesor y asentamiento	No se puede desarrollar por el tamaño de las partículas.	Se debe homogenizar el material (acabado liso)	No se recomienda.	Identificación y dato final de espesor. Nivelación en c/ ciclo de compactación ¹	No se puede desarrollar	Dato final de deflexión del conjunto. Se haría 1 si no se evaluará compactación.

Notas: 1. La nivelación en cada ciclo de compactación determina el factor de compactación y/o asentamiento requerido para evaluar las cantidades de material por cada m3 instalado si previamente se cubica el material en volquetas. Para hacer tal verificación se requeriría hacer un apique final para comparar el nivel final.

2. Los anillos de carga de un equipo de CBR de laboratorio o campo tienen por lo general capacidad de 6000 Lb., con lecturas iniciales mayores a 70 Lb., para subrrasantes débiles se debe utilizar anillos más sensibles que determinen lecturas iniciales mayores de 10 lb.

- De los ensayos de la Tabla No 2. en cada punto de control se determinan dos (2) datos de resistencia, la primera, de la capa de soporte, sea subrrasante natural o afirmado existente; y la segunda, el resultado de resistencia de la capa total con el espesor del material drenante proyectado en el punto de prueba. Esta información será utilizada para la evaluación estructural del material drenante.

- Una vez obtenido los resultados de los ensayos y su tabulación se realiza la determinación del módulo resiliente, utilizando el proceso de retrocálculo definido en la teoría de esfuerzos y deformaciones en pavimentos contrastando sus resultado con la teoría Bicapa del modelo de Burmister.
- Con la información calculada de módulos resilientes se construye una gráfica en la cual se grafica los resultados de módulos resiliente versus el espesor del material, asignando curvas para cada condición homogénea de resistencia de subrasante.
- Con las curvas obtenidas se determina el módulo resiliente del material para diferentes espesores.

230P.4.2.2 Diseño de espesores.

Utilizando la información obtenida en el Numeral 230P.4.2.1 “Prueba piloto de evaluación del mejoramiento” y el levantamiento de la información puntual requerida de la resistencia de la subrasante natural se diseña el espesor de a colocar de Mejoramiento con adición de material granular drenante.

La evaluación de la resistencia de la subrasante se determina por medio de las siguientes opciones:

- Con Ensayo de Penetración Dinámica de Cono PDC: Si el equipo está debidamente calibrado de acuerdo al Numeral 230P.4.2.1 Prueba piloto de evaluación del mejoramiento y en materiales donde el ensayo aplique.
- Con Ensayo de CBR In Situ: En subrasantes naturales suelo fino (partículas menores de $\frac{3}{4}$ ”).
- Con ensayos de Viga Benkelman: Si se trata de subrasantes con afirmados o alteradas que impidan los ensayos de CBR In Situ o PDC.

El espesor se diseña con el valor de resistencia de la subrasante del sitio y el módulo resiliente que corresponda a las condiciones de esta subrasante, realizando el siguiente procedimiento:

- Extractando de la grafica seleccionada se asigna el módulo resiliente del material granular drenante inicial, considerando un posible espesor de mejoramiento.
- Aplicando la teoría de esfuerzos y deformaciones se determina el espesor inicial.
- Con el espesor inicial calculado se determina mediante la grafica el módulo real del material granular drenante.
- Nuevamente aplicando la teoría de esfuerzos y deformaciones se determina el espesor del Mejoramiento con adición de material granular drenante.

En el evento que los espesores de mejoramiento sean mayores de > 800mm se debe realizar una alternativa de diseño involucrando geomalla o geotextil con una capa de transición, para aportar estructuralmente y disminuir los espesores del mismo. La colocación del geotextil se realizará conforme lo descrito en el Artículo 830 de las especificaciones generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías año 2007.

230P.4.3 Preparación de la superficie de apoyo.

Antes de proceder a la colocación y compactación de los materiales del mejoramiento, se deberán realizar, de acuerdo con lo establecido en los Artículos 200 y 210 de las especificaciones generales del INVIAS, el desmonte, la limpieza, la excavación de la capa vegetal y el material inadecuado, de acuerdo a lo indicado en el Artículo 200 y 210, actividades incluidas en esta especificación

particular sobre el área a intervenir.

En el evento que se requiera y si en el proyecto está previsto la demolición y remoción de estructuras y obstáculos existentes se ejecutarán de acuerdo al Artículo 201, actividades que no están incluidas en esta especificación particular.

Cuando se deban construir el mejoramiento directamente sobre terrenos inestables compuestos por turba o arcillas remoldeadas, se asegurará el retiro de estos materiales de acuerdo al requerimiento del interventor.

En los mejoramientos a media ladera, el Interventor podrá exigir, para asegurar su estabilidad, el escalonamiento de aquella mediante la excavación que considere pertinente o la previa construcción de obras de contención.

230P.4.4 Cuerpo y transición del mejoramiento

El Interventor sólo autorizará la colocación de materiales de mejoramiento cuando la superficie de apoyo esté adecuadamente preparada, según se indica en el numeral anterior.

El material de mejoramiento se colocará en capas sensiblemente paralelas a la superficie de la explanación, de espesor uniforme y lo suficientemente reducido, para que, con los medios disponibles, los vacíos entre los fragmentos más grandes se llenen con las partículas más pequeñas del mismo material, de modo que se obtenga el mayor nivel de densificación posible.

El espesor máximo de las capas compactadas se fijará, salvo autorización en contrario del Interventor, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Cimiento: Un espesor tal en el que los equipos de conformación y compactación

sean sensiblemente soportados por el terreno natural.

- Mejoramiento en material granular: Dependerá de la capacidad y energía del equipo de compactación y su valor oscilará entre 10cm a 20cm. Su definición se determinará de acuerdo a los resultados obtenidos en el numeral 230P.4.2.1 Prueba piloto de evaluación del mejoramiento.

El método que se apruebe para compactar las diferentes capas en que se construya el mejoramiento, deberá garantizar la obtención de las compacidades deseadas, la granulometría del material, el espesor de cada capa, el equipo de compactación y el número de ciclos requerido.

230P.4.5 Fase de experimentación

Antes de iniciar los trabajos, el Constructor propondrá al Interventor el método de construcción que considere más apropiado para cada tipo de material por emplear, con el fin de cumplir las exigencias de la presente especificación.

En dicha propuesta se especificarán las características de la maquinaria por utilizar, los métodos de excavación, cargue y transporte de los materiales, el procedimiento de colocación, los espesores de las capas y el método para compactarlas. Además, se aducirán experiencias similares con el método de ejecución propuesto, si lo hubiera.

Salvo que el Interventor considere que con el método que propone existe suficiente experiencia satisfactoria, su aprobación quedará condicionada a un ensayo en la obra, el cual consistirá en la construcción de una prueba piloto de evaluación del mejoramiento determinado mediante el Numeral 230P.4.2.1 de la presente especificación, en el volumen que estime necesario, para comprobar la validez del método propuesto o para recomendar todas los ajustes que requiera

en el proceso industrializado.

Durante esta fase se determinará, mediante muestras representativas, la gradación del material colocado y compactado y se conceptuará sobre el grado de densificación alcanzado. Así mismo, se efectuarán apiques y trincheras sobre el material compactado para verificar visualmente la uniformidad con que quedan colocados los materiales de las diversas capas.

230P.4.6 Terminado superficie final del mejoramiento.

La superficie final deberá estar compactada y bien nivelada, con declive suficiente que permita el escurrimiento de aguas lluvias sin peligro de erosión y se conformarán los desagües necesarios (zanjas laterales o cunetas conformadas) para garantizar el flujo externo del agua de escorrentía.

230P.4.7 Limitaciones en la ejecución.

La construcción del mejoramiento no se llevará a cabo cuando no se hayan realizado las actividades preliminares programadas en el proyecto como construcción de alcantarillas, excavaciones, acondicionamiento de pasos provisionales, etc.

230P.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS

230P.5.1 Controles.

Durante la ejecución de los trabajos, el Interventor adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el Constructor.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Comprobar que los materiales que se empleen en la construcción del mejoramiento cumplan los requisitos de calidad mencionados en el numeral 230P.2.1.2 y en el aparte 230P.4.4 de esta especificación.
- Se debe controlar que los materiales estén dentro de la sección transversal proyectada definida en los diseños aprobados por el Interventor, teniendo que el Constructor debe restringirse a la colocación de materiales hasta los límites del pie del talud superior proyectado en el diseño, igualmente el confinamiento del borde externo dependerá de las obras de contención y protección, o del confinamiento que genere el terreno natural y en el caso donde no se presente ninguna posibilidad de confinamiento, la conformación del material de mejoramiento dependerá del ángulo de reposo determinado el numeral 230P.4.5 Fase de experimentación de esta especificación.
- Controlar los espesores y demás requisitos exigidos a las capas compactadas del cimiento y mejoramiento.

230P.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

230P.5.2.1 Calidad de los materiales

De cada procedencia de los materiales empleados para la construcción de mejoramiento y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

- La granulometría, según la norma de ensayo INV E-123.
- El desgaste Los Angeles, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-218 e INV E-219.
- La forma de las partículas, según la norma de ensayo INV E-227.

Cuyos resultados deberán satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 230P.2, so pena del rechazo de los materiales defectuosos.

Durante la etapa de producción, el Interventor examinará las diferentes descargas de los materiales y ordenará el retiro de aquellos que, a simple vista, contengan tierra vegetal, materia orgánica o partículas que no cumplan la geometría requerida (Redondeada, sin fracturación). Además, efectuará las siguientes verificaciones periódicas de calidad del material:

- Determinación de la granulometría (INV E-123) como mínimo una (1) vez por semana o cuando se detecte variación de la misma.
- Determinación de la geometría de las partículas (INV E-227) como mínimo una (1) vez por semana o cuando se detecte variación de la misma.
- Determinación del desgaste Los Angeles (INV E-218 e INV E-219), cuando menos una (1) vez al mes.

230P.5.2.2 Calidad del producto terminado

El Interventor exigirá que:

- La distancia entre el eje del proyecto y el borde del mejoramiento no sea menor que la distancia señalada en los planos o establecidos en la prueba piloto.
- La cota de terminación del mejoramiento, conformado y compactado, no varíe en más de treinta milímetros (30 mm) de la proyectada.

Teniendo en cuenta que la densidad de las capas no puede verificarse por métodos convencionales, ésta se considerará satisfactoria después que el equipo de compactación pase sobre cada capa el número de ciclos definidos en la prueba piloto.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias de la presente especificación deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste.

230P.6 MEDIDA

La unidad de medida para el mejoramiento será el metro cúbico (m^3) de material compactado, aceptado por el Interventor, en su posición final, aproximado al metro cúbico completo.

Los volúmenes de mejoramiento serán medidos con base en las áreas de las secciones transversales del proyecto localizado, distantes entre 5m. o 10m. si se encuentra en curva o tangente respectivamente, verificadas por el Interventor antes y después de ser ejecutados los trabajos de mejoramiento. Dichas áreas

estarán limitadas por las siguientes líneas de pago:

- a. Las líneas del terreno (terreno natural o descapotado, afirmado existente, cunetas y taludes existentes); y
- b. Las líneas del proyecto (línea del mejoramiento, cunetas y taludes proyectados).

No habrá medida de mejoramiento por fuera de los límites de las secciones establecidas en el diseño y aprobadas por el Interventor, elaborados por el Constructor por negligencia o conveniencia, para la operación de sus equipos.

230P.7 FORMA DE PAGO

El trabajo de mejoramiento se pagará al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el Interventor. El precio unitario deberá cubrir los costos inherentes a los trabajos de a) suministro: producción del material como explotación en cantera, transporte a la planta de trituración, trituración, selección; b) Preparación de la superficie de apoyo del mejoramiento; c) La colocación, conformación y compactación de los materiales utilizados en la construcción de mejoramiento y, en general, todo costo relacionado con su correcta construcción, de acuerdo con esta especificación, los planos del proyecto y las instrucciones del Interventor.

Los materiales para mejoramiento se encuentran constituidos dentro de las actividades de esta especificación.

El transporte de todos los materiales del mejoramiento se pagará conforme se indica en el Artículo 900, "Transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes" considerando sectores de aferencia de distancias y

velocidades de los vehículos para determinar el valor en función del precio de alquiler del equipo de transporte consignado en la propuesta inicial del contratista.

Si la preparación de la superficie de apoyo requiere la utilización de geotextiles, éstos se pagarán con cargo al Artículo 830, "Geotextiles".

ITEM DE PAGO

230P.1 Mejoramiento para afirmado	Metro cúbico (m ³)
-----------------------------------	--------------------------------

230P.2 Mejoramiento de soporte de pavimento	Metro cúbico (m ³)
---	--------------------------------

ANEXO B
ESPECIFICACION PARTICULAR
ARTÍCULO 320P – 07
SUB BASE GRANULAR DRENANTE

ARTÍCULO 320P – 07
SUB BASE GRANULAR DRENANTE

320P.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación, extensión, conformación, compactación y terminado de material de subbase granular drenante aprobada sobre una superficie preparada, en una o varias capas, de conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos y demás documentos del proyecto o establecidos por el Interventor.

Para los efectos de estas especificaciones, se denomina subbase granular drenante a la capa granular localizada entre la subrasante o capas de mejoramiento y la capa de pavimento de concreto hidráulico, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización.

320P.2 MATERIALES

Los materiales por emplear en la construcción de Subbase granular drenante serán agregados naturales clasificados provenientes de la trituración de rocas y gravas derivados de canteras o fuentes aluviales, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias. Para la construcción de bases granulares drenantes, será obligatorio el empleo de agregados que contengan fracción producto de trituración mecánica en tamaños no mayores a 3". Los agregados deben tener características apropiadas de resistencia a la abrasión, durabilidad, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales y una gradación ajustada a los requisitos de la presente especificación.

320P.2.1 Granulometría

- Deberá cumplir con la siguiente granulometría:

TAMIZ	% QUE PASA
3"	100
2"	-
1 ½"	-
1"	35 – 65
¾"	-
3/8"	-
4"	10 – 30
10	-
40	-
200	-

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica continua y uniforme.

Dentro de la franja elegida, el Constructor propondrá al Interventor una "Fórmula de Trabajo" a la cual se deberá ajustar durante la construcción de la capa, sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada. El tamaño máximo nominal de los agregados no deberá exceder el 1/3 del espesor de la capa compactada.

320P.2.2 Resistencia a la abrasión.

Al ser sometido al ensayo de "Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3 /4") por medio de la máquina de los ángeles", gradación E, según norma de ensayo INV-E-219-07, el material por utilizar en la Sub base granular drenante no podrá presentar un desgaste mayor de cincuenta por ciento (50%).

Considerando la necesidad de exponer el material a difíciles condiciones climáticas y la permanente inmersión que esta condición predispone, se considera necesario determinar la resistencia al desgaste del material de acuerdo a la norma de ensayo INV-E-218-07, sometiendo el material a la máquina de los Angeles después de 48 horas de inmersión, requiriendo que el desgaste obtenido no debe ser mayor al cincuenta por ciento (50%).

320P.2.3 Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.

Se debe determinar la resistencia a la desintegración de los agregados al ser sometido al ensayo de Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, según norma de ensayo INV-E-220-07, el material por utilizar en la construcción de la subbase granular drenante por pérdida en el ensayo de solidez en sulfatos de sodio debe ser <12 %, por pérdida en el ensayo de solidez en sulfatos de magnesio < 18%.

320.3 EQUIPO

Todos los equipos deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requieren la aprobación previa del Interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cabal cumplimiento de las exigencias de la presente especificación y de la correspondiente partida de trabajo.

Para la construcción de la subbase granular drenante se requieren equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora y, de ser necesario, el equipo y materiales que garanticen la limpieza de los agregados, además, equipos para mezclado, cargue,

transporte, extensión, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores.

320.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.

320.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados.

Los equipos utilizados para la explotación de las fuentes de materiales en la elaboración de los agregados requeridos, deberán tener aprobación previa del Interventor, la cual no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que el Constructor suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación.

Los procedimientos, equipos y materiales para la explotación, fragmentación, transportes internos para producción, trituración, mezcla de fracciones, para obtener una determinada granulometría y el sistema de almacenamiento por lotes para aprobación, deberán garantizar el suministro de un producto de características uniformes. Si el Constructor no cumple con esos requerimientos, el Interventor exigirá los cambios que considere necesarios.

Cuando la obtención de la granulometría especificada requiera de la mezcla de dos o más fracciones de la misma o de diferentes fuentes, esta mezcla se deberá realizar en un patio de trabajo especialmente adecuado para ello y bajo ninguna circunstancia se permitirá su mezclado en la vía.

En el evento en que el contratista ejecute la explotación y producción de los agregados, entre sus costos de elaboración y explotación se deben incluir las medidas ambientales y sociales que se requieran de acuerdo a los documentos contractuales que rijan para tal caso; igualmente se incluirán los arrendamientos, costos por afectaciones a terceros y cualquier otro costo que involucre la utilización de las áreas de explotación y trituración dejando indemne al

INVIAS y sus representantes ante cualquier reclamación, siendo el contratista el único responsable de este aspecto.

320P.4.2 Prueba piloto de energía de compactación y verificación del modulo resiliente del material granular drenante.

Considerando que a la subbase granular drenante no se le puede verificar su resistencia y comprobar el grado de compactación requerida por los métodos establecidos en las especificaciones generales, es necesario elaborar un tramo de prueba piloto en donde se cuantifica la cantidad de energía de compactación que requiere el material para obtener la densidad máxima.

El tramo de prueba debe tener una longitud de por lo menos 50 m. donde se puede desarrollar los suficientes puntos de verificación que establezcan resultados confiables estadísticamente. Inicialmente se acondiciona el tramo a la superficie de soporte debidamente preparada con la resistencia definida en el diseño.

Observando el comportamiento del vibrocompactador en diferentes ciclos y definiendo para cada uno por lo menos tres (3) puntos de prueba que aseguren la certeza de las condiciones dadas y sus resultados; para hacerlo en cada punto de control se debe realizar lecturas de deflexión con la viga Benkelman después de cada ciclo y estableciendo la cantidad de ciclos que se requiere para determinar en el mismo punto un resultado de deflexión sensiblemente estable.

Considerando las condiciones típicas con las cuales se obtendría la densidad máxima en un material, la humedad óptima en un material drenante no se puede considerar como tal, aunque es preferible que el material se encuentre húmedo para permitir menor fricción en el acomodo de las partículas no se podría permitir saturación del mismo; por lo tanto en el momento de extender, el material y la plataforma de soporte deben presentar una condición drenada.

Una vez verificado en número de ciclos y el valor de deflexión se determina la resistencia de la capa de subbase granular drenante (módulo resiliente) mediante un proceso de retrocálculo definido en la teoría de esfuerzos y deformaciones en pavimentos verificando que la resistencia requerida en los diseños, si esta no se cumple por exceso, se debe realizar ajustes a la gradación o evaluar el espesor requerido para lograr la resistencia global de soporte sobre el nivel evaluado.

320P.4.3 Preparación de la superficie existente.

El Interventor sólo autorizará la colocación de material de subbase granular cuando la superficie sobre la cual debe construirse tenga la resistencia requerida en el diseño de la plataforma de soporte (compactación apropiada), cotas y secciones indicadas en los planos o definidas por él, con las tolerancias establecidas. Además, deberá estar concluida la construcción de las obras de drenaje (alcantarillas, descoles, filtros) necesarias para el drenaje de la calzada.

Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en la especificación de la capa de la cual forma parte, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el Constructor hará las correcciones necesarias, a satisfacción del Interventor.

320P.4.4 Fase de experimentación

Antes de iniciar los trabajos, el Constructor propondrá al Interventor el método de construcción que considere más apropiado para la construcción de capas de material granular drenante, con el fin de cumplir las exigencias de la presente especificación, en dicha propuesta se especificarán las características de la maquinaria y materiales por utilizar, los métodos de explotación, fragmentación, trituración, cargue y transporte de los materiales, así como también el

procedimiento de colocación, los espesores de las capas y el método para compactarlas, además, se aducirán experiencias similares con el método de ejecución propuesto, si las hubiere.

El procesamiento de los materiales será evaluado para verificar los rendimientos requeridos de la maquinaria en el proceso industrial, garantizando los requisitos establecidos en el numeral 320P.2 Materiales y los determinados de acuerdo al programa de trabajo e inversiones, al respecto, el INVIAS y sus representantes se reservan el derecho de exigir al contratista el correcto remplazo de uno a varios equipos que no cumplen con los rendimientos esperados de calidad de los materiales.

Salvo que el Interventor considere que con el método que se propone existe suficiente experiencia satisfactoria documentada, su aprobación quedará condicionada a un ensayo en la obra, el cual consistirá en la construcción de un tramo de prueba de verificación de resistencia y simultáneamente de la determinación de la energía de compactación requerida, de acuerdo a lo establecido en el numeral 320P.4.2 Prueba piloto de energía de compactación y verificación del modulo resiliente del material granular drenante de la presente especificación, para comprobar la validez del método propuesto o determinar los correctivos requeridos para garantizar el cumplimiento de los requisitos contemplados en los diseños.

Durante esta fase se determinarán, los equipos requeridos en la obra y procedimientos para lograr la correcta extensión, compactación, seguimiento y control de las actividades.

320P.4.5 Transporte, almacenamiento del material.

Todo transporte de materiales sobre las vías públicas se deberá realizar en vehículos aprobados para circular sobre las carreteras nacionales, los

cuales deberán cumplir la reglamentación vigente sobre pesos y dimensiones del Ministerio de Transporte, así como las normas sobre protección ambiental, expedidas por la entidad que tenga la jurisdicción respectiva.

Los vehículos deberán contar con dispositivos para depositar los materiales de tal modo que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Cualquier contaminación que se presentare, deberá ser subsanada por el Constructor, a su costa, antes de proseguir el trabajo.

Siempre que los materiales para la construcción de subbase granular drenante requieran almacenamiento, se deberán acopiar de manera que no sea alterada su granulometría.

320P.4.6 Extensión y conformación del material.

El material se deberá disponer en un cordón de sección uniforme donde el Interventor verificará su homogeneidad. Si la capa de subbase granular drenante se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, éstos se deberán mezclar en un patio fuera de la vía, por cuanto su mezcla dentro del área del proyecto no está permitida. Éste se extenderá en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

En todo caso, la cantidad de material extendido deberá ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior al espesor máximo permitido que de alcance el grado de compactación establecido en la fase de experimentación. Si el espesor de subbase granular drenante a construir es superior a la establecida en la fase de experimentación, el material se deberá colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm). el

material extendido deberá mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El Interventor no permitirá la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente.

320P.4.7 Compactación.

Una vez que el material extendido de la subbase granular drenante este conformada, ajustándose razonablemente a los alineamientos y secciones típicas del proyecto, se realizara su compactación de acuerdo a lo establecido en el numeral 320P.4.2 Prueba piloto de energía de compactación y verificación del modulo resiliente de esta especificación, logrando su densidad máxima.

320P.4.8 Terminado.

Una vez terminada la compactación, el Constructor perfilará la superficie de la capa, ajustándola a los niveles establecidos del proyecto con arena de trituración con el objeto de generar una superficie homogénea proporcionando un apoyo uniforme y estable a la capa de pavimento.

320P.4.9 Limitaciones en la ejecución.

No se permitirá la extensión de ninguna capa de material de subbase granular drenante mientras no haya sido realizada la nivelación y comprobación del grado de compactación de la capa precedente mediante la medida de la deflexión requerida para garantizar el soporte global.

320P.4.10 Conservación.

El Constructor deberá conservar la capa de subbase granular en las condiciones en las cuales le fue aceptada por el Interventor hasta el momento de ser recubierta por la capa inmediatamente superior, aun cuando aquella sea

librada parcial o totalmente al tránsito público. Durante dicho lapso, el Constructor deberá reparar, a su costa, todos los daños que se produzcan en la subbase granular y restablecer el mismo estado en el cual ella se aceptó.

320.4.11 Manejo ambiental.

Todas las labores para la fabricación de capas granulares y estabilizadas se realizarán teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y los recursos naturales. Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto en particular o la legislación ambiental vigente:

- El Interventor sólo aceptará el uso de las fuentes de materiales, después de que el Constructor presente el correspondiente permiso minero y licencia ambiental de explotación.
- Las instalaciones de trituración y clasificación de agregados no podrán estar localizadas en áreas de preservación ambiental.
- La explotación de las fuentes deberá ser cuidadosamente planeada, de manera de minimizar los daños inevitables y posibilitar la recuperación ambiental una vez culminada la explotación.
- Se deberán construir las piscinas de sedimentación que fuesen necesarias, con el fin de retener las partículas finas sobrantes, evitando su transporte hacia cursos o láminas de agua.
- Si la fuente es una cantera, no se permitirá el desmonte mediante quema y todo

material de descapote deberá ser cuidadosamente conservado para colocarlo de nuevo sobre el área explotada, reintegrándola al paisaje.

- Si los agregados son suministrados por terceros, el Constructor deberá entregar al Interventor la documentación que certifique la legalidad de la explotación y el cumplimiento de las disposiciones ambientales vigentes.

- Se deberá evitar el tránsito desordenado de equipos de construcción por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y a la fauna, así como interferencias al drenaje natural.

- Los dispositivos de drenaje superficial y la pendiente transversal de la calzada deberán ser mantenidos correctamente durante la ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir erosiones y arrastres innecesarios de partículas sólidas.

- Siempre que se usen estabilizantes, su manejo y aplicación se realizarán con las precauciones que exijan las autoridades ambientales, según el tipo de producto utilizado.

320P.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS.

320P.5.1 Controles.

Durante la ejecución de los trabajos, el Interventor adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el Constructor.

- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad exigidos en el numeral 320P.2 materiales de esta especificación.

- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados de acuerdo con los programas de trabajo.

- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aceptado como resultado de la fase de experimentación, en el caso de subbase granular drenante.

- Ejecutar ensayos de compactación de acuerdo al numeral 320P.4.2 Prueba piloto de energía de compactación y verificación del modulo resiliente del material granular drenante.

320P.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias.

320P.5.2.1 Calidad de los agregados.

a. Control de procedencia.

De cada fuente de agregados pétreos y para cualquier volumen previsto se tomarán muestras representativas para realizar los ensayos especificados en el numeral 320P.2 materiales. Los resultados de dichos ensayos deberán satisfacer, en su totalidad, las exigencias indicadas, so pena del rechazo de los materiales deficientes.

b. Control de producción

Durante la etapa de producción, el Interventor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

Se realizará las verificaciones periódicas de la calidad de los agregados del numeral 320P.2 materiales de esta especificación.

En el caso de mezcla de dos (2) o más materiales, los controles se realizarán sobre el material mezclado y con la fórmula de trabajo aprobada para el proyecto.

Siempre que el Interventor considere que las características del material que está siendo explotado en una fuente han cambiado, se deberán repetir todos los ensayos especificados en el numeral 320P.2 materiales de esta especificación y adoptar los correctivos que sean necesarios.

Por ningún motivo se permitirá el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos de calidad indicados en numeral 320P.2 materiales de esta especificación.

320P.5.2.2 Calidad del producto terminado.

a. Terminado.

La capa de subbase granular drenante terminada deberá presentar una superficie uniforme, sin baches. Si el Interventor considera que es necesario realizar correcciones por este concepto, delimitará el área afectada y el Constructor deberá re conformar y efectuar las correcciones necesarias, mezclará y compactará de nuevo hasta que tanto el área delimitada como las adyacentes cumplan todos los requisitos exigidos en el presente especificación particular.

La capa de subbase granular drenante terminada deberá ajustarse a las rasantes y a las pendientes establecidas en los documentos del proyecto. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no será inferior a la señalada en los planos o la definida por el Interventor. Las variaciones de las cotas, respecto

de las establecidas en el proyecto, no podrán exceder de +0.0 mm y -30.0 mm.

Si se detectan zonas con un nivel inferior a la tolerancia indicada, ellas se deberán reconformar, para enseguida agregar material de subbase granular drenante, mezclar, recompactar y terminar la superficie hasta lograr las cotas exigidas por la presente especificación.

Las áreas que presenten un nivel superior a la tolerancia especificada deberán ser rebajadas, compactadas y terminadas nuevamente, hasta cumplir con las cotas y el espesor establecido en los documentos del proyecto y con las exigencias de la presente especificación.

b. Compactación.

Para efectos de la verificación de la compactación de la capa de subbase granular, se define como “lote”, que se aceptará o rechazará en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Doscientos metros lineales (200 m) de capa compactada en el ancho total de la subbase granular drenante.
- Mil Doscientos metros cuadrados (1200 m²) de subbase granular drenante compactada.

Los sitios para la determinación de el grado de compactación en el terreno de cada capa se elegirán al azar, según la norma de ensayo INV E-730 “Selección al azar de sitios para la toma de muestras”, pero de manera que se realice al menos una prueba por cada 200 M². Se deberán efectuar, como mínimo, Seis (6) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de subbase granular drenante, el grado de compactación se establece apoyado en el procedimiento establecido en el numeral 320P.4.2 Prueba piloto, mediante el cual una vez determinado el valor de deflexión requerido por el modelo estructural del diseño para el nivel superior de la capa evaluada se realizan las pruebas de deflexión con la viga Benkelman se evalúa la resistencia del soporte sobre la capa de la subbase granular drenante construida así:

Si Deflexión medida \geq Deflexión Diseño (s/nivel evaluado).	Se acepta.
Si Deflexión medida $<$ Deflexión Diseño (s/nivel evaluado).	Se rechaza.

Para aprobar el lote todas las deflexiones medidas deben estar aceptadas de acuerdo a lo expuesto en esta especificación.

Si la subbase granular drenante tiene espesor mayor a 200mm se debe compactar por capas aplicando la energía de compactación establecida en las pruebas piloto y su grado de compactación se evalúa a la ultima capa de acuerdo al procedimiento.

c. Espesor.

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se determinará el espesor promedio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al espesor de diseño (ed).
 $em \geq ed$.

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (ei) deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor 30 mm. si la exigencia incluida en este párrafo no se cumple, el Constructor deberá reconformar la capa, añadir el material necesario de

las mismas características y recompactar y terminar la capa conforme lo exige el presente especificación.

Si el espesor medio resulta inferior al espesor de diseño, pero ningún valor individual es inferior al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, el Interventor podrá admitir el espesor construido, siempre que el Constructor se comprometa, por escrito, a compensar la disminución con el espesor adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para el Instituto Nacional de Vías. Si el Constructor no suscribe este compromiso, se procederá como en el párrafo anterior.

d. Lisura

El Interventor comprobará la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada, en todos los sitios que considere conveniente hacerlo, empleando para ello una regla de tres metros (3 m) de longitud, colocada tanto paralela como normalmente al eje de la vía, no admitiéndose variaciones superiores a veinte milímetros (20 mm), para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente. Cualquier área donde se detecten irregularidades que excedan esta tolerancia será delimitada por el Interventor, y el Constructor deberá corregirla con reducción o adición de material logrando los niveles del proyecto y compactación exigidos en el presente especificación.

e. Zonas de bacheos.

En las zonas de bacheos se deberán satisfacer las mismas exigencias de terminado, compactación, espesor y lisura incluidas en los incisos a, b, c y d de este numeral, pero queda a juicio del Interventor la decisión sobre la frecuencia de las pruebas, la cual dependerá del tamaño de las áreas tratadas.

f. Correcciones por variaciones en el diseño o por causas imputables o no imputables al Constructor.

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de subbase granular por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al Constructor, el Interventor delimitará el área afectada y ordenará las correcciones necesarias, por cuyo trabajo autorizará el pago al Constructor, al respectivo precio unitario del contrato; pero si el Constructor realiza los diseños y determina los espesores requeridos para la Sub base granular drenante y con éstos no logra obtener el soporte global requerido en la capa evaluada, a su costa, el Constructor realizará los ajustes de los materiales necesarios para obtener tal resultado o la compensación con mayor espesor hasta lograr la resistencia requerida, considerando que los materiales cumplen con los demás requisitos establecidos en la presente especificación; al respecto, el interventor pagara únicamente el espesor diseñado.

h. Medidas de deflexión.

El Interventor verificará la solidez de la estructura construida al nivel final de subbase granular drenante, realizando medidas de deflexión con la viga Benkelman, de acuerdo con la norma de ensayo INVE-795.

El cumplimiento de las mediciones están supeditadas al procedimiento descrito en los numerales 320P.4.2 Prueba piloto de energía de compactación y verificación del modulo resiliente del material granular drenante y 320P.5.2.2 Calidad del producto terminado b. Compactación.

320P.6 MEDIDA

La unidad de medida será el metro cúbico (m³), aproximado al entero, de material o mezcla suministrado, colocado y compactado, a satisfacción del Interventor, de acuerdo con esta especificación. El volumen se determinará utilizando la longitud real medida a lo largo del eje de la vía y las secciones transversales establecidas en los planos del proyecto, previa verificación de que su ancho y espesor se encuentren conformes con dichos planos y dentro de las tolerancias permitidas.

Cuando el cómputo de la fracción decimal de la obra aceptada resulte mayor o igual a medio metro cúbico (≥ 0.5 m³), la aproximación al entero se realizará por exceso y si resulta menor de medio metro cúbico (< 0.5 m³), la aproximación se realizará por defecto.

No se medirán cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones de la subrasante por parte del Constructor.

320P.7 FORMA DE PAGO.

El pago se hará por metro cúbico al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo tanto con esta especificación y aceptada a satisfacción por el Interventor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de permisos ambientales para la explotación de los suelos y agregados; arrendamiento o concesión en utilizar los predios requeridos para explotar la cantera y fuentes de materiales en sus áreas de influencia; las instalaciones provisionales; transportes internos de explotación; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; los

costos de los desvíos que se requieran construir durante la ejecución de las obras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos de explotación, selección, trituración, eventual lavado, transportes internos, almacenamiento, clasificación, desperdicios, cargues, descargues, mezcla, colocación, nivelación y compactación de los materiales utilizados; y los de extracción, bombeo, transporte y distribución del agua requerida.

Además deberá incluir los costos de la fase de experimentación incluida en esta especificación, de todos los ensayos de campo y de laboratorio que estén a cargo del Constructor así como de la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, los de la conservación de la capa terminada y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

El precio unitario deberá incluir, también, los costos de adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el Artículo 106, "Aspectos Ambientales", de las especificaciones generales de construcción INVIAS - 2007.

El Constructor deberá considerar, en relación con los explosivos que requiera, todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control, hasta el sitio e instante de utilización final.

La preparación de la superficie existente se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por lo tanto, no habrá lugar a pago separado por Instituto Nacional de Vías.

El precio unitario deberá incluir, también, los costos de la administración, los imprevistos y la utilidad del Constructor.

ÍTEM DE PAGO

320P.1 Subbase granular Drenante

Metro cúbico (m3)

ANEXO C

RESULTADOS DE ENSAYOS



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

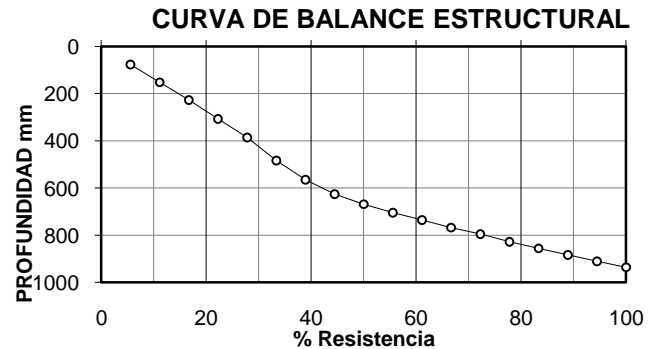
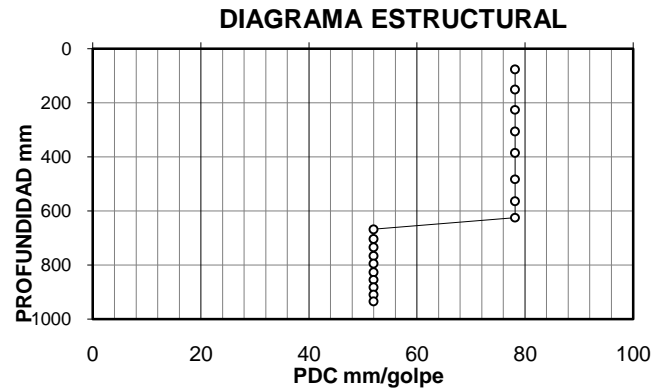
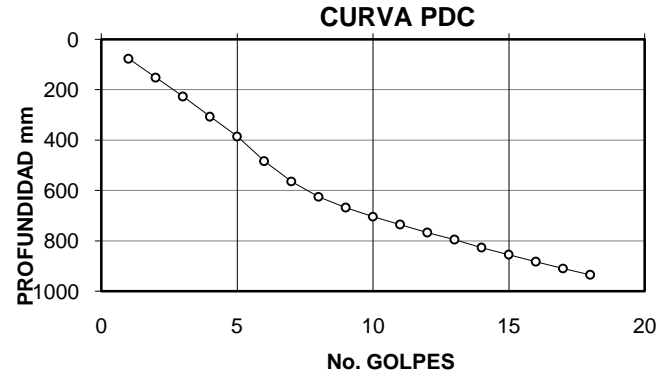
Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA (PDC)

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas
UBICACIÓN : K24+099 Margen Izquierda
REFERENCIA : D/ Eje 1.90 mts

CODIGO : PDC001
FECHA : 23-Ene-08
ALTURA INICIAL : 1,54 m

No. Golpes	Golpes Acum.	% Resistencia	Prof. mm	PDC mm/Golpe	CBR
1	1	5,6	76	78,1	4,1
1	2	11,1	151	78,1	
1	3	16,7	226	78,1	
1	4	22,2	306	78,1	
1	5	27,8	385	78,1	
1	6	33,3	483	78,1	
1	7	38,9	564	78,1	
1	8	44,4	625	78,1	
1	9	50,0	668	51,9	5,9
1	10	55,6	704	51,9	
1	11	61,1	735	51,9	
1	12	66,7	767	51,9	
1	13	72,2	795	51,9	
1	14	77,8	827	51,9	
1	15	83,3	855	51,9	
1	16	88,9	883	51,9	
1	17	94,4	910	51,9	
1	18	100,0	935	51,9	



OBSERVACIONES:
Sobre el sitio del ensayo material de mejoramiento

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA (PDC)

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K24+076 Margen Derecha

REFERENCIA : D/ Eje 1.31 mts

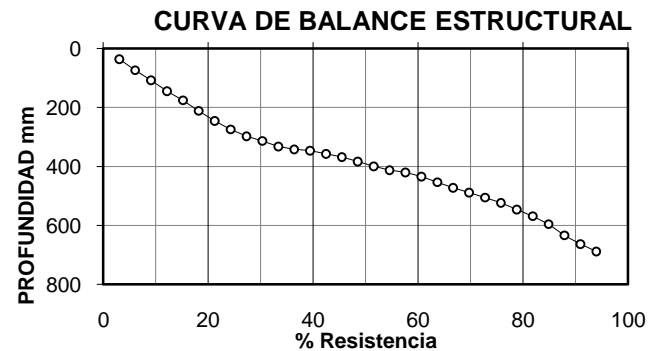
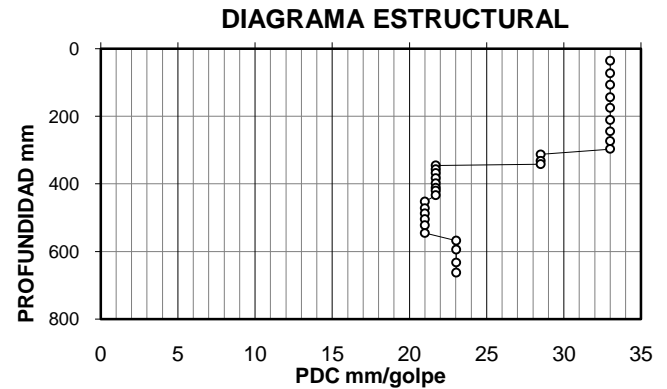
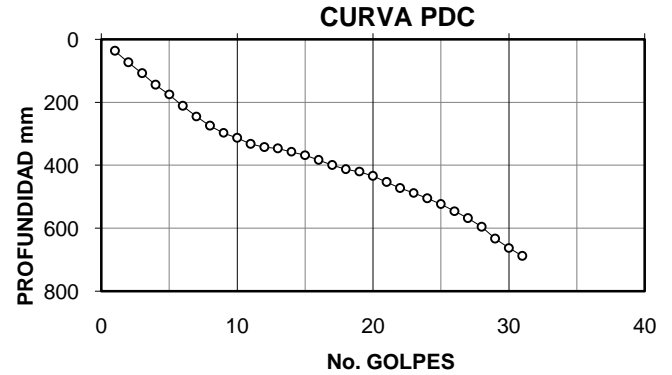
CODIGO : PDC002

FECHA : 30-Ene-08

PROFUNDIDAD : 0,62m

ALTURA INICIAL : 1,54 m

No. Golpes	Golpes Acum.	% Resistencia	Prof. mm	PDC mm/Golpe	CBR
1	1	3,0	36	33,0	8,7
1	2	6,1	73	33,0	
1	3	9,1	107	33,0	
1	4	12,1	144	33,0	
1	5	15,2	175	33,0	
1	6	18,2	211	33,0	
1	7	21,2	245	33,0	
1	8	24,2	274	33,0	
1	9	27,3	297	33,0	
1	10	30,3	313	28,5	
1	11	33,3	332	28,5	9,9
1	12	36,4	342	28,5	
1	13	39,4	346	21,7	
1	14	42,4	357	21,7	
1	15	45,5	368	21,7	
1	16	48,5	383	21,7	12,6
1	17	51,5	399	21,7	
1	18	54,5	412	21,7	
1	19	57,6	420	21,7	
1	20	60,6	434	21,7	
1	21	63,6	453	21,0	
1	22	66,7	472	21,0	13,0
1	23	69,7	488	21,0	
1	24	72,7	505	21,0	
1	25	75,8	523	21,0	
1	26	78,8	546	21,0	12,0
1	27	81,8	568	23,0	
1	28	84,8	595	23,0	
1	29	87,9	633	23,0	
1	30	90,9	663	23,0	
1	31	93,9	688	23,0	
1	32	97,0	723	23,0	
1	33	100,0	760	23,0	



OBSERVACIONES:

Sobre el sitio del ensayo material de mejoramiento

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA (PDC)

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K24+0094.8 Margen derecha

REFERENCIA : D/ Eje 1.50 mts

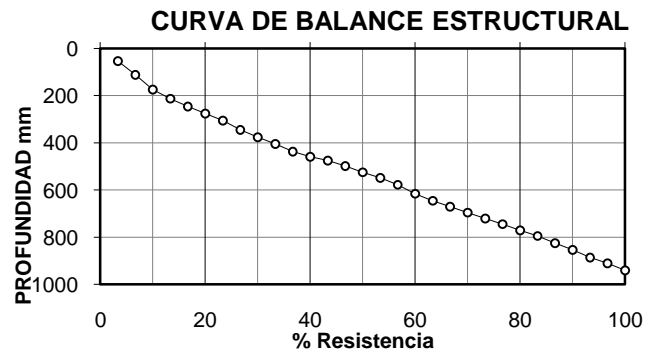
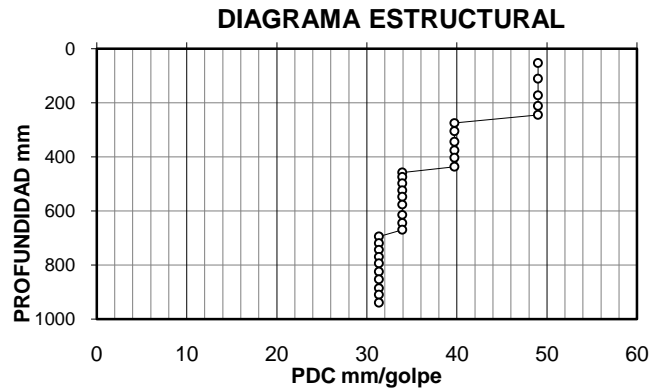
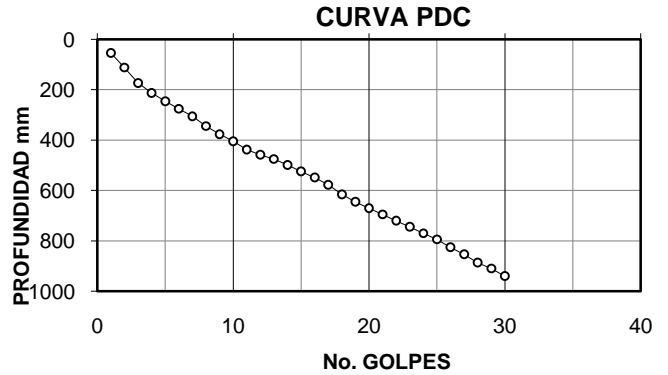
PROFUNDIDAD : 0,41m

ALTURA INICIAL : 1,54 m

CODIGO : PDC004

FECHA : 30-Ene-08

No. Golpes	Golpes Acum.	% Resistencia	Prof. mm	PDC mm/Golpe	CBR
1	1	3,3	53	49,0	6,2
1	2	6,7	111	49,0	
1	3	10,0	173	49,0	
1	4	13,3	212	49,0	
1	5	16,7	245	49,0	
1	6	20,0	275	39,7	7,4
1	7	23,3	305	39,7	
1	8	26,7	344	39,7	
1	9	30,0	376	39,7	
1	10	33,3	404	39,7	
1	11	36,7	437	39,7	8,5
1	12	40,0	458	33,9	
1	13	43,3	475	33,9	
1	14	46,7	498	33,9	
1	15	50,0	524	33,9	
1	16	53,3	548	33,9	
1	17	56,7	577	33,9	
1	18	60,0	615	33,9	
1	19	63,3	645	33,9	
1	20	66,7	670	33,9	
1	21	70,0	695	31,3	9,2
1	22	73,3	720	31,3	
1	23	76,7	744	31,3	
1	24	80,0	770	31,3	
1	25	83,3	794	31,3	
1	26	86,7	825	31,3	
1	27	90,0	853	31,3	
1	28	93,3	886	31,3	
1	29	96,7	910	31,3	
1	30	100,0	940	31,3	



OBSERVACIONES:

Sobre el sitio del ensayo material de mejoramiento

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA (PDC)

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K24+180 Margen derecha

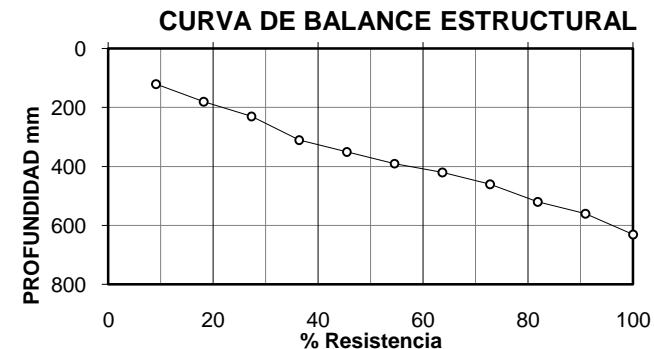
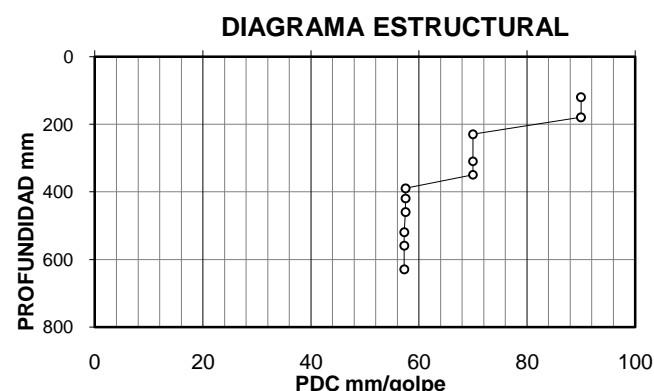
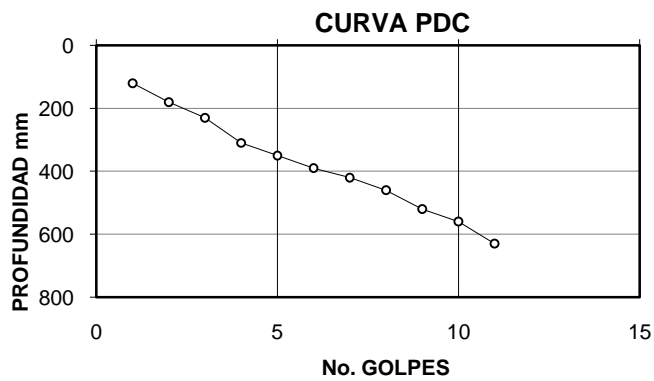
REFERENCIA : D/ Eje 1.40 mts

CODIGO : PDC006

FECHA : 31-Ene-08

ALTURA INICIAL : 1,52 m

No. Golpes	Golpes Acum.	% Resistencia	Prof. mm	PDC mm/Golpe	CBR
1	1	9,1	120	90,0	3,6
1	2	18,2	180	90,0	
1	3	27,3	230	70,0	4,5
1	4	36,4	310	70,0	
1	5	45,5	350	70,0	5,4
1	6	54,5	390	57,5	
1	7	63,6	420	57,5	
1	8	72,7	460	57,5	
1	9	81,8	520	57,3	
1	10	90,9	560	57,3	
1	11	100,0	630	57,3	



OBSERVACIONES:
Sobre el sitio del ensayo material de Base 34 cm y mejoramiento 42 cm

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA (PDC)

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K24+350 Margen derecha

REFERENCIA : D/ Eje 1.2 mts

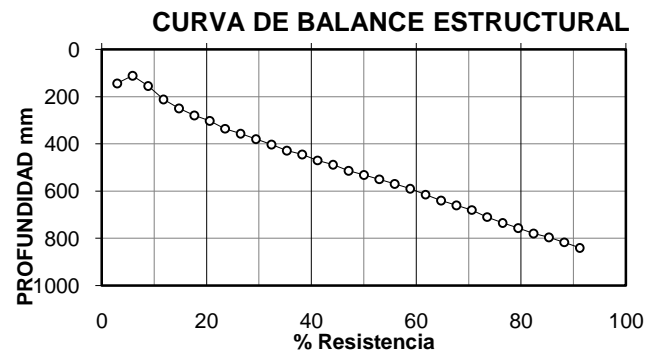
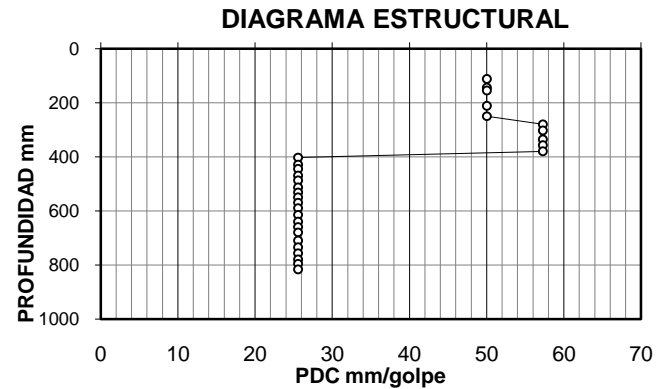
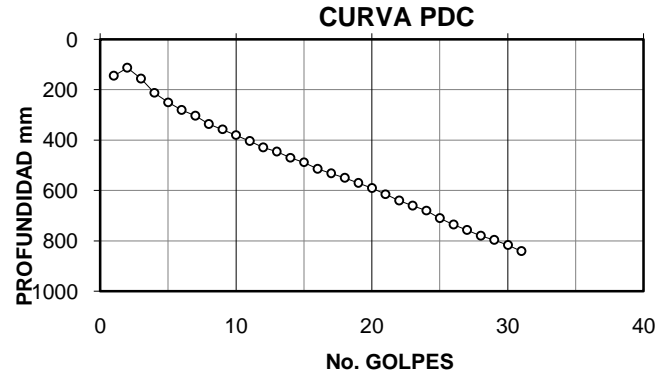
CODIGO : PDC008

FECHA : 01-Feb-08

PROFUNDIDAD : 51,00m

ALTURA INICIAL : 1,54 m

No. Golpes	Golpes Acum.	% Resistencia	Prof. mm	PDC mm/Golpe	CBR
1	1	2,9	144	50,0	6,1
1	2	5,9	112	50,0	
1	3	8,8	155	50,0	
1	4	11,8	212	50,0	
1	5	14,7	250	50,0	
1	6	17,6	280	57,3	3,6
1	7	20,6	303	57,3	
1	8	23,5	336	57,3	
1	9	26,5	357	57,3	
1	10	29,4	380	57,3	
1	11	32,4	403	25,6	10,9
1	12	35,3	429	25,6	
1	13	38,2	445	25,6	
1	14	41,2	470	25,6	
1	15	44,1	488	25,6	
1	16	47,1	514	25,6	
1	17	50,0	532	25,6	
1	18	52,9	550	25,6	
1	19	55,9	570	25,6	
1	20	58,8	590	25,6	
1	21	61,8	615	25,6	
1	22	64,7	640	25,6	
1	23	67,6	660	25,6	
1	24	70,6	680	25,6	
1	25	73,5	710	25,6	
1	26	76,5	735	25,6	
1	27	79,4	757	25,6	
1	28	82,4	780	25,6	
1	29	85,3	796	25,6	
1	30	88,2	817	25,6	
1	31	91,2	841	25,6	
1	32	94,1	860	25,6	
1	33	97,1	866	25,6	
1	34	100,0	869	25,6	



OBSERVACIONES:

Sobre el sitio del ensayo piedra filtro 18 cm y mejoramiento 33 cm

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 23-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+100	MARGEN	: Izquierda
REFERECIA	: DFX001 y PDC001	PROFUNDIDAD	: 0.99 Ste
		CODIGO	: CBR001
		DIST. EJE	: 1.9m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	3	0,76	10,82
0,025 pulg.	5	1,13	16,11
0,050 pulg.	6	1,32	18,75
0,075 pulg.	7	1,50	21,40
0,100 pulg.	8,5	1,78	25,36
0,150 pulg.	11,5	2,34	33,30
0,200 pulg.	15	2,99	42,55
0,250 pulg.	18	3,55	50,48
0,300 pulg.	21	4,11	58,41
0,400 pulg.	25,5	4,94	70,30
0,500 pulg.	30	5,78	82,19

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:

Descripción / Espesor:

Material de mejoramiento/ 99 cm de espesor
A 54 cm de subrasante (2) segmentos M + Ste

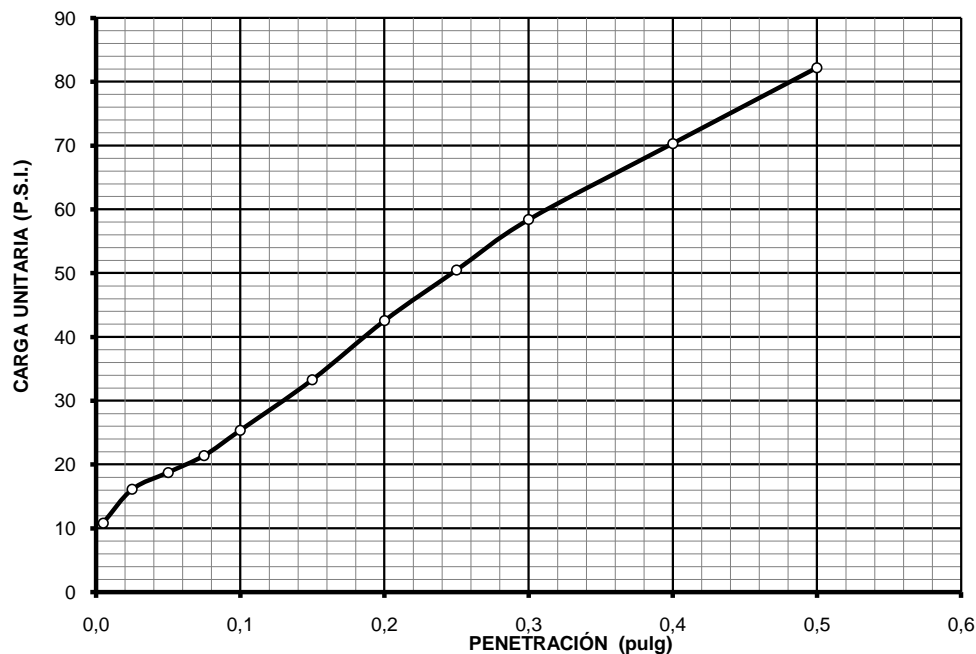
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:

Descripción:

Consistencia: Blanda

Humedad:

P1	Muestra + recipiente húmedo	423,20	gr
P2	Muestra + recipiente seca	256,01	gr
P3	Recipiente	40,00	gr
W	Humedad de penetración	77,40	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 2,54 %

$$CBR a 0.1" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,1"}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 2,84 %

$$CBR a 0.2" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,2"}{1500}$$

Observaciones: A 0.54 dentro de la subrasante y 0.99 del nivel de mejoramiento, capa de mejoramiento de 0.54 m

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

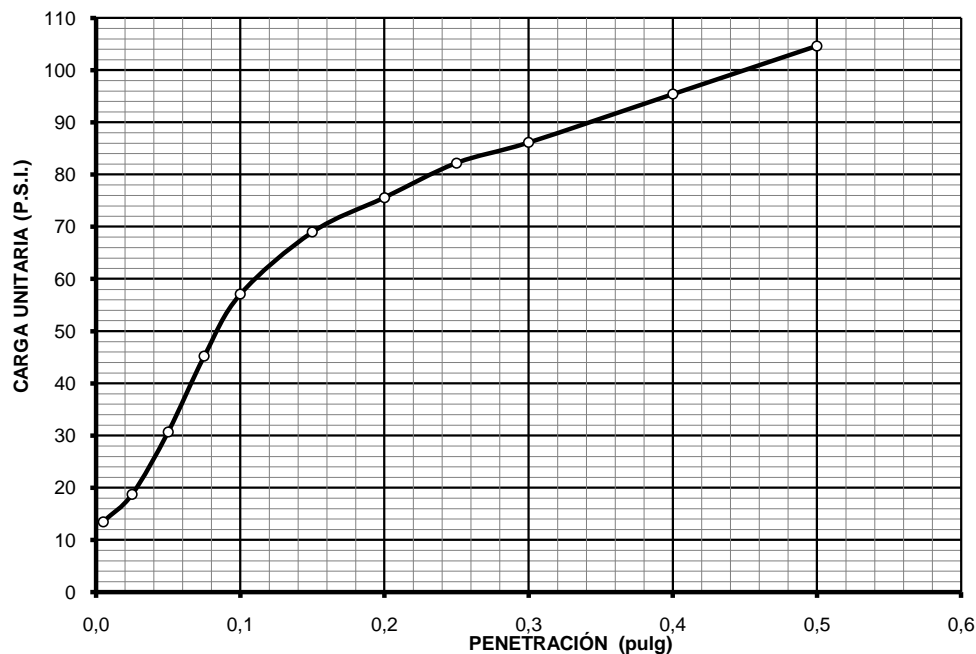
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 23-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+099	MARGEN	: Izquierda
REFERENCIA	: DFX001 y PDC001	PROFUNDIDAD	: 0.45 m
		CODIGO	: CBR002
		DIST. EJE	: 1.9m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	4	0,95	13,46
0,025 pulg.	6	1,32	18,75
0,050 pulg.	10,5	2,15	30,65
0,075 pulg.	16	3,18	45,19
0,100 pulg.	20,5	4,01	57,09
0,150 pulg.	25	4,85	68,98
0,200 pulg.	27,5	5,31	75,58
0,250 pulg.	30	5,78	82,19
0,300 pulg.	31,5	6,06	86,15
0,400 pulg.	35	6,71	95,40
0,500 pulg.	38,5	7,36	104,64

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Material de mejoramiento/ 45 cm de espesor			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia:			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	305,00	gr
P2	Muestra + recipiente seca	189,32	gr
P3	Recipiente	35,70	gr
W	Humedad de penetración	75,30	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 5,71 %

$$CBR a 0.1" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 5,04 %

$$CBR a 0.2" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: Sobre el ensayo material de mejoramiento 0.45 m

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

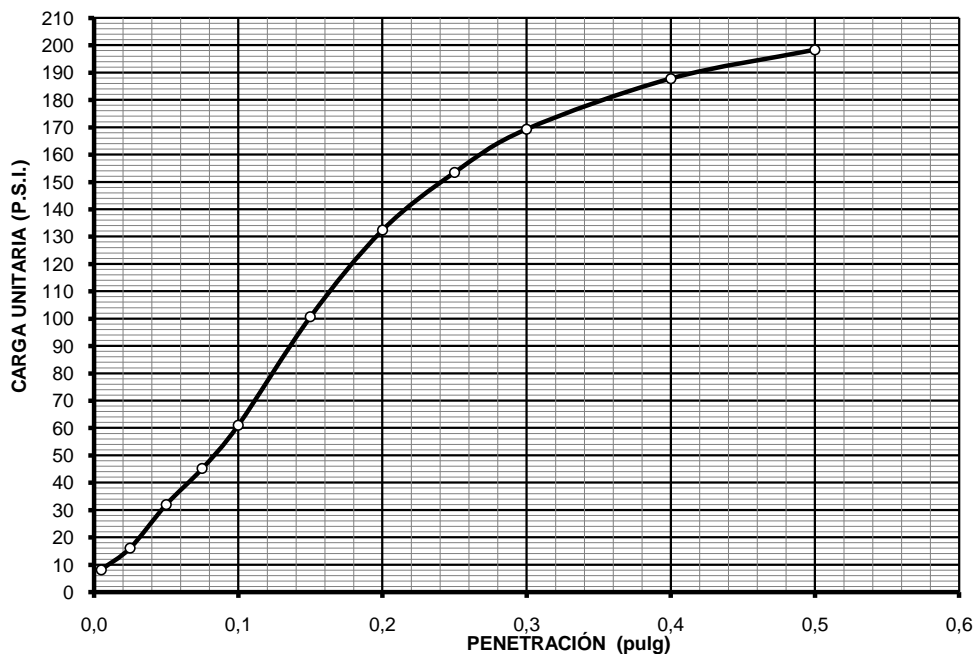
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 30-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+076	MARGEN	: Derecha
REFERENCIA	: DFX002 y PDC002	PROFUNDIDAD	: 0.62 m
		CODIGO	: CBR003
		DIST. EJE	: 1.31m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	2	0,57	8,17
0,025 pulg.	5	1,13	16,11
0,050 pulg.	11	2,25	31,97
0,075 pulg.	16	3,18	45,19
0,100 pulg.	22	4,29	61,05
0,150 pulg.	37	7,08	100,68
0,200 pulg.	49	9,31	132,37
0,250 pulg.	57	10,79	153,49
0,300 pulg.	63	11,90	169,33
0,400 pulg.	70	13,20	187,80
0,500 pulg.	74	13,95	198,35

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Base + Mejoramiento: Espesor total 0.62 m			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia:			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	404,00	gr
P2	Muestra + recipiente seca	246,70	gr
P3	Recipiente	41,80	gr
W	Humedad de penetración	76,77	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 6,11 %

$$CBR a 0.1" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,1"}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 8,82 %

$$CBR a 0.2" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,2"}{1500}$$

Observaciones: Sobre el ensayo material de Base + mejoramiento; espesores : 62 cm

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

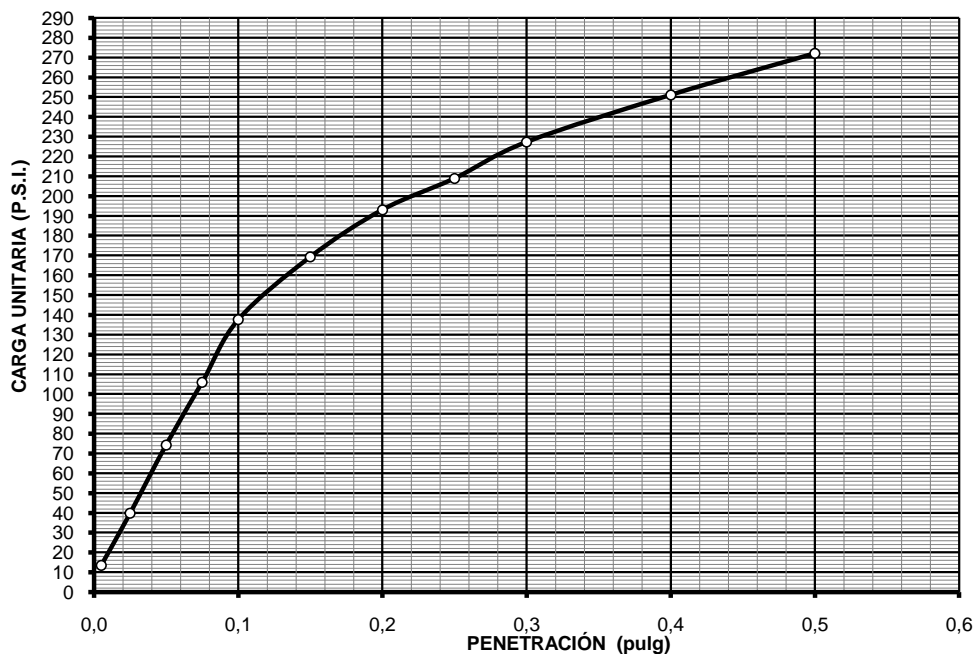
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 30-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+065	MARGEN	: En el eje
REFERENCIA	: DFX004 y PDC003	PROFUNDIDAD	: 0.32 m
		CODIGO	: CBR004
		DIST. EJE	: 0m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	4	0,95	13,46
0,025 pulg.	14	2,81	39,90
0,050 pulg.	27	5,22	74,26
0,075 pulg.	39	7,45	105,97
0,100 pulg.	51	9,68	137,65
0,150 pulg.	63	11,90	169,33
0,200 pulg.	72	13,57	193,07
0,250 pulg.	78	14,69	208,90
0,300 pulg.	85	15,99	227,36
0,400 pulg.	94	17,65	251,09
0,500 pulg.	102	19,14	272,17

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Base + Mejoramiento: 32 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia: Media			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	480,20	gr
P2	Muestra + recipiente seca	324,40	gr
P3	Recipiente	39,70	gr
W	Humedad de penetración	54,72	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 13,77 %

$$CBR a 0.1" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 12,87 %

$$CBR a 0.2" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: Sobre el ensayo material de Base 25 cm y mejoramiento 7 cm

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

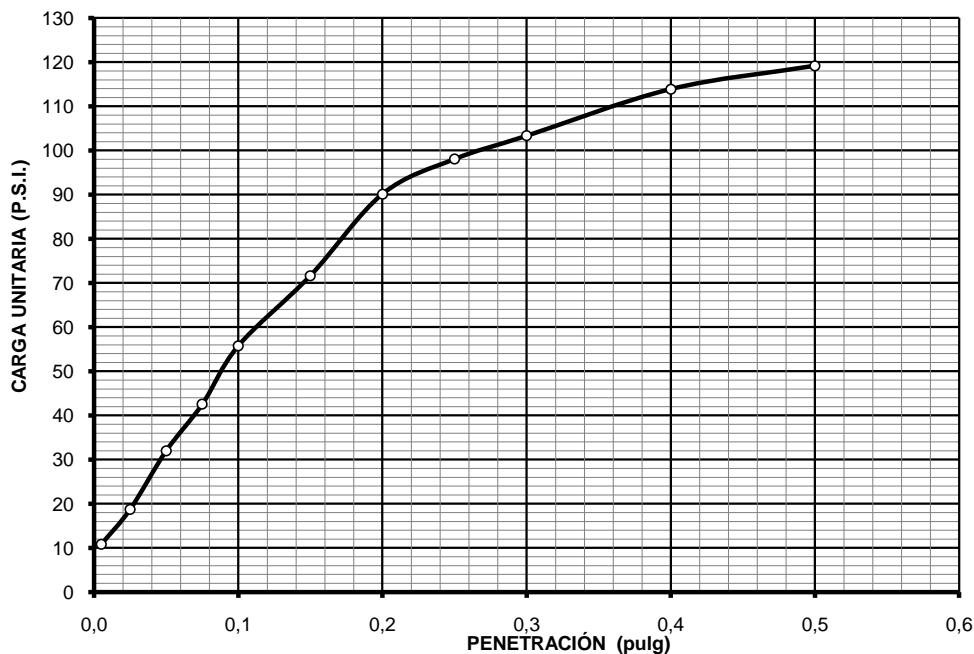
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 30-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+094.8	MARGEN	: Derecha
REFERENCIA	: DFX003 y PDC004	PROFUNDIDAD	: 0.41 m
		CODIGO	: CBR005
		DIST. EJE	: 1.5m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	3	0,76	10,82
0,025 pulg.	6	1,32	18,75
0,050 pulg.	11	2,25	31,97
0,075 pulg.	15	2,99	42,55
0,100 pulg.	20	3,92	55,76
0,150 pulg.	26	5,04	71,62
0,200 pulg.	33	6,34	90,12
0,250 pulg.	36	6,89	98,04
0,300 pulg.	38	7,26	103,32
0,400 pulg.	42	8,01	113,89
0,500 pulg.	44	8,38	119,17

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Base en piedra partida, e=21 cm + Mejoramiento 20 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia: Media			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	423,20	gr
P2	Muestra + recipiente seca	256,30	gr
P3	Recipiente	40,00	gr
W	Humedad de penetración	77,16	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 5,58 %

$$CBR a 0.1" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 6,01 %

$$CBR a 0.2" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: Sobre el ensayo material de Base 21 cm y mejoramiento 20 cm

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 31-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+180	MARGEN	: Derecha
REFERENCIA	: DFX006 y PDC006	PROFUNDIDAD	: 76 cm
		CODIGO	: CBR005
		DIST. EJE	: 1.4m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	5	1,13	16,11
0,025 pulg.	16	3,18	45,19
0,050 pulg.	32	6,15	87,47
0,075 pulg.	47	8,94	127,09
0,100 pulg.	62	11,72	166,69
0,150 pulg.	81	15,24	216,81
0,200 pulg.	101	18,95	269,54
0,250 pulg.	121	22,65	322,23
0,300 pulg.	136	25,43	361,72
0,400 pulg.	160	29,87	424,86
0,500 pulg.	186	34,68	493,20

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:

Descripción / Espesor:

Base en piedra partida, e=34 cm

+ Mejoramiento e=42 cm

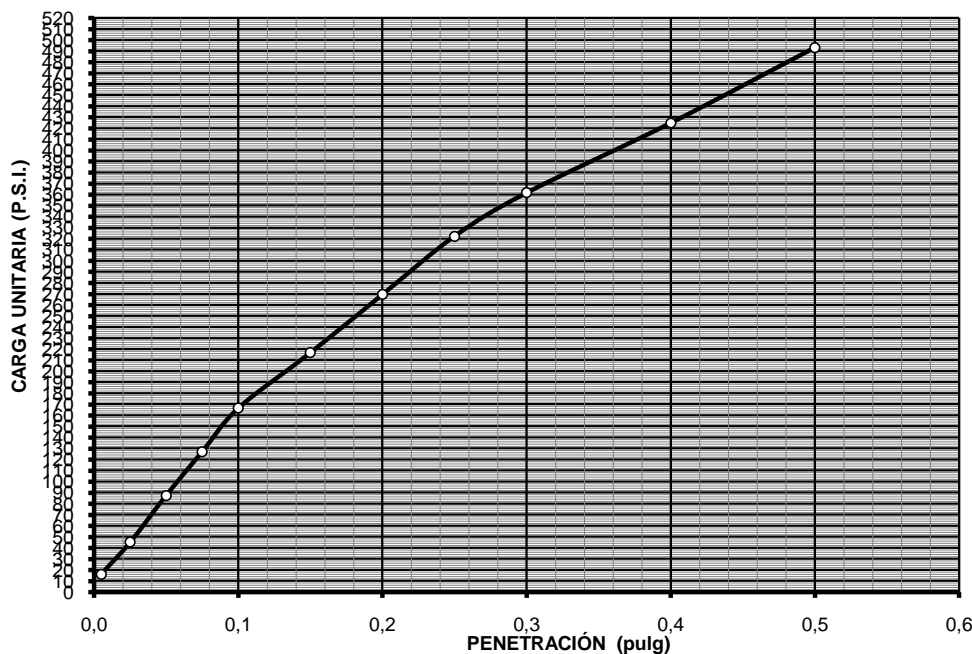
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:

Descripción:

Consistencia: Semidura

Humedad:

P1	Muestra + recipiente húmedo	341,60	gr
P2	Muestra + recipiente seca	245,40	gr
P3	Recipiente	37,00	gr
W	Humedad de penetración	46,16	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 16,67 %

$$\text{CBR a } 0.1" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,1"}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 17,97 %

$$\text{CBR a } 0.2" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,2"}{1500}$$

Observaciones: Capa ceriada y compactada lista para construir placa.

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

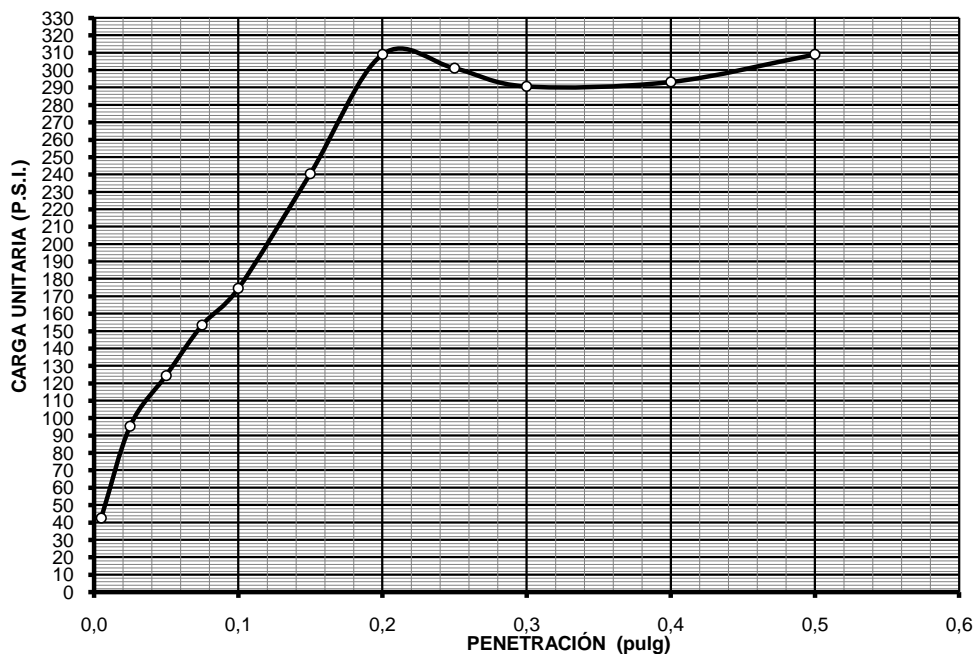
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 31-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+190	MARGEN	: Derecha
REFERENCIA	: DFX005 y PDC007	PROFUNDIDAD	: 67 cm
		DIST. EJE	: 1.6m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	15	2,99	42,55
0,025 pulg.	35	6,71	95,40
0,050 pulg.	46	8,75	124,45
0,075 pulg.	57	10,79	153,49
0,100 pulg.	65	12,28	174,61
0,150 pulg.	90	16,91	240,54
0,200 pulg.	116	21,73	309,06
0,250 pulg.	113	21,17	301,16
0,300 pulg.	109	20,43	290,62
0,400 pulg.	110	20,62	293,25
0,500 pulg.	116	21,73	309,06

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Base en piedra partida, e=30 cm			
+ Mejoramiento e=37 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia: Media			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	421,50	gr
P2	Muestra + recipiente seca	295,40	gr
P3	Recipiente	35,00	gr
W	Humedad de penetración	48,43	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 17,46 %

$$CBR a 0.1" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 20,60 %

$$CBR a 0.2" = \frac{\text{Carga Unitaria leída a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: Capa ceriada y compactada lista para construir placa.

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

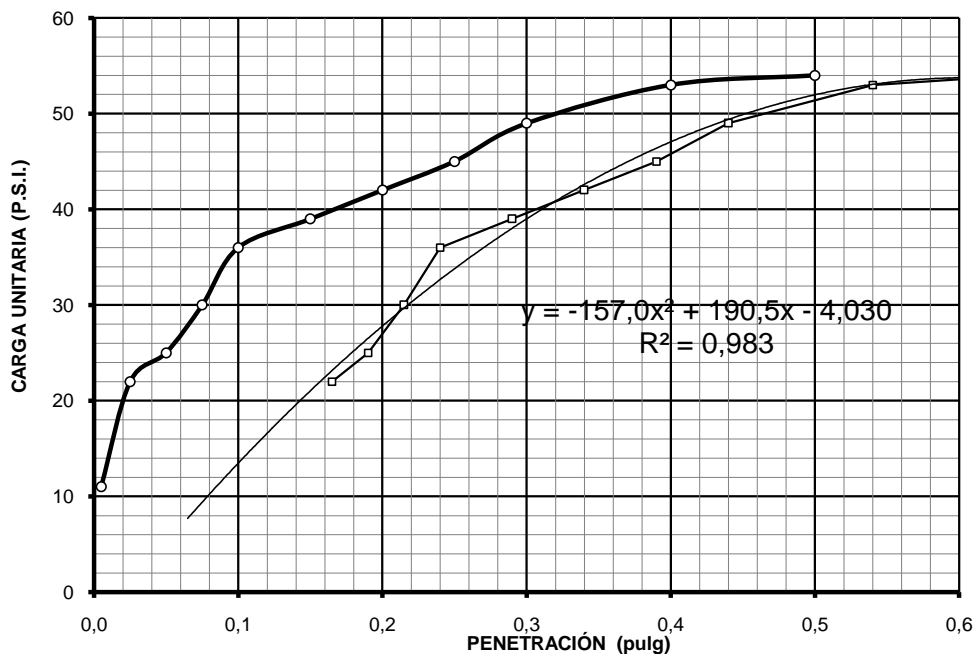
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 31-Ene-08
UBICACIÓN	: K 24+330	MARGEN	: Derecha
REFERENCIA	: _____	PROFUNDIDAD	: 0.6 m
		CODIGO	: CBR008
		DIST. EJE	: 0.8m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	35,2	0,77	11,00
0,025 pulg.	70,4	1,55	22,00
0,050 pulg.	79,2	1,76	25,00
0,075 pulg.	94,9	2,11	30,00
0,100 pulg.	114,4	2,53	36,00
0,150 pulg.	123,2	2,74	39,00
0,200 pulg.	132	2,95	42,00
0,250 pulg.	140,8	3,16	45,00
0,300 pulg.	154	3,45	49,00
0,400 pulg.	165	3,73	53,00
0,500 pulg.	169,4	3,80	54,00

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Material de mejoramiento, e=60 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia: Blanda			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	126,35	gr
P2	Muestra + recipiente seca	84,22	gr
P3	Recipiente	36,39	gr
W	Humedad de penetración	88,08	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 1,36 %

$$\text{CBR a } 0.1'' = \frac{\text{Carga Unitaria Corregida a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 2,25 %

$$\text{CBR a } 0.2'' = \frac{\text{Carga Unitaria corregida a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: La muestra se la tomó antes de realizar la extensión y compactación de la capa.

La corrección se la realiza debido a la deformación inicial sin lectura del dial.

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

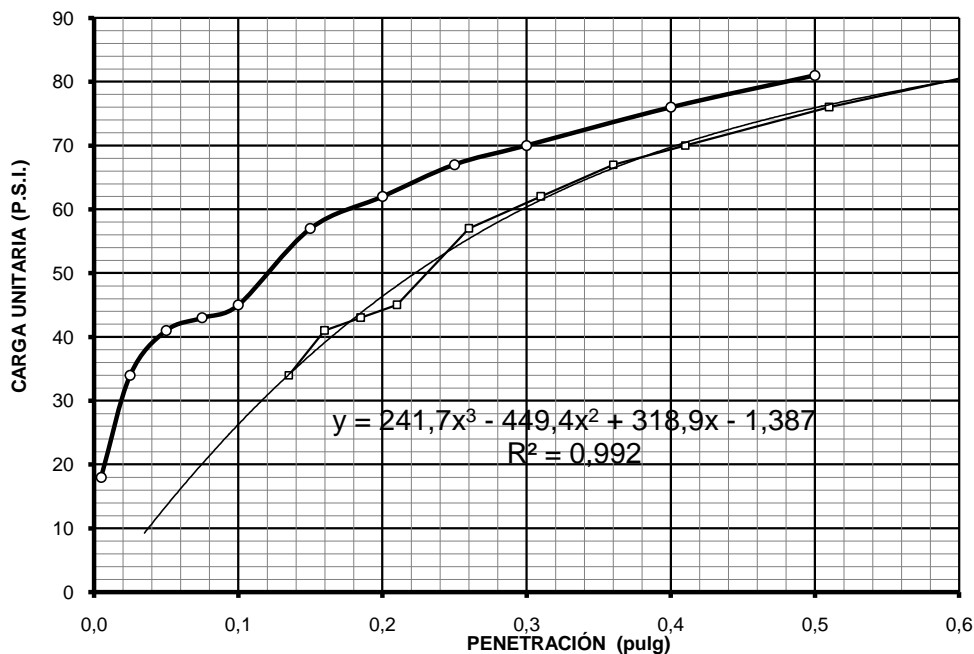
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 01-Feb-08
UBICACIÓN	: K 24+348	MARGEN	: Izquierda
REFERENCIA	: DFX010	PROFUNDIDAD	: 0.35m
		CODIGO	: CBR009
		DIST. EJE	: 2,4

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	55	1,27	18,00
0,025 pulg.	107,8	2,39	34,00
0,050 pulg.	129,8	2,88	41,00
0,075 pulg.	134,2	3,02	43,00
0,100 pulg.	140,8	3,16	45,00
0,150 pulg.	180,4	4,01	57,00
0,200 pulg.	193,6	4,36	62,00
0,250 pulg.	209	4,71	67,00
0,300 pulg.	220	4,92	70,00
0,400 pulg.	237,6	5,34	76,00
0,500 pulg.	255,2	5,69	81,00

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Material filtrante, e=35 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia: Blanda; Peso Unitario 0.76 gr/cm ³			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	122,87	gr
P2	Muestra + recipiente seca	81,26	gr
P3	Recipiente	37,51	gr
W	Humedad de penetración	95,11	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 2,60 %

$$\text{CBR a } 0.1'' = \frac{\text{Carga Unitaria Corregida a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 3,07 %

$$\text{CBR a } 0.2'' = \frac{\text{Carga Unitaria corregida a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: La muestra se la tomó despues de realizar la extensión y compactación de la capa.

La corrección se la realiza debido a la deformación inicial sin lectura del dial.

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

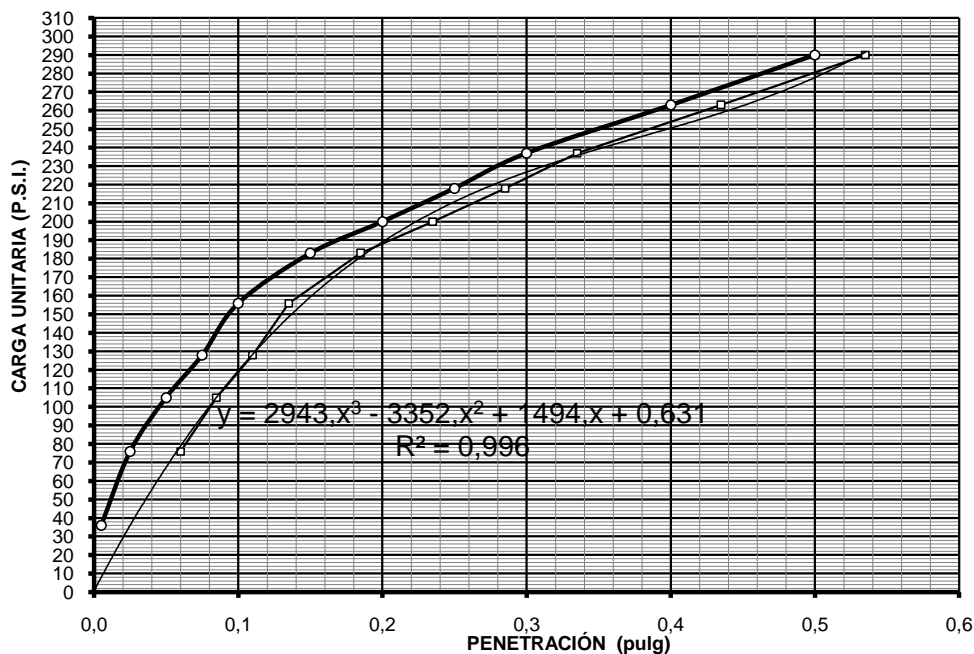
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	: Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas	FECHA	: 01-Feb-08
UBICACIÓN	: K 24+350	MARGEN	: Derecha
REFERECIA	: DFX010	PROFUNDIDAD	: 0.51 m
		CODIGO	: CBR009
		DIST. EJE	: 1.2 m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0,005 pulg.	36	2,53	36,00
0,025 pulg.	76	5,34	76,00
0,050 pulg.	105	7,38	105,00
0,075 pulg.	128	9,00	128,00
0,100 pulg.	156	10,97	156,00
0,150 pulg.	183	12,87	183,00
0,200 pulg.	200	14,06	200,00
0,250 pulg.	218	15,33	218,00
0,300 pulg.	237	16,66	237,00
0,400 pulg.	263	18,49	263,00
0,500 pulg.	290	20,39	290,00

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Material de mejoramiento, e=51 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia: Media; Peso Unitario 0.93 gr/cm ³			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	131,20	gr
P2	Muestra + recipiente seca	92,75	gr
P3	Recipiente	38,06	gr
W	Humedad de penetración	70,31	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 12,00 %

$$\text{CBR a } 0.1'' = \frac{\text{Carga Unitaria Corregida a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 12,53 %

$$\text{CBR a } 0.2'' = \frac{\text{Carga Unitaria corregida a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: La muestra se la tomó despues de realizar la extensión y compactación de la capa.

La corrección se la realiza debido a la deformación inicial sin lectura del dial.

LABORATORISTA

REVISO Y APROBÓ



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO Pavimentación vía Junín Barbaocoas FECHA 10 feb 2008
 REFERENCIA Ensayo No 1 LOCALIZACIÓN K24+330
 DESCRIPCIÓN Limo arenoso de alta compresibilidad color café claro

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

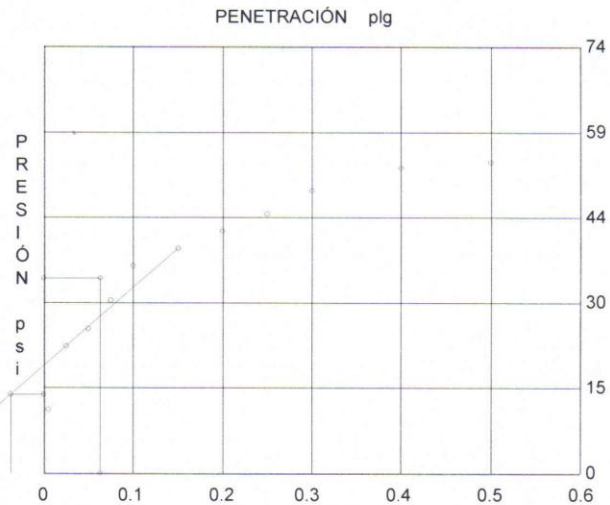
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3218,25
Peso suelo húmedo + molde gr	9594
Peso del molde gr	4488
Peso suelo húmedo gr	5106
Peso suelo húmedo + recipiente gr	1,59
Peso unitario seco gr/cm ³	0,85

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	116
Peso suelo húmedo + recipiente gr	126,35
Peso suelo seco + recipiente gr	84,22
Peso del recipiente gr	36,39
Humedad %	88,08
Humedad promedio %	88,08

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0.005	35,2	11
0.025	70,4	22
0.050	79,2	25
0.075	94,9	30
0.100	114,4	36
0.150	123,2	39
0.200	132	42
0.250	140,8	45
0.300	154	49
0.400	165	53
0.500	169,4	54
CBR corregido a 0.1"	1,36	
CBR corregido a 0.2"	2,25	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES _____

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA

Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO Pavimentación vía Junín Barbacoas FECHA 10 feb 2008
 REFERENCIA Ensayo No 1 LOCALIZACIÓN K24+348
 DESCRIPCIÓN Limo arenoso de alta compresibilidad color café oscuro

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

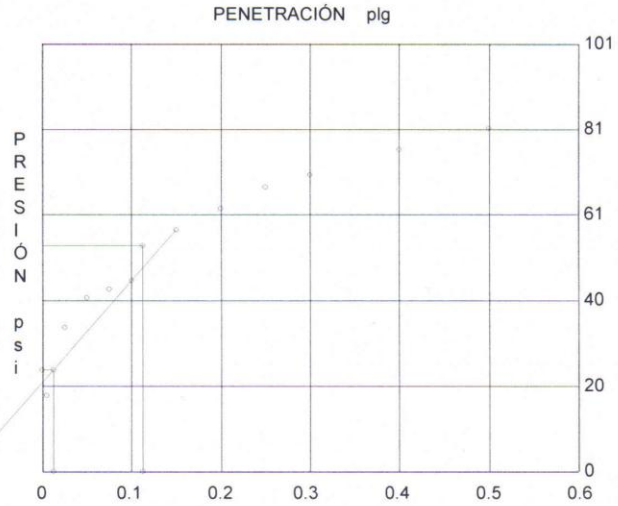
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3218,25
Peso suelo húmedo + molde gr	9949
Peso del molde gr	5181
Peso suelo húmedo gr	4768
Peso suelo húmedo + recipiente gr	1,48
Peso unitario seco gr/cm ³	0,76

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	106
Peso suelo húmedo + recipiente gr	122,87
Peso suelo seco + recipiente gr	81,26
Peso del recipiente gr	37,51
Humedad %	95,11
Humedad promedio %	95,11

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0.005	55	18
0.025	107,8	34
0.050	129,8	41
0.075	134,2	43
0.100	140,8	45
0.150	180,4	57
0.200	193,6	62
0.250	209	67
0.300	220	70
0.400	237,6	76
0.500	255,2	81
CBR corregido a 0.1"	2,40	
CBR corregido a 0.2"	3,55	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES _____


 HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
 Geotecnólogo

**SUELOS Y MATERIALES
LABORATORIO**



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO Pavimentación vía Junín Barbaocoas FECHA 10 feb 2008
 REFERENCIA Ensayo No 1 LOCALIZACIÓN K24+330
 DESCRIPCIÓN Limo arenoso de alta compresibilidad color café claro

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

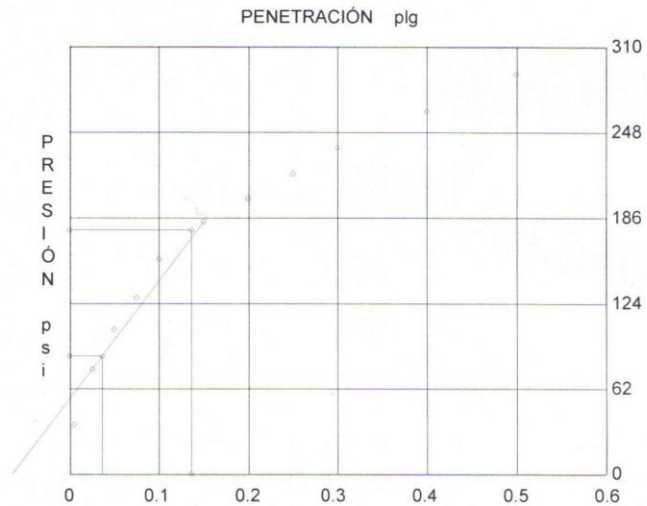
Molde No. 1
 Altura de la muestra cm 17,5
 Volumen molde cm³ 3218,25
 Peso suelo húmedo + molde gr 9826
 Peso del molde gr 4757
 Peso suelo húmedo gr 5069
 Peso suelo húmedo + recipiente gr 1,58
 Peso unitario seco gr/cm³ 0,93

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No. 108
 Peso suelo húmedo + recipiente gr 131,20
 Peso suelo seco + recipiente gr 92,75
 Peso del recipiente gr 38,06
 Humedad % 70,31
 Humedad promedio % 70,31

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0.005	114	36
0.025	237,6	76
0.050	330	105
0.075	402,6	128
0.100	490,6	156
0.150	574,2	183
0.200	629,2	200
0.250	686,4	218
0.300	743,6	237
0.400	827,2	263
0.500	910,8	290
CBR corregido a 0.1"	8,56	
CBR corregido a 0.2"	11,80	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES


 HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
 Geotecnólogo



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas
SECTOR : K24+102

CODIGO : DFX001
FECHA : 23-Ene-08

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	24+102	I	Mejoramiento	45	20	7	683	273

Condiciones del ensayo: Capa compactada

RC (m)

76,3

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

OBSERVACIONES:

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas
SECTOR : K24+065 al K24+076

CODIGO : DFX002
FECHA : 30-Ene-08

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	24+065	Eje	Base + Mejoramiento	25+7	44	17	1502	662

Condiciones del ensayo: Capa compactada y seriada. Cota rasante 74.094

RC (m)
37,2

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	24+076.5	D	Base + Mejoramiento	37+25	21	9	717	351

Condiciones del ensayo: Capa compactada y seriada. Cota rasante 75.764 a 1.31 m del eje

RC (m)
85,4

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	24+094.8	D	Base + Mejoramiento	21+20	22	11	751	429

Condiciones del ensayo: Capa compactada y seriada. Cota rasante 77.110

RC (m)
97,0

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo:

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo:

RC (m)

OBSERVACIONES:

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas
SECTOR : K24+180 al K24+330

CODIGO : DFX003
FECHA : 31-Ene-08

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	24+180	D	Base + Mejoramiento	34+42	11	6	375	234

Condiciones del ensayo: Capa compactada y seriada. Cota rasante 679.919
a 1.4m del eje

RC (m)
220,7

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	24+190	D	Base + Mejoramiento	30+37	14	8	478	312

Condiciones del ensayo: Capa compactada y seriada. Cota rasante 680.621
a 1.6 m del eje

RC (m)
188,2

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	24+330	D	Base + Mejoramiento	30+37	44	16	1502	624

Condiciones del ensayo: Capa compactada y seriada. Cota rasante 689.88
a 0.8m del eje

RC (m)
35,6

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

OBSERVACIONES:

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas
SECTOR : K24+341 al 24+350

CODIGO : DFX004
FECHA : 01-Feb-08

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	24+341.1	D	Mejoramiento	45	29	12	990	468

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con una (1) pasada de Vibrocompactador a 1.1m del eje

RC (m)
59,9

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	24+347.1	I	Piedra filtro	35	202	36	6894	1403

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con una (1) pasada de Vibrocompactador a 2.4 m del eje

RC (m)
5,7

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	24+350	D	Mejoramiento	30+37	25	13	853	507

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con una (1) pasada de Vibrocompactador a 0.8m del eje

RC (m)
90,2

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

OBSERVACIONES:

Una pasada equivale a ida y vuelta de un vibro compactador CA-25. La extensión inicial se realizó con una retroexcavadora CAT-320 dando 3 pasadas con las orugas.

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbaosas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbaosas
SECTOR : K24+341 al 24+350

CODIGO : DFX005
FECHA : 01-Feb-08

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	24+341.1	D	Mejoramiento	45	28	12	956	468

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 4 pasadas de Vibrocompact. a 1.1m del eje

RC (m)
64,0

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	24+347.1	I	Piedra filtro	35	138	59	4710	2299

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 3.5 pasadas de Vibrocompact a 2.4 m del eje

RC (m)
13,0

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	24+350	D	Mejoramiento	30+37	20	6	683	234

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 4 pasadas de Vibrocompact. a 0.8m del eje

RC (m)
69,6

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

OBSERVACIONES:

Una pasada equivale a ida y vuelta de un vibro compactador CA-25.

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas
SECTOR : K24+341 al 24+350

CODIGO : DFX006
FECHA : 01-Feb-08

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	24+341.1	D	Mejoramiento	45	14	8	478	312

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 8 pasadas de Vibrocompac. a 1.1m del eje

RC (m)
188,2

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	24+347.1	I	Piedra filtro	35	80	23	2730	896

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 8 pasadas de Vibrocompac. a 2.4 m del eje

RC (m)
17,0

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	24+350	D	Mejoramiento	30+37	15	6	512	234

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 8 pasadas de Vibrocompac. a 0.8m del eje

RC (m)
112,4

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

OBSERVACIONES:

Una pasada equivale a ida y vuelta de un vibro compactador CA-25.

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS
GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE
SUBRRASANTES DEBILES CON MATERIALES DE
GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas
SECTOR : K24+341 al 24+350

CODIGO : DFX006
FECHA : 01-Feb-08

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	24+341.1	D	Mejoramiento	45	24	6	819	234

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 18 pasadas de Vibrocompactador a 1.1m del eje

RC (m)
53,4

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	24+347.1	I	Piedra filtro	35	82	32	2799	1247

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 18 pasadas de Vibrocompactador a 2.4 m del eje

RC (m)
20,1

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	24+350	D	Mejoramiento	30+37	10	3	341	117

Condiciones del ensayo: Capa extendida y compactada con 18 pasadas de Vibrocompactador a 0.8m del eje

RC (m)
139,3

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
							0	0

Condiciones del ensayo: _____

RC (m)

OBSERVACIONES:

Una pasada equivale a ida y vuelta de un vibro compactador CA-25.

REVISO Y APROBÓ

LABORATORISTA



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93
Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+100

REFERENCIA :

MARGEN : IZQUIERDA

PROFUNDIDAD : 0,99

FECHA : 23-Ene-08

CODIGO :

DIST. EJE : 1.9 m

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		600,2		
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	
3"	75	0,0	100,0	
2"	50	0,0	100,0	
1 1/2"	37,5	0,0	100,0	
1"	25	0,0	100,0	
3/4"	19	0,0	100,0	
1/2"	12,5	0,0	100,0	
3/8"	9,5	0,0	100,0	
4	4,75	0,00	100,0	
10	2	0,00	100,0	
40	0,425	15,50	2,6	97,4
100	0,15	81,70	13,6	83,8
200	0,1	38,00	6,3	77,5
-200	0,1	465,00	77,5	0,0

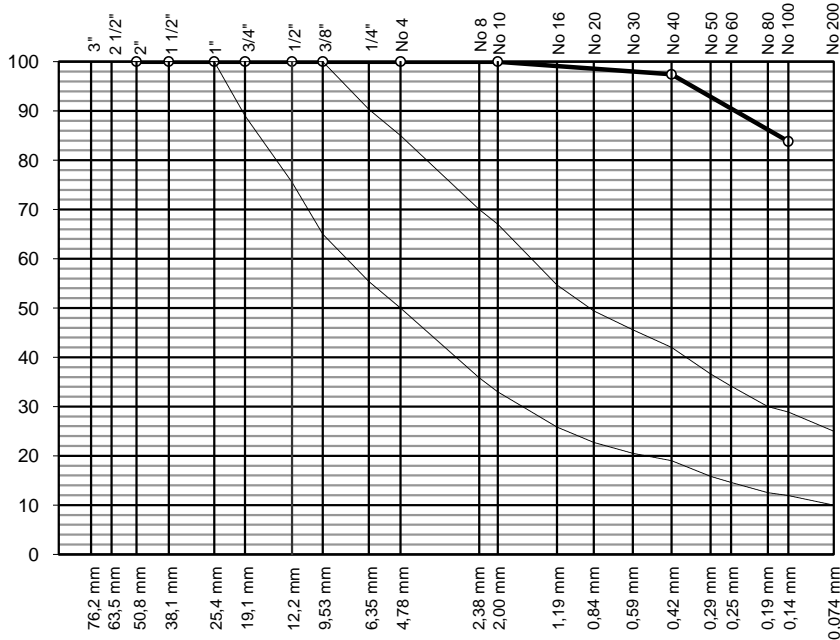
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	13	23	30	
P ₁ (gr)	40,80	41,20	39,90	
P ₂ (gr)	31,80	32,40	31,60	
P ₃ (gr)	17,50	17,60	17,40	
% HUMEDAD	62,9	59,5	58,5	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	25,90	26,00	423,20
P ₂ (gr)	23,00	23,10	256,30
P ₃ (gr)	17,50	17,60	40,00
% HUMEDAD	52,7	52,7	77,2

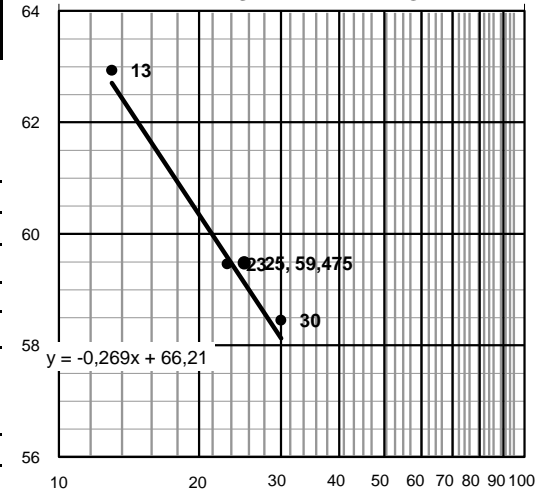


LÍMITE LÍQUIDO: 59,5
LÍMITE PLÁSTICO: 52,7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 6,7
HUMEDAD NATURAL: 77,2
ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 3,6
C_u = _____ C_c = _____

CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 12
A A S H T O : A - 5
U. S. C. : MH

LÍMITES DE ATTERBERG



OBSERVACIONES:

Material MH Limo Inorganicos ,suelo limo arenoso con particulas finas de mediana consistencia Color :carmelita oscura con vetas rojizas



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93
Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+099

REFERENCIA :

MARGEN : IZQUIERDO

PROFUNDIDAD : 0,45

FECHA : 23-Ene-08

CODIGO :

DIST. EJE : 1.9 m

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		630,6		
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	
3"	75	0,0	100,0	
2"	50	0,0	100,0	
1 1/2"	37,5	0,0	100,0	
1"	25	0,0	100,0	
3/4"	19	0,0	100,0	
1/2"	12,5	0,0	100,0	
3/8"	9,5	0,0	100,0	
4	4,75	0,00	0,0	100,0
10	2	0,50	0,1	99,9
40	0,425	9,00	1,4	98,5
100	0,15	81,60	12,9	85,6
200	0,1	46,90	7,4	78,1
-200	0,1	492,60	78,1	0,0

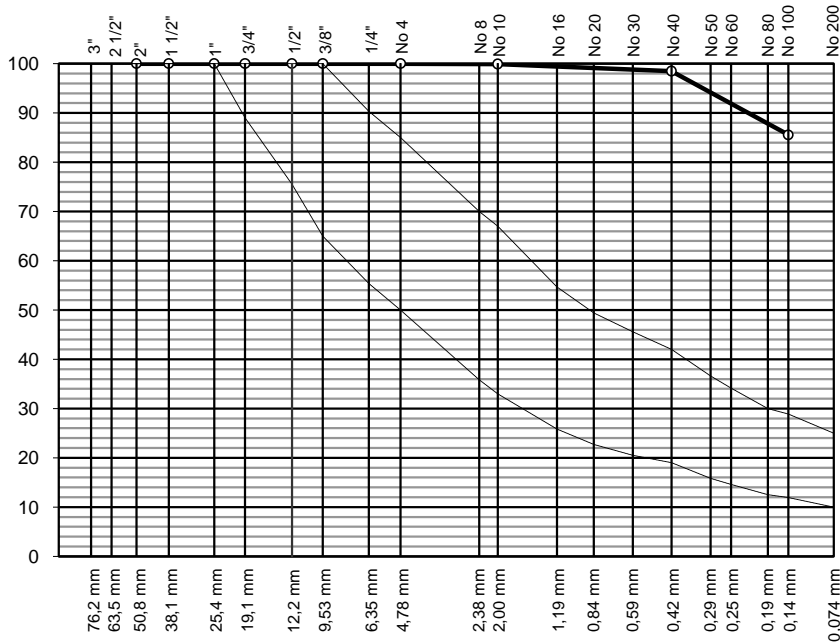
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	10	23	36	
P ₁ (gr)	39,10	42,70	37,30	
P ₂ (gr)	30,50	33,70	30,20	
P ₃ (gr)	17,30	17,60	17,70	
% HUMEDAD	65,2	55,9	56,8	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	25,70	26,70	423,20
P ₂ (gr)	22,80	23,60	256,30
P ₃ (gr)	17,30	17,70	40,00
% HUMEDAD	52,7	52,5	77,2



LÍMITE LÍQUIDO: 58,6

LÍMITE PLÁSTICO: 52,7

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 5,9

HUMEDAD NATURAL: 77,2

ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 4,1

C_u = _____ C_c = _____

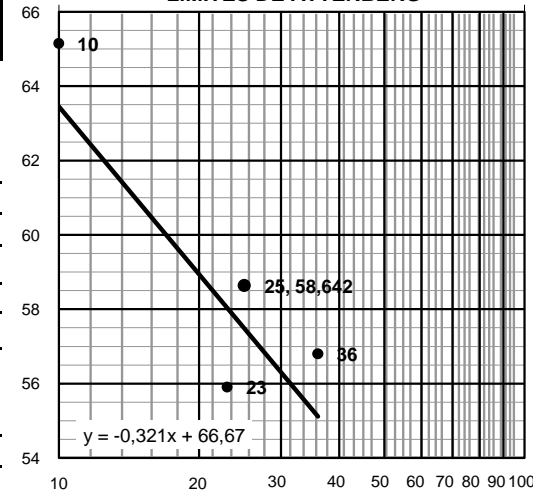
CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 12

A A S H T O : A - 5

U. S. C. : MH

LÍMITES DE ATTERBERG



OBSERVACIONES:

Material MH Limo Inorganicos ,suelo limo arenoso con particulas finas de mediana consistencia Color :carmelita oscura con vetas rojizas



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+076

REFERENCIA :

MARGEN : DERECHO

PROFUNDIDAD : 0,62

FECHA : 30-Ene-08

CODIGO :

DIST. EJE : 1.31m

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		122,4	
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3"	75	0,0	100,0
2"	50	0,0	100,0
1 1/2"	37,5	0,0	100,0
1"	25	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	100,0
4	4,75	0,35	99,7
10	2	0,50	99,3
40	0,425	6,65	93,9
100	0,15	9,30	86,3
200	0,1	5,89	81,5
-200	0,1	99,75	81,5
		81,5	0,0

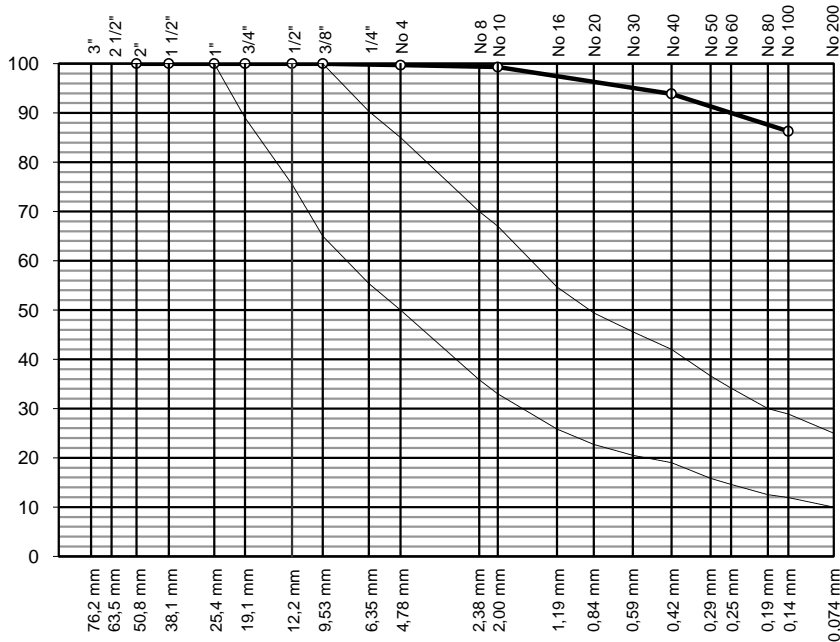
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	10	23	36	
P ₁ (gr)	40,90	41,70	38,10	
P ₂ (gr)	32,70	34,00	31,70	
P ₃ (gr)	17,40	17,60	17,50	
% HUMEDAD	53,6	47,0	45,1	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	25,00		404,00
P ₂ (gr)	23,00		246,70
P ₃ (gr)	17,60		41,80
% HUMEDAD	37,0		76,8



LÍMITE LÍQUIDO: 47,9

LÍMITE PLÁSTICO: 37,0

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 10,8

HUMEDAD NATURAL: 76,8

ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 3,7

C_u = _____ C_c = _____

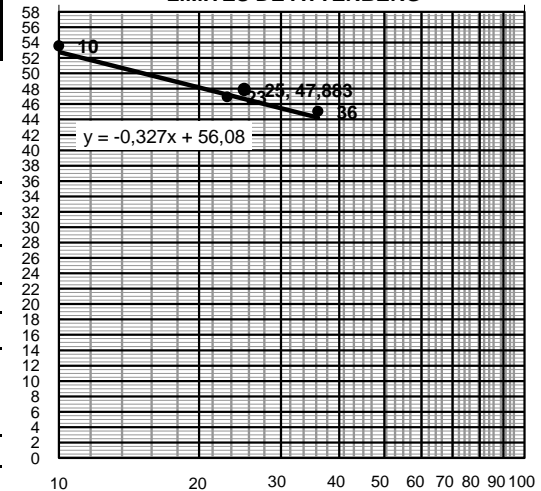
CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 10

A A S H T O : _____

U. S. C. : ML

LÍMITES DE ATTERBERG



OBSERVACIONES:

Material: ML Arenas finas limosas con baja plasticidad

Color: Café pardo oscura



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+065

REFERENCIA :

MARGEN : EJE

PROFUNDIDAD : 0,32

FECHA : 01-Feb-08

CODIGO :

DIST. EJE : 0

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		117,4		
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	
3"	75	0,0	100,0	
2"	50	0,0	100,0	
1 1/2"	37,5	0,0	100,0	
1"	25	0,0	100,0	
3/4"	19	0,0	100,0	
1/2"	12,5	0,0	100,0	
3/8"	9,5	0,0	100,0	
4	4,75	0,00	0,0	100,0
10	2	0,00	0,0	100,0
40	0,425	0,77	0,7	99,3
100	0,15	5,08	4,3	95,0
200	0,1	7,33	6,2	88,8
-200	0,1	104,18	88,8	0,0

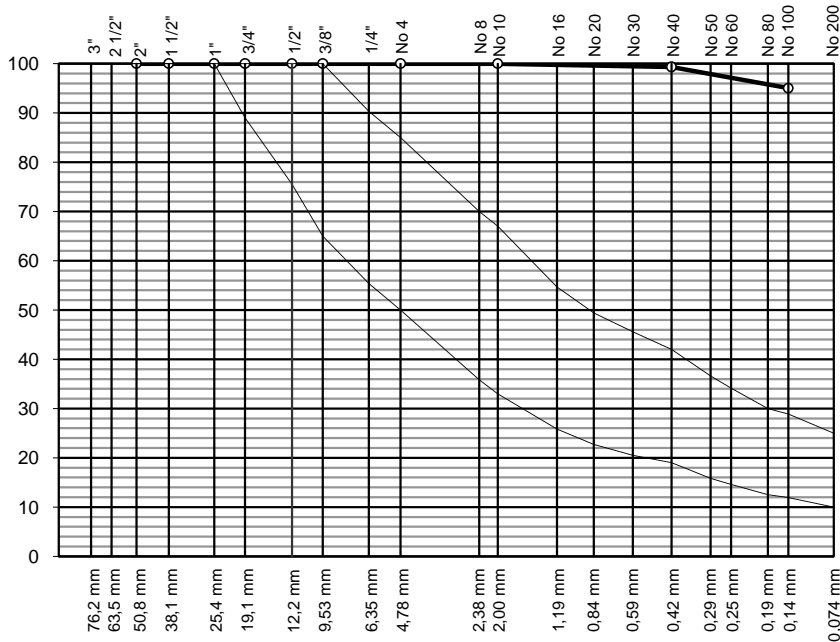
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	14	25	35	
P ₁ (gr)	39,70	40,60	35,80	
P ₂ (gr)	30,70	32,00	28,90	
P ₃ (gr)	17,60	18,80	18,40	
% HUMEDAD	68,7	65,2	65,7	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	26,80	26,90	480,20
P ₂ (gr)	23,40	23,50	324,40
P ₃ (gr)	17,60	17,50	39,70
% HUMEDAD	58,6	56,7	54,7



LÍMITE LÍQUIDO: 66,5

LÍMITE PLÁSTICO: 58,6

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 7,9

HUMEDAD NATURAL: 54,7

ÍNDICE DE LIQUIDEZ: _____

C_u = _____ C_c = _____

CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 12

A A S H T O : A - 5

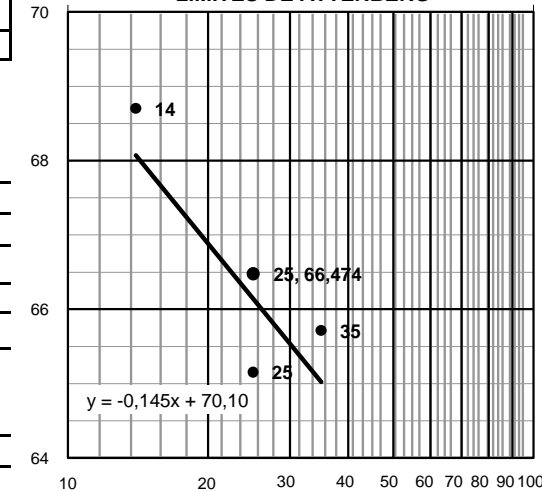
U. S. C. : MH

OBSERVACIONES:

Material : MH Limos misaceos con baja plasticidad

Color: Café pardo claro

LÍMITES DE ATTERBERG





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+094.8

REFERENCIA :

MARGEN : DERECHO

PROFUNDIDAD : 0,41

FECHA : 30-Ene-08

CODIGO :

DIST. EJE : 1.50m

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		116,7		
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	
3"	75	0,0	100,0	
2"	50	0,0	100,0	
1 1/2"	37,5	0,0	100,0	
1"	25	0,0	100,0	
3/4"	19	0,0	100,0	
1/2"	12,5	0,0	100,0	
3/8"	9,5	0,0	100,0	
4	4,75	0,00	0,0	100,0
10	2	0,31	0,3	99,7
40	0,425	2,43	2,1	97,7
100	0,15	10,36	8,9	88,8
200	0,1	6,62	5,7	83,1
-200	0,1	96,97	83,1	0,0

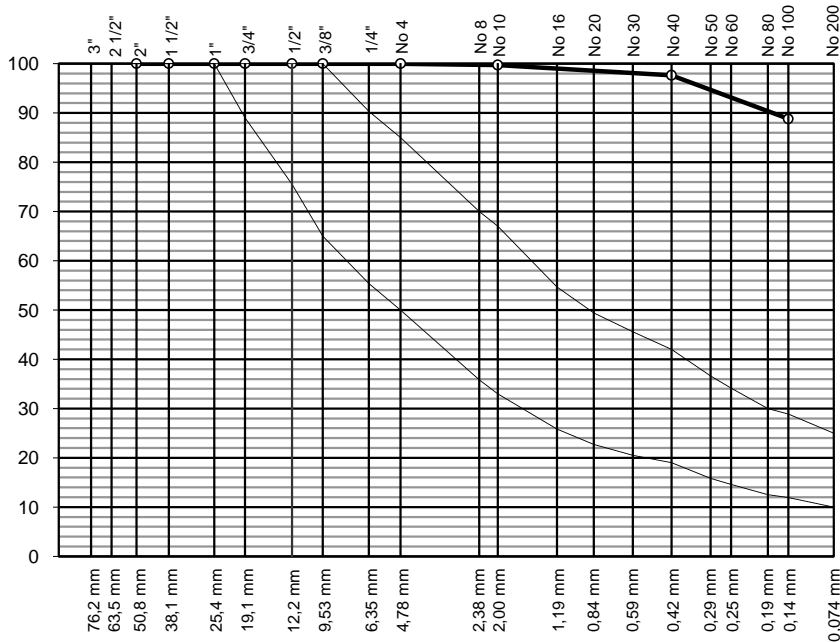
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	14	25	32	
P ₁ (gr)	43,70	38,30	38,80	
P ₂ (gr)	34,50	31,00	31,50	
P ₃ (gr)	18,40	17,60	17,60	
% HUMEDAD	57,1	54,5	52,5	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	27,50	27,30	423,20
P ₂ (gr)	24,50	24,00	256,30
P ₃ (gr)	18,80	17,50	40,00
% HUMEDAD	52,6	50,8	77,2

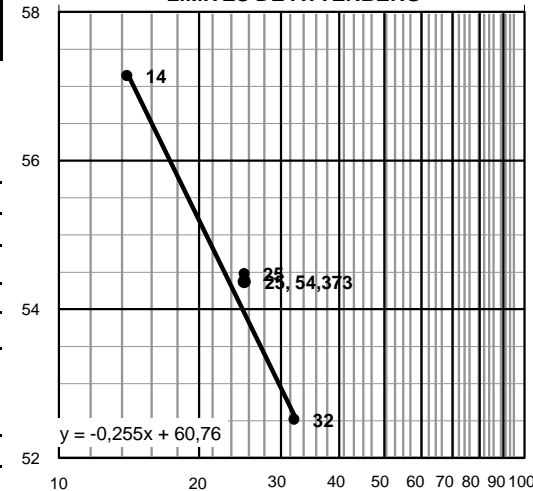


LÍMITE LÍQUIDO: 54,4
LÍMITE PLÁSTICO: 52,6
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 1,7
HUMEDAD NATURAL: 77,2
ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 14,1
C_u = _____ C_c = _____

CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 11
A A S H T O : A - 5
U. S. C. : MH

LÍMITES DE ATTERBERG



OBSERVACIONES:

Material MH Limos Inorganicos ,suelo limo arenoso con particulas finas de mediana consistencia Color :café terracota



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+180

REFERENCIA :

MARGEN : DERECHO

PROFUNDIDAD : 0,76

FECHA : 31/01/2008.

CODIGO :

DIST. EJE : 1,4

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		108,1	
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3"	75	0,0	100,0
2"	50	0,0	100,0
1 1/2"	37,5	0,0	100,0
1"	25	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	100,0
3/8"	9,5	2,8	97,4
4	4,75	3,98	93,8
10	2	2,51	91,4
40	0,425	8,84	83,3
100	0,15	9,66	74,3
200	0,1	4,14	70,5
-200	0,1	76,16	0,0

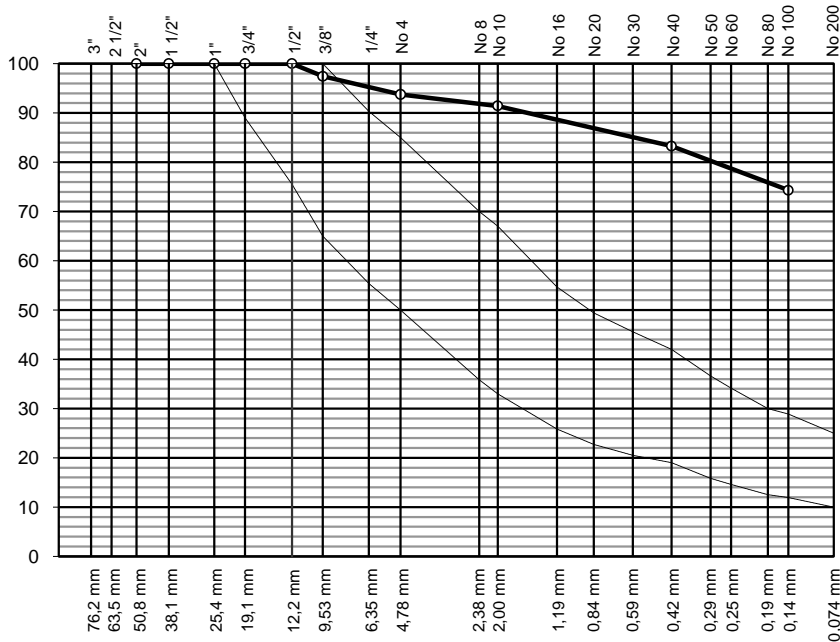
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	13	26	30	
P ₁ (gr)	39,80	41,60	39,50	
P ₂ (gr)	31,20	33,20	31,70	
P ₃ (gr)	17,30	18,50	17,80	
% HUMEDAD	61,9	57,1	56,1	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral			
P ₁ (gr)	24,70	25,70		341,60
P ₂ (gr)	22,70	23,80		245,40
P ₃ (gr)	17,30	18,60		37,00
% HUMEDAD	37,0	36,5		46,2



LÍMITE LÍQUIDO: 57,7
LÍMITE PLÁSTICO: 37,0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 20,6
HUMEDAD NATURAL: 46,2
ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 0,4
C_u = _____ C_c = _____

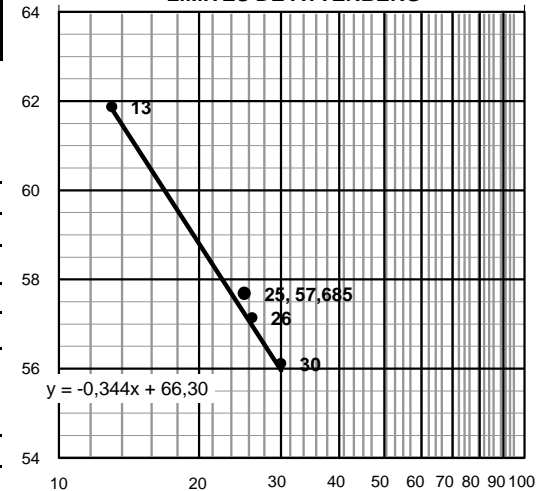
CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 15

A A S H T O : A - 7 - 5

U. S. C. : MH

LÍMITES DE ATTERBERG



OBSERVACIONES:

Material: MH suelos limo arenosos micaseos

Color: amarillo oscuro



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+190

REFERENCIA :

MARGEN : DERECHO

PROFUNDIDAD : 0,67

FECHA : 31-Ene-08

CODIGO :

DIST. EJE : 1.60m

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		115,7		
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	
3"	75	0,0	100,0	
2"	50	0,0	100,0	
1 1/2"	37,5	0,0	100,0	
1"	25	0,0	100,0	
3/4"	19	0,0	100,0	
1/2"	12,5	0,0	100,0	
3/8"	9,5	0,0	100,0	
4	4,75	0,00	0,0	100,0
10	2	0,27	0,2	99,8
40	0,425	7,94	6,9	92,9
100	0,15	11,68	10,1	82,8
200	0,1	4,62	4,0	78,8
-200	0,1	91,16	78,8	0,0

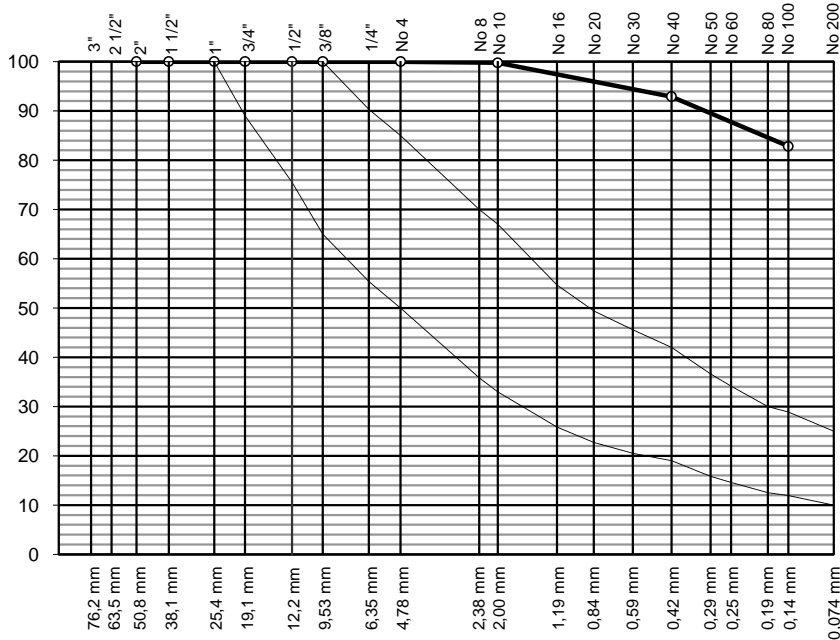
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	13	25	33	
P ₁ (gr)	39,20	42,20	40,80	
P ₂ (gr)	31,40	33,70	32,50	
P ₃ (gr)	17,40	17,60	17,50	
% HUMEDAD	55,7	52,8	55,3	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	25,30	25,30	421,50
P ₂ (gr)	23,20	23,20	295,40
P ₃ (gr)	17,60	17,70	35,00
% HUMEDAD	37,5	38,2	48,4

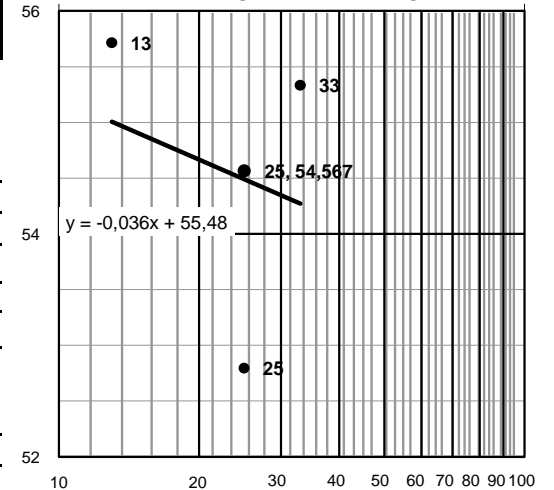


LÍMITE LÍQUIDO: 54,6
LÍMITE PLÁSTICO: 37,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 17,1
HUMEDAD NATURAL: 48,4
ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 0,6
C_u = _____ C_c = _____

CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 14
A A S H T O : A - 7 - 5
U. S. C. : MH

LÍMITES DE ATTERBERG



OBSERVACIONES:

Material: MH suelos limo arenosos micaseos

Color: amarillo oscuro



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+330

REFERENCIA :

MARGEN : DERECHO

PROFUNDIDAD : 0,6

FECHA : 31-Ene-08

CODIGO :

DIST. EJE : 0,8

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		138,3	
TAMIZ No	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3"	75	0,0	100,0
2"	50	0,0	100,0
1 1/2"	37,5	0,0	100,0
1"	25	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,5	99,6
4	4,75	1,08	98,8
10	2	1,91	97,5
40	0,425	2,33	95,8
100	0,15	6,57	91,0
200	0,1	8,45	84,9
-200	0,1	117,43	84,9
		84,9	0,0

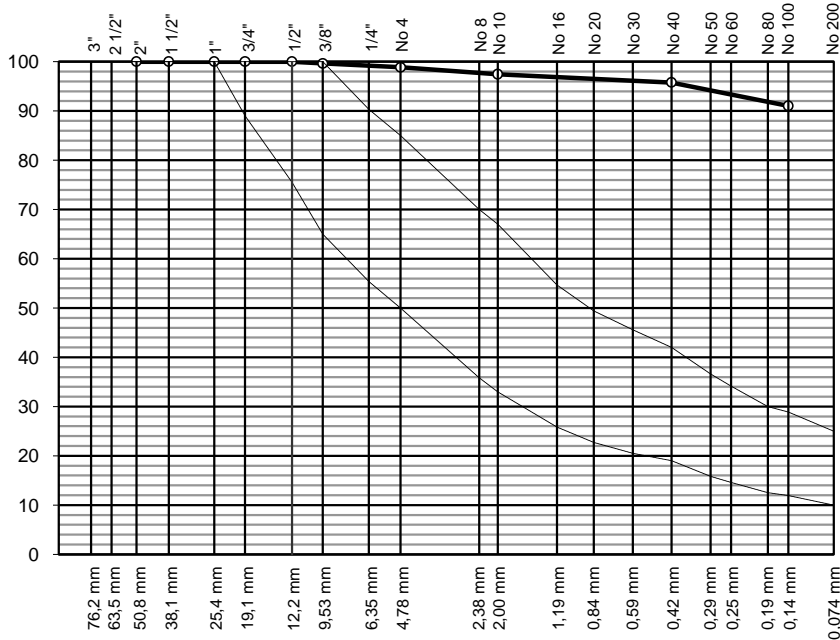
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	11	25	35	
P ₁ (gr)	39,00	37,30	36,50	
P ₂ (gr)	30,10	29,30	28,80	
P ₃ (gr)	18,80	17,50	17,30	
% HUMEDAD	78,8	67,8	67,0	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	25,80	25,00	242,80
P ₂ (gr)	23,80	23,00	151,40
P ₃ (gr)	23,80	23,00	36,80
% HUMEDAD	18,6	17,6	79,8

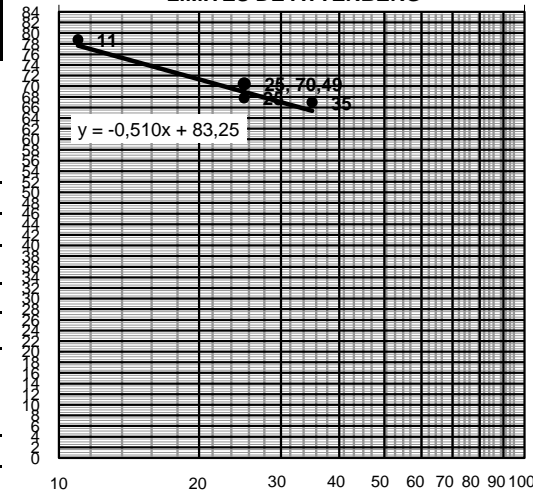


LÍMITE LÍQUIDO: 70,5
LÍMITE PLÁSTICO: 18,6
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 51,9
HUMEDAD NATURAL: 79,8
ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 1,2
C_u = _____ C_c = _____

CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 20
A A S H T O : A - 7 - 6
U. S. C. : CH

LÍMITES DE ATTERBERG



OBSERVACIONES:

Material : CH arcillas inorganicas de alta plasticidad

Color:café cobrizo



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+347.1

REFERENCIA :

MARGEN : IZQUIERDO

PROFUNDIDAD : 0,35

FECHA : 31-Ene-08

CODIGO :

DIST. EJE : 2,4

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		133,5		
TAMIZ		PESO	%	%
No		RETENIDO	RETENIDO	PASA
3"	75		0,0	100,0
2"	50		0,0	100,0
1 1/2"	37,5		0,0	100,0
1"	25		0,0	100,0
3/4"	19		0,0	100,0
1/2"	12,5		0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0
4	4,75	0,22	0,2	99,8
10	2	0,20	0,1	99,7
40	0,425	1,61	1,2	98,5
100	0,15	3,80	2,8	95,6
200	0,1	5,38	4,0	91,6
-200	0,1	122,29	91,6	0,0

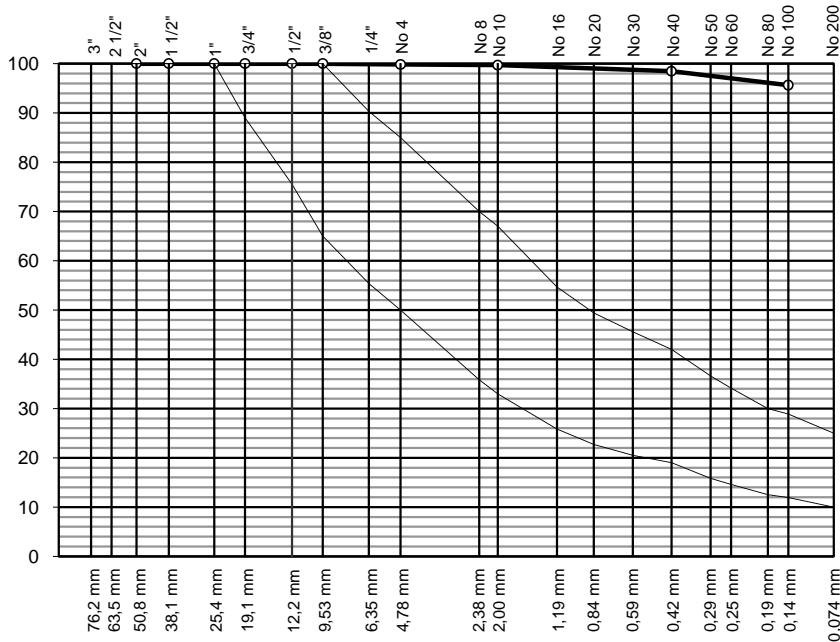
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	10	25	35	
P ₁ (gr)	40,00	40,20	40,30	
P ₂ (gr)	28,60	29,50	29,80	
P ₃ (gr)	17,60	17,70	17,30	
% HUMEDAD	103,6	90,7	84,0	

LÍMITE PLÁSTICO

				w. Nral
P ₁ (gr)	24,10	24,50		305,00
P ₂ (gr)	22,00	22,50		189,40
P ₃ (gr)	17,30	17,70		35,70
% HUMEDAD	44,7	41,7		75,2



Línea - - - INV. 330-02 BG-2

Línea - - - - INV. 320 SBG-1

OBSERVACIONES:

Material: MH limos inorganicos diatomáceos suelos elasticos

Color : café cobrizo

LÍMITE LÍQUIDO: 91,5

LÍMITE PLÁSTICO: 44,7

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 46,8

HUMEDAD NATURAL: 75,2

ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 0,7

$C_u =$ _____ $C_c =$ _____

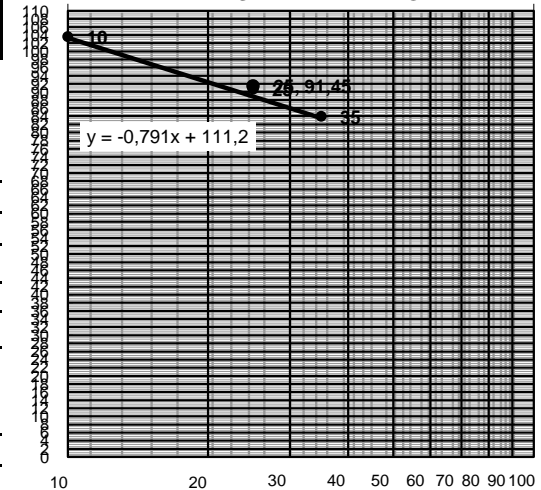
CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 20

A A S H T O : A - 7 - 5

U. S. C. : MH

LÍMITES DE ATTERBERG





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL
Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o
repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1
Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros
en el departamento de Nariño

Interventoría:

CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:

CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO) - NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126

PROYECTO : Pavimentación de la vía Junín - Barbacoas

UBICACIÓN : K 24+348

REFERENCIA :

MARGEN : DERECHO

PROFUNDIDAD : 0,51

FECHA : 01-Feb-08

CODIGO :

DIST. EJE : 1,2

GRADACIÓN

PESO INICIAL (gr) :		99,2		
TAMIZ		PESO	%	%
No		RETENIDO	RETENIDO	PASA
3"	75		0,0	100,0
2"	50		0,0	100,0
1 1/2"	37,5		0,0	100,0
1"	25		0,0	100,0
3/4"	19		0,0	100,0
1/2"	12,5		0,0	100,0
3/8"	9,5		0,0	100,0
4	4,75	0,00	0,0	100,0
10	2	0,18	0,2	99,8
40	0,425	3,33	3,4	96,5
100	0,15	1,86	1,9	94,6
200	0,1	0,85	0,9	93,7
-200	0,1	93,00	93,7	0,0

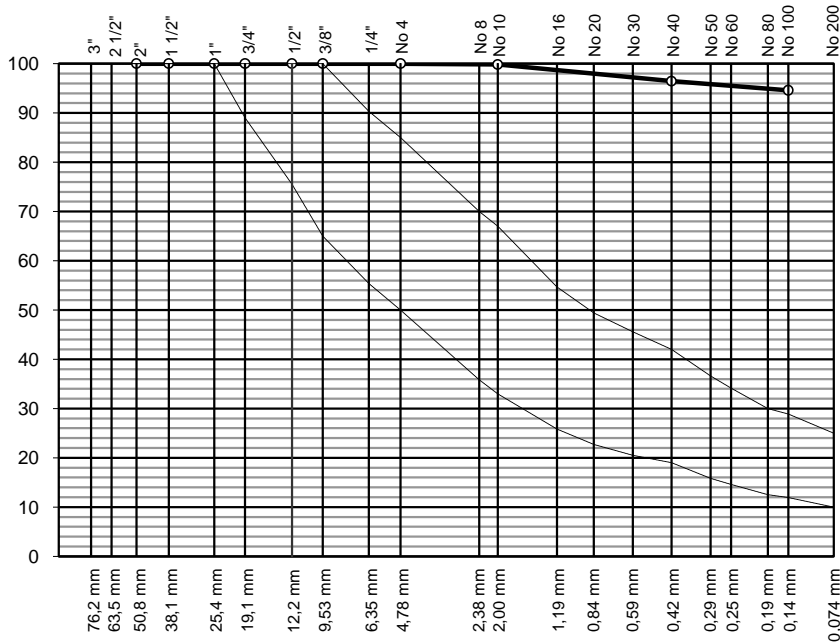
LIMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO

No GOLPES	10	23	35	
P ₁ (gr)	37,40	36,20	39,90	
P ₂ (gr)	29,70	28,90	32,00	
P ₃ (gr)	17,80	17,30	18,50	
% HUMEDAD	64,7	62,9	58,5	

LÍMITE PLÁSTICO

	w. Nral		
P ₁ (gr)	25,80	27,80	496,30
P ₂ (gr)	22,80	24,50	318,40
P ₃ (gr)	17,30	18,60	36,60
% HUMEDAD	54,5	55,9	63,1



Linea --- INV. 330-02 BG-2

Linea ---- INV. 320 SBG-1

OBSERVACIONES:

Material: MH limos inorganicos diatomáceos suelos elasticos

Color : café cobrizo

LÍMITE LÍQUIDO: 61,5

LÍMITE PLÁSTICO: 54,5

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 6,9

HUMEDAD NATURAL: 63,1

ÍNDICE DE LIQUIDEZ: 1,2

C_u = _____ C_c = _____

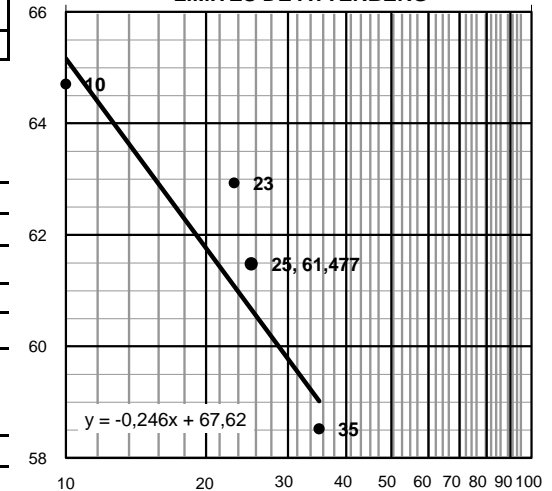
CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: 12

A A S H T O : A - 5

U. S. C. : MH

LÍMITES DE ATTERBERG





PINZUAR
LTDA

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

INFORME DE INSPECCIÓN

No. 5571

Fecha: 2007-07-27

Solicitante: CONSORCIO VIAS 2 500 V CG – 93
Dirección: Calle 15 No. 9 – 20 Barrio Las Lunas
Pasto – Nariño
Instrumento/tipo: Viga Benkelman
Fabricante: Pinzuar Ltda.
Serie: 042
Modelo : PA – 74

Rango de medición 25 mm
Diales división de escala : 0,01 mm
Patrón de calibración Bloques Calibre milímetro
Trazabilidad Certificado No 15442 de la SIC
Método de calibración Comparación directa
Técnico Víctor Alfonso Ballesteros

Brazo A - (brazo largo)

Valor Nominal V mm	Lectura del instrumento			Promedio L (L ₁ +L ₂ +L ₃)/3 mm	Relación de brazo	Incertidumbre U mm	Incertidumbre 2U mm
	L ₁ mm	L ₂ mm	L ₃ mm				
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,006
1,0	0,266	2,272	0,264	0,934	1,071	0,669	1,338
3,0	0,742	0,758	0,752	0,751	3,996	0,005	0,011
5,0	1,258	1,242	1,246	1,249	4,004	0,006	0,011
8,0	2,008	2,002	2,002	2,004	3,992	0,004	0,007
10,0	2,498	2,494	2,506	2,499	4,001	0,005	0,009

Relación 1:4

Relación Promedio Brazo	3,413
-------------------------	-------

Brazo B - (brazo corto)

Valor Nominal V mm	Lectura del instrumento			Promedio L (L ₁ +L ₂ +L ₃)/3 mm	Relación de brazo	Incertidumbre U mm	Incertidumbre 2U mm
	L ₁ mm	L ₂ mm	L ₃ mm				
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,006
1,0	0,265	0,288	0,280	0,278	3,601	0,007	0,015
3,0	0,748	0,755	0,760	0,754	3,977	0,005	0,009
5,0	1,270	1,278	1,272	1,273	3,927	0,004	0,008
8,0	2,050	2,030	2,028	2,036	3,929	0,008	0,015
10,0	2,532	2,532	2,340	2,468	4,052	0,064	0,128

Relación 1:4

Relación Promedio Brazo	3,897
-------------------------	-------

PINZUAR LTDA.


Ing. José Alexander Jaimes

Director Laboratorio de Metrología (e).

(*) Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron. Pinzuar Ltda no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

CALLE 18 N° 103 B - 72 Bogotá D.C. - COLOMBIA
Telefax: 415 7020 - 267 7441 - 418 0984 - 413 03 83

www.pinzuar.com
E-mail: pinzuarltda@etb.net.co
ventas@pinzuar.com



INFORME DE INSPECCIÓN

5 872

2007-12-15


Pág. 1 de 3

Solicitante : JOSE EDMUNDO ROSERO
 Dirección : Carrera 40 A No. 19 A - 14
 Ciudad : Pasto - Nariño
 Instrumento / tipo : Anillo de Carga
 Fabricante : PINZUAR LTDA
 Modelo : PG - 78
 Serie : 10011
 Carga máxima (F₁) : 2 791 kgf
 Ubicación del Instrumento : Laboratorio Pinzuar Ltda.
 Patrón de calibración : Celda de carga
 Trazabilidad : Cert. No. 13445 de SIC
 Método de calibración : Según ASTM E 4 / NTC 3761

TABLA DE RESULTADOS					
Lectura del Dial (Unid. de escala)	Carga aplicada (Lect. del patron)			Promedio F (F ₁ +F ₂ +F ₃) / 3	Error de Repetibilidad b
	F ₁ (kgf)	F ₂ (kgf)	F ₃ (kgf)		
75	285,75	285,75	284,75	285,42	0,35
150	571,46	570,46	569,96	570,63	0,26
225	848,17	846,18	846,68	847,01	0,23
300	1 127,5	1 126,5	1 126,0	1 126,7	0,13
375	1 413,1	1 411,1	1 410,6	1 411,6	0,18
450	1 689,3	1 686,8	1 685,8	1 687,3	0,21
525	1 961,5	1 959,5	1 959,0	1 960,0	0,13
600	2 242,1	2 240,6	2 239,1	2 240,6	0,13
675	2 522,2	2 521,2	2 520,7	2 521,4	0,06
750	2 791,4	2 790,4	2 790,9	2 790,9	0,04

Técnico : Aídee Arteaga

PINZUAR LTDA.


 Ing. José Alexander Jaimes
 Dir. Lab. de Metrología (e).
 PINZUAR LTDA

TRAZABILIDAD: Pinzuar Ltda. asegura y mantiene la trazabilidad de los patrones empleados en esta inspección.

Nota: Este informe es, en su totalidad, el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron. Pinzuar Ltda. no se responsabiliza de los defectos que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento y/o la información contenida en este documento.

INFORME DE CALIBRACIÓN

No. 5872

Tabla de resultados

Pág. 2 de 3

$$\text{Carga (kgf)} = A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3;$$

X = lectura del dial (°)

$$A_0 = 4,1100$$

$$A_1 = 3,7691$$

$$A_2 = -8,80756E-5$$

$$A_3 = 0,00000E+0$$

Desvío estandar del ajuste:

1,34 kgf

Lectura	Carga en kgf									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70						286,4	290,2	293,9	297,7	301,4
80	305,2	309,0	312,7	316,5	320,2	324,0	327,8	331,5	335,3	339,0
90	342,8	346,5	350,3	354,1	357,8	361,6	365,3	369,1	372,8	376,6
100	380,3	384,1	387,9	391,8	395,4	399,1	402,9	406,6	410,4	414,1
110	417,9	421,6	425,4	429,2	432,9	436,7	440,4	444,2	447,9	451,7
120	455,4	459,2	462,9	466,7	470,4	474,2	477,9	481,7	485,4	489,2
130	492,9	496,7	500,4	504,2	508,0	511,7	515,5	519,2	523,0	526,7
140	530,5	534,2	538,0	541,7	545,5	549,2	553,0	556,7	560,4	564,2
150	567,9	571,7	575,4	579,2	582,9	586,7	590,4	594,2	597,9	501,7
160	605,4	609,2	612,9	616,7	620,4	624,2	627,9	631,7	635,4	639,1
170	642,9	646,8	650,4	654,1	657,9	661,6	665,4	669,1	672,9	676,6
180	680,3	684,1	687,8	691,5	695,3	699,1	702,8	706,5	710,3	714,0
190	717,8	721,5	725,3	729,0	732,8	736,5	740,2	744,0	747,7	751,5
200	755,2	759,0	762,7	766,4	770,2	773,9	777,7	781,4	785,1	788,9
210	792,6	796,4	800,1	803,8	807,6	811,3	815,1	818,8	822,5	826,3
220	830,0	833,8	837,5	841,2	845,0	848,7	852,5	856,2	859,9	863,7
230	867,4	871,1	874,9	878,6	882,4	886,1	889,8	893,6	897,3	901,0
240	904,8	908,5	912,3	916,0	919,7	923,5	927,2	930,9	934,7	938,4
250	942,1	945,9	949,6	953,3	957,1	960,8	964,5	968,3	972,0	975,7
260	979,5	983,2	986,9	990,7	994,4	998,1	1 002	1 006	1 009	1 013
270	1 017	1 021	1 024	1 028	1 032	1 035	1 039	1 043	1 047	1 050
280	1 054	1 058	1 062	1 065	1 069	1 073	1 077	1 080	1 084	1 088
290	1 091	1 095	1 099	1 103	1 106	1 110	1 114	1 118	1 121	1 125
300	1 129	1 132	1 136	1 140	1 144	1 147	1 151	1 155	1 159	1 162
310	1 166	1 170	1 173	1 177	1 181	1 185	1 188	1 192	1 196	1 200
320	1 203	1 207	1 211	1 214	1 218	1 222	1 226	1 229	1 233	1 237
330	1 241	1 244	1 248	1 252	1 255	1 259	1 263	1 267	1 270	1 274
340	1 278	1 281	1 285	1 289	1 293	1 296	1 300	1 304	1 308	1 311
350	1 315	1 319	1 322	1 326	1 330	1 334	1 337	1 341	1 345	1 348
360	1 352	1 356	1 360	1 363	1 367	1 371	1 374	1 378	1 382	1 386
370	1 389	1 393	1 397	1 401	1 404	1 408	1 412	1 415	1 419	1 423
380	1 427	1 430	1 434	1 438	1 441	1 445	1 449	1 453	1 456	1 460
390	1 464	1 467	1 471	1 475	1 478	1 482	1 486	1 490	1 493	1 497
400	1 501	1 505	1 508	1 512	1 516	1 519	1 523	1 527	1 531	1 534
410	1 538	1 542	1 545	1 549	1 553	1 557	1 560	1 564	1 568	1 571
420	1 575	1 579	1 583	1 586	1 590	1 594	1 597	1 601	1 605	1 609
430	1 612	1 616	1 620	1 623	1 627	1 631	1 635	1 638	1 642	1 646
440	1 649	1 653	1 657	1 660	1 664	1 668	1 672	1 675	1 679	1 683
450	1 686	1 690	1 694	1 698	1 701	1 705	1 709	1 712	1 716	1 720

fu

Lectura	Carga en kgf									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
460	1 724	1 727	1 731	1 735	1 738	1 742	1 748	1 749	1 753	1 757
470	1 761	1 764	1 768	1 772	1 775	1 779	1 783	1 786	1 790	1 794
480	1 796	1 801	1 805	1 809	1 812	1 816	1 820	1 824	1 827	1 831
490	1 835	1 838	1 842	1 846	1 849	1 853	1 857	1 861	1 864	1 868
500	1 872	1 875	1 879	1 883	1 886	1 890	1 894	1 898	1 901	1 905
510	1 909	1 912	1 916	1 920	1 923	1 927	1 931	1 935	1 938	1 942
520	1 946	1 949	1 953	1 957	1 960	1 964	1 968	1 972	1 975	1 979
530	1 983	1 986	1 990	1 994	1 997	2 001	2 005	2 009	2 012	2 016
540	2 020	2 023	2 027	2 031	2 034	2 038	2 042	2 045	2 049	2 053
550	2 057	2 060	2 064	2 068	2 071	2 075	2 079	2 082	2 086	2 090
560	2 093	2 097	2 101	2 105	2 108	2 112	2 116	2 119	2 123	2 127
570	2 130	2 134	2 138	2 141	2 145	2 149	2 153	2 156	2 160	2 164
580	2 167	2 171	2 175	2 178	2 182	2 186	2 189	2 193	2 197	2 201
590	2 204	2 208	2 212	2 215	2 219	2 223	2 226	2 230	2 234	2 237
600	2 241	2 245	2 248	2 252	2 256	2 260	2 263	2 267	2 271	2 274
610	2 278	2 282	2 285	2 289	2 293	2 296	2 300	2 304	2 307	2 311
620	2 315	2 318	2 322	2 326	2 330	2 333	2 337	2 341	2 344	2 348
630	2 352	2 355	2 359	2 363	2 366	2 370	2 374	2 377	2 381	2 385
640	2 388	2 392	2 396	2 400	2 403	2 407	2 411	2 414	2 418	2 422
650	2 425	2 429	2 433	2 436	2 440	2 444	2 447	2 451	2 455	2 458
660	2 462	2 466	2 469	2 473	2 477	2 480	2 484	2 488	2 492	2 495
670	2 499	2 503	2 506	2 510	2 514	2 517	2 521	2 525	2 528	2 532
680	2 536	2 539	2 543	2 547	2 550	2 554	2 558	2 561	2 565	2 569
690	2 572	2 576	2 580	2 583	2 587	2 591	2 594	2 598	2 602	2 605
700	2 609	2 613	2 616	2 620	2 624	2 628	2 631	2 635	2 639	2 642
710	2 646	2 650	2 653	2 657	2 661	2 664	2 668	2 672	2 675	2 679
720	2 683	2 686	2 690	2 694	2 697	2 701	2 705	2 708	2 712	2 716
730	2 719	2 723	2 727	2 730	2 734	2 738	2 741	2 745	2 749	2 752
740	2 756	2 760	2 763	2 767	2 771	2 774	2 778	2 782	2 785	2 789
750	2 793									


 Ing. José Alexander Jaimes
 Director Laboratorio Metrología (e).

ANEXO D

RECUENTO FOTOGRAFICO

 <p>Universidad de Narino Facultad de Ingeniería Especialización en Ingeniería de Carreteras</p>	<p>Proyecto de grado: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DÉBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL</p> <p>Autores: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA</p>	<p>Colaboración:</p>  <p>INSTITUTO NACIONAL DE VIAS</p>	<p>Obra: Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbaocoas - Junin con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Narino</p> <p>Interventoría: CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93</p> <p>Contratista: CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93</p>
---	---	--	---

RECuento FOTOGRÁFICO

<p>Actividad: CARACTERÍSTICAS EVALUADAS</p> <p>Ubicación: Plantra de trituración - PR 10+500 (1002)</p> <p>Fecha: Julio de 2008</p> <p>Fotografía No: 1</p>	<p>Descripción: Materia granular drenante a evaluar</p> 
<p>Actividad: CARACTERÍSTICAS EVALUADAS</p> <p>Ubicación: Junin - Barbaocoas PR 26+500</p> <p>Fecha: Julio de 2008</p> <p>Fotografía No: 2</p>	<p>Descripción: Ejemplo de subrrasantes débiles de soporte</p> 



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECuento FOTOGRáFICO

Actividad: EQUIPO

Ubicación: Junín - Barbacoas PR 24+300

Fecha:

Fotografía No: 3

Descripción: Equipo Viga Benkelman doble



Actividad: EQUIPO

Ubicación:

Fecha:

Fotografía No: 4

Descripción: Equipo CBR de Campo





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA

Ubicación: Tumaco - Junín, PR 52

Fecha: 22 de enero de 2008

Fotografía No: 5

Descripción: Entrada a la Planta Araki, sitio donde se realizaron la
calibración del equipo de cargue para el ensayo de
Viga Benkelman



Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA

Ubicación: Tumaco - Junín, PR 52

Fecha: 22 de enero de 2008

Fotografía No: 6

Descripción: Báscula para pesar vehiculo de carga





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DÉBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUÉZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA

Ubicación: Tumaco - Junín, PR 52

Fecha: 22 de enero de 2008

Fotografía No: 7

Descripción: Se descarga material para pesar la volqueta vacía con el objeto de utilizar la información en calibración en obra.



Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA

Ubicación: Tumaco - Junín, PR 52

Fecha: 22 de enero de 2008

Fotografía No: 8

Descripción: Pesando cada eje del vehículo de carga.





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUENTO FOTOGRAFICO

Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA

Ubicación: Tumaco - Junín, PR 52

Fecha: 22 de enero de 2008

Fotografía No: 9

Descripción: Cubicación de volqueta para evaluar niveles de material y cargue de volqueta. Considerese que despues de cargar hay que repetir la operación hasta que la balanza indique la carga deseada.



Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA

Ubicación: Tumaco - Junín, PR 52

Fecha: 22 de enero de 2008

Fotografía No: 10

Descripción: Pesando cada eje del vehiculo de carga con el vehiculo cargado





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUÉZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:

Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECuento FOTOGRáFICO

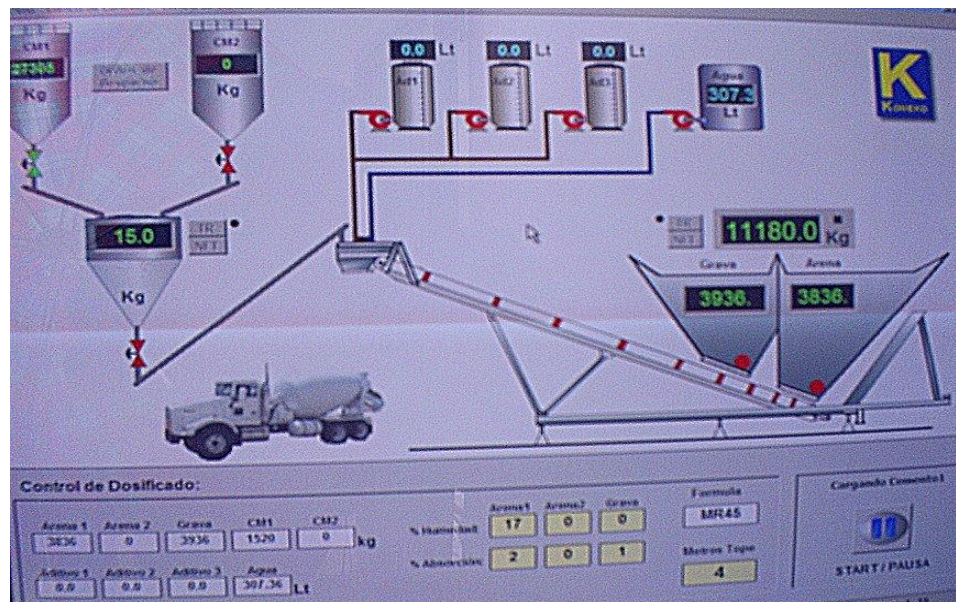
Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 12 (Piedra Verde)
Fecha: 30 de enero de 2008
Fotografía No: 11

Descripción: Calibración equipo de carga con planta dosificadora.
Se aprovecha celdas de carga para unicamente
colocar la cantidad de material necesario para
garantizar la carga calculada



Actividad: CALIBRACION EQUIPO DE CARGA
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 12 (Piedra Verde)
Fecha: 30 de enero de 2008
Fotografía No: 12

Descripción: Pantalla de la dosificadora que muestra los pesos que
contiene las tolvas para entregar el material requerido.





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACION ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACION ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripción: Ensayo de Viga Benkelman

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+076

Fecha: 30 de enero de 2008

Fotografía No: 13



Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripción: Resultado del ensayo de Viga Benkelman

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+076

Fecha: 30 de enero de 2008

Fotografía No: 14





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACION ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACION ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripción: Ensayo de CBR In Situ

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+076

Fecha: 30 de enero de 2008

Fotografía No: 15



Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripción: Ensayo de Penetración Dinámica de Cono PDC

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+076

Fecha: 30 de enero de 2008

Fotografía No: 16





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACION ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACION ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUENTO FOTOGRAFICO

Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripcion: Ensayo de Viga Benkelman

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+076

Fecha: 30 de enero de 2008

Fotografía No: 17



Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripcion: Ensayo de CBR In Situ

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+076

Fecha: 30 de enero de 2008

Fotografía No: 18





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACION ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACION ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripción: Ensayo de Viga Benkelman

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+190

Fecha: 31 de enero de 2008

Fotografía No: 19



Actividad: EVALUACION MODULO RESILIENTE

Descripción: Ensayo de CBR In Situ y ensayo de Penetración
Dinámica de Cono PDC

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+190

Fecha: 31 de enero de 2008

Fotografía No: 20





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECuento FOTOGRáFICO

Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Vista general zona de cajeo. Sitio donde se observó debil el soporte y se requirió despejar el material inicial colocado y remover el material remoldeado para evaluar el espesor requerido

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100

Fecha: 23 de enero de 2008

Fotografía No: 21



Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Ensayo de CBR In Situ

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100

Fecha: 23 de enero de 2008

Fotografía No: 22





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECuento FOTOGRAFICO

Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Ensayo de Penetración Dinámica de Cono PDC

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100

Fecha: 23 de enero de 2008

Fotografía No: 23



Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Remoción de material remodelado de la subrasante y

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100

Fecha: 23 de enero de 2008

Fotografía No: 24





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Extensión del material granular drenante utilizado para
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100
Fecha: 23 de enero de 2008
Fotografía No: 25



Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Compactación del cajeo
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100
Fecha: 23 de enero de 2008
Fotografía No: 26





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Acondicionamiento del ensayo. Obsérvese aplicación de arena de trituración para el apoyo adecuado de la viga.
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100
Fecha: 23 de enero de 2008
Fotografía No: 27



Actividad: CAJEO - EVALUACION ESPESOR REQUERIDO **Descripción:** Ensayo de Viga Benkelman.
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+100
Fecha: 23 de enero de 2008
Fotografía No: 28





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+350

Fecha: 31 de enero de 2008

Fotografía No: 29

Descripción: Vista general inicial del tramo de pruebas para el
ensayo de compactación. PR 24+310 - PR 24+365
(Vista a Junín)



Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+350

Fecha: 31 de enero de 2008

Fotografía No: 30

Descripción: Acondicionamiento del drenaje en el tramo de prueba





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DÉBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93
Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECuento FOTOGRÁFICO

Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+350

Fecha: 01 de febrero de 2008

Fotografía No: 31

Descripción: Material granular drenante utilizado en el tramo de pruebas para el ensayo de compactación.



Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION



Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+350

Fecha: 01 de febrero de 2008

Fotografía No: 32

Descripción: Extension del material granular drenante en el tramo de pruebas .



 <p>Universidad de Nariño Facultad de Ingeniería Especialización en Ingeniería de Carreteras</p>	<p>Proyecto de grado: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DÉBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL</p> <p>Autores: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA</p>	<p>Colaboración:</p>  <p>INSTITUTO NACIONAL DE VIAS</p>	<p>Obra: Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño</p> <p>Interventoría: CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93</p> <p>Contratista: CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93</p>
---	--	--	--

RECuento FOTOGRáFICO

Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+350
Fecha: 01 de febrero de 2008
Fotografía No: 33

Descripción: Compactación inicial, reacomodo de partículas



Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+350
Fecha: 01 de febrero de 2008
Fotografía No: 34

Descripción: Ensayo de Viga Benkelman después del primer ciclo





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DÉBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93
Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECuento FOTOGRAFICO

Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION

Descripción: Compactación posterior

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+310 - PR 24+365

Fecha: 01 de febrero de 2008

Fotografía No: 35



Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION



Descripción: Compactación sobre cajero de zona de subrasante débil

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+310 - PR 24+365

Fecha: 01 de febrero de 2008

Fotografía No: 36

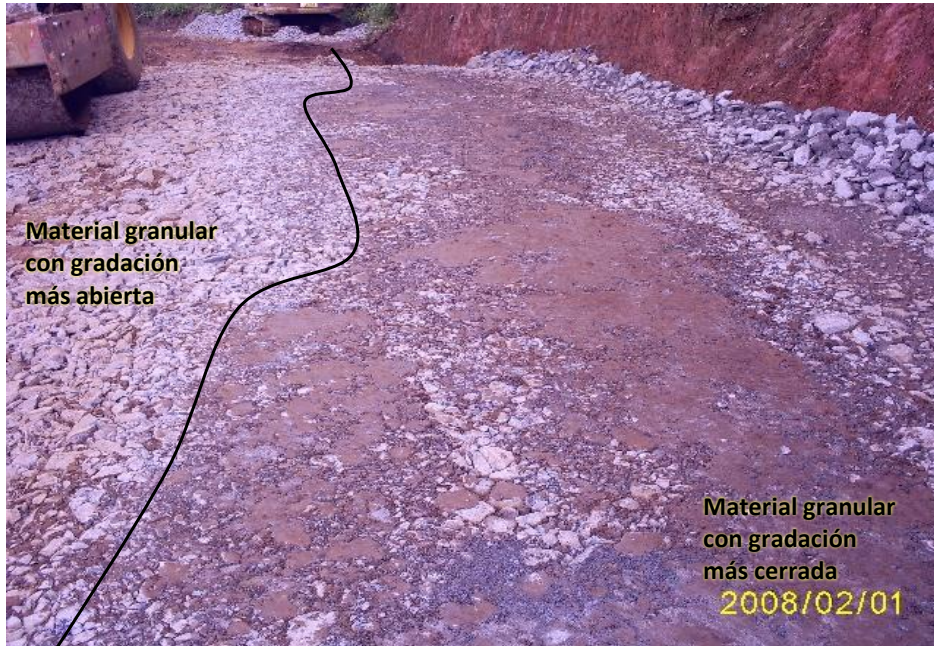


 <p>Universidad de Nariño Facultad de Ingeniería Especialización en Ingeniería de Carreteras</p>	<p>Proyecto de grado: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DÉBILES CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL</p> <p>Autores: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA</p>	<p>Colaboración:</p>  <p>INSTITUTO NACIONAL DE VIAS</p>	<p>Obra: Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25 kilómetros en el departamento de Nariño</p> <p>Interventoría: CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93</p> <p>Contratista: CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93</p>
---	--	--	--

RECUESTO FOTOGRAFICO

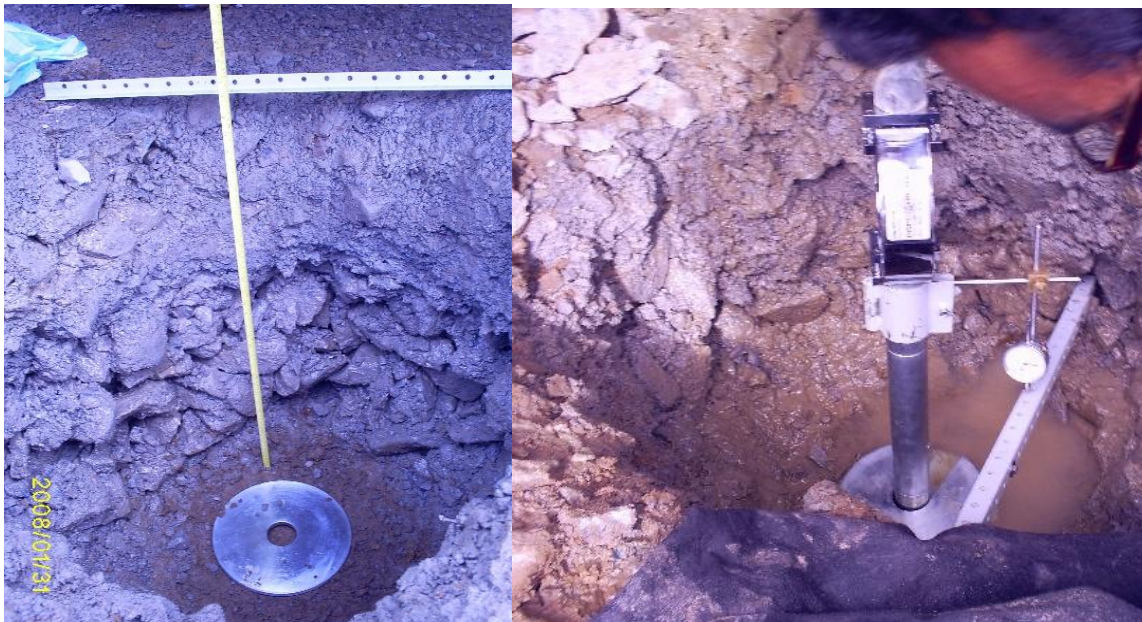
Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+310 - PR 24+365
Fecha: 01 de febrero de 2008
Fotografía No: 37

Descripción: Sector de pruebas en la última compactación. (El sector se encuentra debajo del nivel inferior de la base, se acondicionó para los ensayos)



Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION
Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+310 - PR 24+365
Fecha: 01 de febrero de 2008
Fotografía No: 38

Descripción: Ensayos de CBR In Situ después de las pruebas de viga Benkelman en los sitios de cada punto de control.





Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Carreteras

Proyecto de grado:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES Y
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRRASANTES DEBILES
CON MATERIALES DE GRADACIÓN ESPECIAL

Autores:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
HAROLD FELICIANO TORRES JOJOA

Colaboración:



INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Obra:
Diseño, reconstrucción, pavimentación y/o repavimentación de la
vía grupo 93 en el Tramo 1 Barbacoas - Junín con una longitud de 25
kilómetros en el departamento de Nariño

Interventoría:
CONSORCIO VIAS 2500 VCG-93

Contratista:
CONSORCIO INECON-TE PUCALPA G93

RECUESTO FOTOGRAFICO

Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+310 - PR 24+365

Fecha: 01 de febrero de 2008

Fotografía No: 39

Descripción: Ensayos de Penetración Dinamica de Cono desde
nivel de subrasante natural en los puntos de control



Actividad: ENSAYO DE COMPACTACION

Ubicación: Junín - Barbacoas, PR 24+310 - PR 24+365

Fecha: 01 de febrero de 2008

Fotografía No: 40

Descripción: Toma de muestras para ensayos de CBR de
laboratorio con muestras inalteradas. Obsérvese que
las condiciones del terreno impiden el desarrollo de
ensayo In Situ.

