

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE ESPESORES DE MEJORAMIENTO
DEL SUELO DE LA SUBRASANTE EN LA
CARRETERA LIMA - CANTA”**

**PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
BACH. PECHE ZEGARRA, Edwin Roberto
ASESOR:
Mcs. Ing. WILFREDO FERNÁNDEZ MUÑOZ**

CAJAMARCA - PERU - 2013

DEDICATORIA

A Dios

A Dios. Por iluminar el camino de mi vida.

A Mis Padres, Edilberto y Rosa Nilda

Con eterna gratitud por saber guiarme y apoyarme en todo instante a lo largo de mi vida, al magnánimo sacrificio que hizo posible concretar el anhelo de mi vida, el de ser profesional.

A Esposa Liliana y mi hijo Franco

Quienes con su constante apoyo me acompañaron en la culminación de éste proyecto. Para ellos mi amor, admiración y respeto que siempre permanecerá.

A Mis Hermano, Jhosel, Helbert y Farid

Por su apoyo y cariño que siempre me ha brindado, y quien nunca me permitirá decir que estoy sólo.

AGRADECIMIENTO

A nuestra Alma Mater, la **Universidad Nacional de Cajamarca**, representada en la Facultad de Ingeniería, por acogernos en sus claustros hasta vernos formados profesionales.

Expreso mi profundo y sincero agradecimiento a mi asesor: **MCs. Ing. Wilfredo Fernández Muñoz**, por su desinteresada colaboración y su asistencia permanente para el desarrollo de la presente tesis; al brindarnos su tiempo y aportes basados en su bien lograda experiencia con gran esfuerzo, lo que nos impulsa a seguir su digno ejemplo.

Así mismo hacemos un especial reconocimiento y agradecimiento a cada uno de nuestros profesores que durante nuestros años de estudio nos enseñaron con esmero la esencia de esta hermosa profesión: la **Ingeniería Civil**.

ÍNDICE GENERAL

Título	Página
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	X
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes teóricos de la Investigación.....	1
1.2. Base Teórica.....	2
1.2.1. Estructura de un pavimento flexible, subrasante y sus características.....	2
1.2.2. Estudio de Suelos y Canteras	5
1.2.3. Mejoramiento de Suelos de Subrasante	21
1.2.3.1. Identificación de suelos no aptos para subrasante	22
1.2.3.2. Criterios geotécnicos para realizar mejoramientos	24
A) Suelos de baja capacidad portante (CBR<5%)	25
B) Cambio de rigidez entre la plataforma existente y la explanada en corte a media ladera	26
C) Suelos Expansivos	29
D) Suelos Blandos	30
E) Humedad natural mayor al límite líquido y/o al óptimo contenido de humedad	33
F) Contenido de Materia Orgánica	34
G) Índice de consistencia	35
1.2.4. Datos del expediente técnico	36
1.2.4.1. Perfilado y compactación de subrasante en zona de corte	37
1.2.4.2. Conformación de Terraplenes	37
1.2.4.3. Proceso constructivo de mejoramientos de suelo a nivel de subrasante	37
1.2.4.4. Banquetas para rellenos	37
1.2.4.5. Deflexiones máximas admisibles	37

CAPITULO II. MATERIAL Y MÉTODO.....	39
2.1. Características Locales.....	39
2.2. Material.....	40
2.3. Metodología.....	40
2.3.1. Tipo de Investigación.....	41
2.3.2. Población y Muestra.....	42
2.3.3. Recolección de Datos.....	42
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
3.1. Evaluación de la subrasante antes del mejoramiento.....	43
3.2. Evaluación de la subrasante después del mejoramiento.....	45
3.3. Análisis de resultados de cálculos de espesores de mejoramientos.....	47
3.4. Profundidades de mejoramiento proporcionadas en obra.....	48
3.5. Relación de valores calculados y proporcionados en obra.....	49
CAPITULO IV. CONCLUSIONES.....	50
CAPITULO V. RECOMENDACIONES.....	51
CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CAPITULO VII. ANEXO.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Titulo</u>	<u>Página</u>
Tabla 01. Requisitos de Materiales para Terraplenes.....	5
Tabla 02. Características de materiales según su Índice de Plasticidad.....	8
Tabla 03. Valores de Muestras patrón para ensayo CBR.....	9
Tabla 04. Carga Abrasiva para Maquina de los Ángeles.....	10
Tabla 05. Método de Ensayo de Abrasión.....	10
Tabla 06. Especific. Técnicas de Materiales para Construcción de Carreteras.....	11
Tabla 07. Clasificación AASHTO.....	12
Tabla 08. Clasificación SUCS.....	13
Tabla 09. Corrección de deflexión por condiciones ambientales.....	21
Tabla 10. Calificación del Pavimento según relación (D_c/Δ_{adm}).....	21
Tabla 11. Potencial de Expansión según Índice de Plasticidad.....	29
Tabla 12. Índice de Compresibilidad de Materiales.....	30
Tabla 13. Estado del suelo de acuerdo al índice de consistencia.....	36
Tabla 14. Matriz de operacionalización de Variables.....	42
Tabla 15. Resultados de ensayo de deflectometría Prog. 78+113 a 78+223 (Antes del mejoramiento).....	43
Tabla 16. Resultados de ensayo de deflectometría Prog. 77+785 a 77+825 (Antes del mejoramiento).....	44
Tabla 17. Resultados de ensayo de deflectometría Prog. 78+113 a 78+223 (Después del mejoramiento).....	45
Tabla 18. Resultados de ensayo de deflectometría Prog. 77+785 a 77+825 (Después del mejoramiento).....	46
Tabla 19. Espesor de Mejoramiento por criterio de suelos blandos.....	47
Tabla 20. Espesor de Mejoramiento por criterio de suelo blando.....	48
Tabla 21. Espesor de Mejoramiento de Obra.....	48
Tabla 22. Relación de Espesores de Mejoramiento Calculados y de Obra.....	49
Tabla 23. Diferencia de espesores de mejoramiento.....	50
Tabla 24. Espesores de mejoramiento calculados con el modelo de Boussinesq.....	50
Tabla 25. Tramos analizados.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Titulo	Página
Figura 01. Carta de plasticidad para clasificación de suelos.....	13
Figura 02. Esquema de Viga Benkelman.....	15
Figura 03. Significado cualitativo de los tipos de curva de deflexiones.....	16
Figura 04. Deflectograma Prog. 78+113 a 78+223 (antes de mejoramiento).....	44
Figura 05. Deflectograma Prog. 77+785 a 77+825 (antes de mejoramiento).....	45
Figura 06. Deflectograma Prog. 78+113 a 78+223 (después de mejoramiento).....	46
Figura 07. Deflectograma Prog. 77+785 a 77+825 (después de mejoramiento).....	47

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la relación de los espesores de mejoramiento de suelos de la sub-rasante calculada en relación al tipo de suelos encontrados y los espesores de mejoramientos dados empíricamente en obra, la toma de datos se realizó entre agosto y diciembre del 2011 mediante evaluaciones de campo como ensayo de viga benkelman, exploraciones geotécnicas y ensayos de laboratorio (contenido de Humedad, granulometría, límites de consistencia, ensayo de materia orgánica, CBR, etc.); de los mejoramientos realizados en campo se han tomado 2 tramos para ser analizados en el presente proyecto de los cuales se obtuvo que ambos espesores de mejoramiento no coinciden a los espesores dados empíricamente en obra.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the relationship of the thicknesses of soil improvement of subgrade calculated in relation to the type of soil encountered and improvement thicknesses given empirically in the field of work, data collection was conducted between August and December 2011 through evaluations in field as Benkelman beam testing, geotechnical explorations and laboratory tests (humidity content, grain size, consistency limits, testing of organic material, CBR, etc.) of the improvements made in the field have taken 2 sections to be analyzed in this project which was obtained improvement both thicknesses thicknesses do not match the empirically given work.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores importantes que poco se toma en cuenta en la construcción de las carreteras que se vienen construyendo es la falta de criterio que se toma al momento de hacer mejoramientos de terrenos por presencia de materiales inadecuados a nivel de subrasante, siendo la subrasante la base principal para brindar una buena estabilidad a toda la estructura de una carretera. En la gran mayoría de carreteras se han venido sobredimensionando las alturas de mejoramiento y en otros casos se han dado mejoramientos deficientes generando todo esto un sobre costo.

Con lo expuesto anteriormente se plantea el presente proyecto de investigación el cual se propone determinar espesores de mejoramiento a nivel de subrasante en base a cálculos y compararlos con los espesores proporcionados en obra con las que fueron construidas los mejoramientos, lo que permitirá proponer recomendaciones con el objeto de brindar un mejor criterio para realizar mejoramientos.

Todo esto permitirá dar un espesor de mejoramiento que brinde primordialmente seguridad a toda la estructura del pavimento flexible así como optimizar costos.

OBJETIVOS

A) Objetivos Generales

- Evaluar los espesores de mejoramiento del suelo de la sub-rasante en la carretera lima - canta

B) Objetivos Específicos

- Determinar las deflexiones de la sub-rasante de los tramos estudiados.
- Determinar las presiones verticales.

ANTECEDENTES

Las condiciones que ofrece la movilización de bienes y personas sobre las vías, constituyen uno de los principales aspectos relacionados con la productividad de una ciudad, de una región y de la

misma nación, teniendo como consecuencia las ventajas comparativas que se pueden adquirir frente a otras. Así mismo, el estado de las vías es un parámetro importante relacionado con la calidad de vida de los ciudadanos.

La construcción de las vías terrestres implica el uso de los suelos, pero un uso selectivo, juicioso y en lo posible "Científico". Es Sabido que la ingeniería moderna ha desarrollado ramas cuyos objetivos son precisamente el aprender a manejar de la mejor manera posible, ingenierilmente hablando los suelos y las rocas con las que se construye las vías terrestres.

Las carreteras en nuestro país, juegan un papel importante dentro de la red vial nacional siendo de estas solo un 14% asfaltada y en su gran mayoría se encuentran desatendidas por diversas circunstancias y solo son tenidas en cuenta cuando en un evento se colapsa una troncal o vía principal.

Uno de los factores importantes que poco se toma en cuenta en la construcción de las carreteras que se vienen construyendo es la falta de criterio que se toma al momento de hacer mejoramientos de terrenos por presencia de materiales inadecuados a nivel de subrasante, siendo la subrasante la base principal para brindar una buena estabilidad a toda la estructura de una carretera. En la gran mayoría de carreteras se han venido sobredimensionando las alturas de mejoramiento y en otros casos se han dado mejoramientos deficientes generando todo esto un sobre costo.

El Proyecto: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Lima – Canta" consta con un total aproximado de 80 Km. Durante los trabajos de construcción de la carretera en la conformación de la subrasante se vienen detectando materiales inadecuados de forma visual o en otros casos mediante ensayos de deflectometría (Viga Benkelman) para los cuales se han ordenado mejoramientos en campo con materiales seleccionados provenientes de cortes de talud o canteras, cabe indicar que las alturas de mejoramiento ordenadas en campo son proporcionadas a criterio personal.

Con lo expuesto anteriormente se plantea el presente proyecto de investigación el cual se propone determinar espesores de mejoramiento a nivel de subrasante en base a cálculos y compararlos con los espesores proporcionados en obra con las que fueron construidas los mejoramientos, lo que permitirá proponer recomendaciones con el objeto de brindar un mejor criterio para realizar mejoramientos.

ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

A) ALCANCES

La presente investigación solo aplica a mejoramientos que se realizan con materiales provenientes de cortes de talud o canteras seleccionados convenientemente.

B) LIMITACIONES

La investigación se limitará a analizar los espesores de mejoramiento que se vienen realizando en la carretera Lima – Canta con materiales provenientes de cortes de talud o canteras previamente seleccionados de acuerdo a las especificaciones técnicas.

CARACTERISTICAS LOCALES DE LA ZONA

a) Ubicación

El tramo Lima – Canta de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish se encuentra ubicada en la parte central del país, al Noreste de la ciudad de Lima, une los departamentos de Lima, Junín y Pasco, provincias de Canta, Yauli y Pasco y se desarrolla sobre altitudes que varían entre 527 m.s.n.m. y 1920 m.s.n.m.

Coordenadas UTM:

Punto de Inicio Km. 0+000 (Km.22 - Carabayllo)

N: 8687513.55

E: 280914.24

Punto Final Km. 79+466.82 (Canta)

N: 8731929.29

E: 323068.61

b) Clima

El tramo ubicado dentro de la provincia de Canta tiene un clima templado, seco y caluroso durante el día y con algo de frío durante la noche. La temperatura oscila entre los 13°C y 15°C en invierno, y de 20°C a 22°C durante el resto del año. En Canta la temporada de lluvias se inicia en diciembre y perdura hasta principios de abril. El promedio de precipitación pluvial anual es de 465mm.

c) Fisiografía

En el área de estudio, se han determinado las geoformas que predominan, las cuales son el resultado de la interacción de factores tectónicos, orogénicos, litológicos, procesos erosivos y climáticos, lo que ha permitido identificar tres grandes paisajes; Planicie, Colinoso y Montañoso, divididos en unidades más pequeñas y homogéneas como los paisajes y sub paisajes, compuestos por materiales aluviales, coluvio – aluviales y materiales sedimentarios del Terciario y del Cretáceo.

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

La carencia de información sobre la determinación de espesores de mejoramiento que se deberían dar en obra en base los materiales encontrados trae consigo que se determine espesores excesivos lo cual perjudican en los presupuestos de una obra.

Consecuentemente, existe la necesidad de contar con la información necesaria y confiable para determinar criterios adecuados para evaluar mejoramientos y brindar espesores de mejoramiento reales para de esta manera optimizar costos.

Estas informaciones serán de utilidad al momento de evaluar mejoramiento tanto para proyectistas, supervisores y contratistas. La presente investigación permitirá contar con elementos de juicio para plantear criterios de mejoramiento más acertados en las diferentes obras viales que se tenga que ejecutar, de esta manera optimizar costos y brindar mayor estabilidad a la estructura de la carretera.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

El suelo en un sitio de construcción no será siempre totalmente adecuado para soportar estructuras como edificios, puentes, carreteras y presas. Por ejemplo, en depósitos de suelos granulares el suelo *in situ* tal vez esté muy suelto e indique un gran asentamiento elástico. En tal caso, tiene que ser densificado para incrementar su peso específico así como su resistencia cortante.

Algunas veces, las capas superiores del suelo no son adecuadas y deben retirarse y reemplazarse con mejor material sobre el cual pueda construirse una cimentación estructural. El suelo usado como relleno debe estar bien compactado para soportar la carga estructural deseada. Los rellenos compactados también se requieren en área de poca altura para elevar el terreno donde se construirá una cimentación.

Estratos de arcilla blanda saturada a menudo se encuentran a poca profundidad debajo de las cimentaciones. Dependiendo de la carga estructural y de la profundidad de los estratos de arcilla, ocurren grandes asentamientos por consolidación, requiriendo entonces procedimientos especiales de mejoramiento del suelo para minimizar los asentamientos.

Varios procedimientos para el mejoramiento del suelo se usan para:

- Reducir asentamientos de las estructuras.
- Mejorar la resistencia cortante del suelo e incrementar así la capacidad de carga de la cimentación superficial.
- Incrementar el factor de seguridad contra posibles fallas de los taludes de riberas y presas de tierra.
- Reducir la contracción y expansión de suelos.

(Braja M. Das, 1985)

Mejoramiento del Terreno de Cimentación

No se repetirá bastante que el terreno de cimentación suele ser suficientemente bueno, tanto en los que se refiere a resistencia como a compresibilidad, para soportar a las vías terrestres en condiciones normales, pues las presiones a él comunicadas son relativamente bajas y la

estructura del terraplén se suele adaptar muy bien a pequeños movimientos que puedan producirse.

Los principales métodos que se han seguido para mejorar las condiciones del terreno natural, ya sea en lo referente a resistencia o a compresibilidad son los siguientes.

1. El uso de materiales ligeros.
2. La sobre evaluación de la rasante
3. Construcción previa de terraplenes
4. El uso de drenes verticales de arena
5. La compensación total o parcial de la carga del terraplén
6. La remoción del material compresible
7. Tratamiento físico – químico del terreno compresible
8. Calcinación del suelo
9. Colocación de entramados de ramas, palmas y otros materiales similares
10. La colocación de bermas o el uso de taludes muy tendidos
11. Escalonamiento de laderas naturales
12. Construcción de rellenos sobre apoyo irregular en roca
13. Compactación
14. Anclaje de bloques de roca fracturada.
15. Relleno de grietas

(Alfonso Rico Rodríguez, 1984)

1.2. BASE TEÓRICA

En este acápite se analiza y desarrolla de manera conceptual y práctica las necesidades de mejoramiento de materiales. Para este fin es necesario, teniendo en cuenta que normalmente se especifica efectuar mejoramiento en suelos orgánicos, suelos blandos e inadecuados, revisar inicialmente la parte conceptual lo que se efectúa a continuación:

1.2.1. Estructura de un pavimento flexible, subrasante y sus características

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas vehiculares provocadas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe de

funcionar eficientemente, además de ser cómoda para el usuario. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico derivado de un diseño, ya que cuando se determinan los espesores de las capas, el objetivo es darle el espesor mínimo aceptable que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no sólo dependerá del material que las constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo, siendo dos factores importantes la compactación y la humedad.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida útil de entre diez y quince años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para poder cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente, de la sub rasante, la sub base, la base, y la carpeta de rodadura o carpeta asfáltica.

(Céspedes, J. 2001)

a) Sub-rasante

- Definición de sub-rasante

La sub-rasante es la capa de terreno natural de una carretera, que soporta la estructura del pavimento, se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto. De su capacidad soporte depende el espesor que debe de tener toda la estructura del pavimento. Es considerada como la cimentación del pavimento.

(Céspedes, J. 2001)

- Características principales de la sub-rasante

La principal función de la sub-rasante, es soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas de tránsito provenientes de las capas superiores del pavimento, de manera que el terreno natural sea capaz de soportarlas.

Si el terreno de la sub rasante es malo, por ejemplo: tiene un alto contenido de materia orgánica, constituido por materias vegetales parcialmente carbonizadas o fangosas, generalmente de una textura fibrosa, de color café oscuro o negro, y/o basuras o impurezas que puedan ser perjudiciales para la cimentación de las estructura del pavimento, debe de desecharse este material y sustituirse por otro de mejor calidad.

De igual manera si el terreno de la sub rasante está formado por un suelo fino, limoso o arcilloso, susceptible de saturación, deberá de colocarse una capa de sub base de material granular seleccionado antes de proceder con el tendido de las capas superiores.

Si el terreno está formado por un suelo bien graduado que no ofrezca peligro de saturación, o bien formado por un material de granulometría gruesa, existe la posibilidad que no se requiera de una capa de sub base.

Por último, si el terreno tiene un valor soporte elevado y no existe la posibilidad de saturación de agua, no existiría la necesidad de conformar una estructura de pavimento como tal, omitiendo la colocación de la sub base y la base, colocando únicamente la carpeta de rodadura.

Ya que la sub rasante es considerada como la cimentación del pavimento, una mejor calidad de materiales con los que se cuente en esta capa, ayudará a la reducción de las capas de la estructura del pavimento, logrando así un ahorro en los costos de construcción sin disminuir la calidad y vida útil de la misma.

(Céspedes, J. 2001)

- Materiales adecuados para sub-rasante mejorada

Todos los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán provenir de las excavaciones de las explanaciones, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; deberán estar libres de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales. Su empleo deberá ser autorizado por el supervisor, quien de ninguna manera permitirá la construcción de terraplenes con materiales de características expansivas.

Si por algún motivo sólo existen en la zona material expansivos, se deberá proceder a estabilizarlos antes de colocarlos en la obra. Las estabilizaciones serán definidas previamente en el Expediente Técnico.

Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán cumplir los requisitos indicados en la Tabla N°01.

Tabla 01. Requisitos de materiales para Terraplenes

Condiciones	Parte del terraplén		
	Base	Cuerpo	Corona
Tamaño máximo	150 mm	100 mm	75 mm
% Máximo de Piedra	30%	30%	
Índice de Plasticidad	< 11%	< 11%	< 10%

FUENTE: (Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 – Tabla 205-01)

Además deberá satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- ✓ Desgaste de los Ángeles : 60% máx. (MTC E 207)
- ✓ Tipo de Material : A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3.

1.2.2. ESTUDIO DE SUELOS Y CANTERAS

1.2.2.1. GENERALIDADES:

Las obras de Ingeniería Civil están íntimamente ligadas con los suelos; ya sea para emplearlos como terreno de fundación y/o como material de construcción; y como sabemos, estos suelos están distribuidos en estratos verticales y horizontales con propiedades muy singulares que hacen variar las cualidades de dicho suelo y por consiguiente los hacen buenos o malos para el uso que se les pretenda dar. (Wihem, P. 1996)

1.2.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO.

A. Ensayos generales. Nos permiten determinar las principales características de los suelos, para poder clasificarlos e identificarlos adecuadamente. Son los siguientes:

a. Contenido de Humedad (W%).

Se define como la relación del peso del agua entre el peso de los sólidos de un suelo. (Polanco, A. 2004)

Generalmente se expresa en porcentaje y se calcula con la siguiente fórmula:

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100 \quad \dots \quad (EC. - 10)$$

Dónde:

$$W_w = W_h - W_s;$$

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad \dots \quad (EC. - 11)$$

Dónde:

Wh : Peso del suelo húmedo (gr.)

Ws : Peso del suelo seco (gr.)

Ww : Peso del agua contenida en la muestra de suelo (gr.)

b. Peso Específico.

El peso específico de un suelo se define como la relación que existe entre el peso de los sólidos y el peso del volumen del agua desalojada por los mismos. (Polanco, A. 2004).

$$G = \frac{100}{\frac{\%Pasante\ del\ N^{\circ}4}{G_s} + \frac{\%Retenido\ en\ el\ N^{\circ}4}{G_a}} \quad \dots \quad (EC. - 12)$$

- Para partículas menores a 4.75 mm (Tamiz N° 4) (MTC E 113 - 2000 basado en las Normas ASTM-D-854 y AASHTO-T-100), comprende a los Limos y Arcillas, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{W_o}{W_o + W_2 - W_1} \quad \dots \dots \quad (EC. - 13)$$

Dónde:

W2: Peso del picnómetro + agua (gr).

Wo: Peso del suelo seco (gr).

W1: Peso del picnómetro + agua + suelo (gr).

- Para partículas mayores a 4.75 mm (Tamiz N° 4) (MTC E 206 - 2000, basado en las Normas ASTM-C-127 y AASHTO-T-85). Comprende a las Gravas.

$$G_a = \frac{A}{A - C} \quad \dots \dots \quad (EC. - 14)$$

Dónde:

A: Peso en el aire de la muestra seca en gramos.

C: Peso sumergido en agua de la muestra saturada, en gramos.

c. Análisis Granulométrico.

Llamado también Análisis Mecánico y consistente en la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño, pudiendo obtener así los porcentajes de piedra, grava, arena, limos y arcilla. Este análisis se hace por un proceso de tamizado (análisis con tamices) en suelos de grano grueso, y por un proceso de sedimentación en agua (análisis granulométrico por vía húmeda) en suelos de grano fino. (Polanco, A. 2004)

Como una medida simple de la uniformidad de un suelo, se tiene el coeficiente de uniformidad (Cu).

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots (EC. - 15)$$

Dónde:

D60: Tamaño tal, que el 60% en peso del suelo sea igual o menor.

D10: Llamado diámetro efectivo, es tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.

Adicionalmente para definir la gradación, se define el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})} \dots\dots\dots (EC. - 16)$$

El coeficiente de curvatura tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien gradados.

d. Límites de Consistencia

Límite Líquido (LL): Es la frontera comprendida entre los estados semilíquido y plástico, definiéndose como el contenido de humedad que requiere un suelo previamente remoldeado, en el que al darle una forma trapezoidal sus taludes fallen simultáneamente, cerrándose la ranura longitudinalmente 13mm., sin resbalar sus apoyos, al sufrir el impacto de 25 golpes consecutivos, con una frecuencia de 2 golpes por segundo, en la

Copa de Casagrande, teniendo una altura de caída de 1cm. (Polanco, A. 2004).

Límite Plástico (LP): Es la frontera comprendida entre el estado plástico y semisólido. Se define como el contenido de humedad que posee un cilindro de material en estudio de 11cm. de longitud y 3.2mm. de diámetro (formado al girarlo o al rolarlo con la palma de la mano sobre una superficie lisa) al presentar agrietamiento en su estructura. (Polanco, A. 2004).

Índice de Plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP \quad \dots\dots\dots (EC. - 17)$$

El Reglamento Nacional de edificaciones recomienda lo siguiente:

IP < 20 corresponde generalmente a limos.

IP > 20 corresponde generalmente a arcillas.

Tabla 02. Características de suelos según sus índices de plasticidad

IP	CARACTERÍSTICAS	TIPOS DE SUELOS	COHESIVIDAD
0	No plástico	Arenoso	No cohesivo
< 7	Baja plasticidad	Limoso	Parcialmente cohesivo
7 - 17	Plasticidad media	Arcillo- limoso	Cohesivo
> 17	Altamente plástico	Arcilla	Cohesivo

FUENTE: (Reglamento Nacional de Edificaciones. 2006)

B. Ensayos de Control o Inspección. Se efectúan para asegurar una buena compactación y los resultados son de mucha utilidad para evaluar la resistencia del suelo, dentro de estos se tienen:

(Rodríguez y Castillo, 1973).

Ensayo de compactación proctor modificado: humedad óptima y densidad máxima.

La densidad seca se determina a partir de la densidad húmeda con la siguiente fórmula:

$$D_s = \frac{D_h}{(100 + W\%)} * 100 \quad \dots\dots\dots (EC. - 18)$$

Dónde:

Ds: Densidad seca.

Dh: Densidad húmeda.

W%: Contenido de humedad.

C. ENSAYOS DE RESISTENCIA

Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)

El índice de CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas.

$$C.B.R. = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} * 100 \quad \dots (EC. - 19)$$

Para determinar el CBR de un suelo se realizan los siguientes ensayos:

- Compactación para CBR.
- Determinación de las propiedades de expansión del material (hinchamiento).
- Determinación de la resistencia a la penetración.

Tabla 03. Valores de Muestra Patrón para Ensayo CBR

UNIDADES METRICAS		UNIDADES INGLESAS	
Penetración (mm)	Carga unitaria (Kg/cm ²)	Penetración (pulg)	Carga unitaria (lbs/pulg ²)
2.54	70.31	0.10	1000
5.08	105.46	0.20	1500
7.62	133.58	0.30	1900
10.16	161.71	0.40	2500
12.70	182.80	0.50	2600

FUENTE: (Wihem, P. 1996).

Ensayo de desgaste por abrasión. (Para muestras de Cantera)

Este método operativo está basado en las Normas ASTM-C-131, AASHTO-T-96 Y ASTM-C-535, utilizando la Máquina de los Ángeles y consiste en determinar el desgaste por Abrasión del agregado grueso, previa selección del material a emplear por medio de un juego de tamices aprobados.

$$D(\%) = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100 \dots\dots (\text{EC.} - 20)$$

Dónde:

Peso inicial: peso de la muestra lavada y secada al horno, antes del ensayo.

Peso final: peso de la muestra que queda retenida en la malla N° 12 después del ensayo.

Tabla 04. Carga abrasiva para máquina de los ángulos

GRANULOMETRÍA	N° DE ESFERAS	PESO DE CARGA (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

FUENTE: (Manual de Ensayos de Laboratorio EM 2000 V-I (MTC)).

Tabla 05. Métodos de ensayo de Abrasión

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (gr)			
Malla	(mm)	Malla	(mm)	A	B	C	D
1 ½"	37.5	1"	- 25.0	1250 ± 25			
1"	25.0	¾"	-19.0	1250 ± 25			
¾"	19.0	½"	- 12.5	1250 ± 10			
½"	12.0	3/8"	- 9.5	1250 ± 10			
3/8"	9.5	¼"	- 6.3		2500 ± 10	2500 ± 10	
1 ¼"	6.3	N° 4	- 4.75		2500 ± 10	2500 ± 10	
N° 4	4.75	N° 8	- 2.36				5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

FUENTE: (Manual de Ensayos de Laboratorio EM 2000 V-I (MTC)).

Tabla 06. Especificaciones Técnicas para Materiales Empleados en Construcción de Carreteras

ENSAYO	Afirmado	Sub Base Granular		Base Granular			
		<3000 msnm	>3000 msnm	<3000 msnm		>3000 msnm	
				Agregado grueso	Agregado fino	Agregado grueso	Agregado fino
Límite Líquido (%) ASTM D-4318	35% máx.	25% máx.	25% máx.				
Índice Plástico (%)	4 a 9	6% máx	4% máx		4% máx		2% máx
Abrasión (%) ASTM C-131	50% máx	50% máx	50% máx	40% máx		40% máx	
Equivalente de arena (%) ASTM D-2419	20% mín	25% mín	35% mín		35% mín		45% mín
CBR al 100% de la M.D.S. y 0.1" de penetración ASTM D-	40% mín	40% mín	40% mín				
Pérdida con Sulfato de						12% máx	
Pérdida con Sulfato de Magnesio (%)						18% máx	
Índice de Durabilidad					35% mín		35% mín
Caras de fractura (%) 1 cara fracturada				80% mín 40% mín		80% mín	
Partículas chatas y alargadas (%) Relación 1/3		20% máx	20% máx	15% máx		15% máx	
Sales Solubles Totales (%)		1% máx	1% máx	0.5% máx	0.5% máx	0.5% máx	0.5% máx
Contenido de impurezas orgánicas (%)							

FUENTE: (Minaya, S. y Ordóñez, A. 2001)

1.2.2.3. CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS.

a. Sistema AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte).

Este método, divide a los suelos en dos grandes grupos: Una formada por los suelos granulares y otra constituida por los suelos de granulometría fina. Y estos a su vez son clasificados en sub grupos, basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad. (Mora, S. 1988).

Tabla 07. Clasificación AASHTO

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N°200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 10 N° 40 N° 200	50máx 30máx 15máx	51máx 25máx	51mín 10máx	35máx	35máx	35máx	35má	36mín	35mín	36mín	36mín
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40 Limite Líquido, W _L Índice Plástico, I _P	6 máx.		NP	40máx 10máx	41mín. 10máx	40máx 11mín	41mí 11mí	40má 10má	41mín 10má	40má 11mín	41mín 11mín
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8máx.	12má	16má	20má

FUENTE: (Mora, S. 1988)

b. Sistema SUCS (Clasificación Unificada de Suelos).

Este sistema, como la clasificación anterior, divide a los suelos en dos grandes grupos: granulares y finos. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas se retienen en el tamiz # 200, y finos, si más de la mitad de sus partículas, pasa el tamiz # 200.

Tabla 08. Clasificación SUCS

CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO				CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO									
FINOS $\geq 50\%$ pasa Malla # 200 (0.08 mm.)				GRUESOS $< 50\%$ pasa Malla # 200 (0.08 mm.)									
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq.	Índice de Plasticidad * IP	Tipo de Suelo	Símbolo	% RET Malla Nº 4	% Pasa Malla Nº 200	CU	CC	** IP			
Limos Inorgánicos	ML	< 50	$< 0.73 (w_l - 20)$ $\delta < 4$	Gravas	GW	$> 50\%$ de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	$1 \text{ a } 3$	$< 0.73 (w_l - 20) \delta < 4$			
	MH	> 50	$< 0.73 (w_l - 20)$		≤ 6			$< 16 > 3$					
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	$> 0.73 (w_l - 20)$ $\gamma > 7$		GM			> 12	> 12				$> 0.73 (w_l - 20) \delta > 7$
	CH	> 50	$> 0.73 (w_l - 20)$		GC								
Limos o Arcillas Orgánicas	OL	< 50	** w_l seco al horno $\leq 75\%$ del w_l seco al aire	Arenas	SW	$< 50\%$ de lo Ret. En 0.08 mm	< 5	> 6	$1 \text{ a } 3$	$< 0.73 (w_l - 20) \delta < 4$			
	OH	> 50			SP			≤ 6	$< 16 > 3$				
Alumina Orgánicas	P ₁	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.			SM			> 12	> 12				$> 0.73 (w_l - 20) \gamma > 7$
					SC								
				* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.									
				** Si $IP \geq 0.73 (w_l - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 e $IP > 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.									
Si $IP \geq 0.73 (w_l - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 E $IP > 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH				En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica									
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w_l seco al horno				☒ GW-GM en vez de GW-GC.									
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica ☒ CH-MH en vez de CL-ML.				$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$			$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$						
Si $w_l = 50$; CL-CH ó ML-MH													

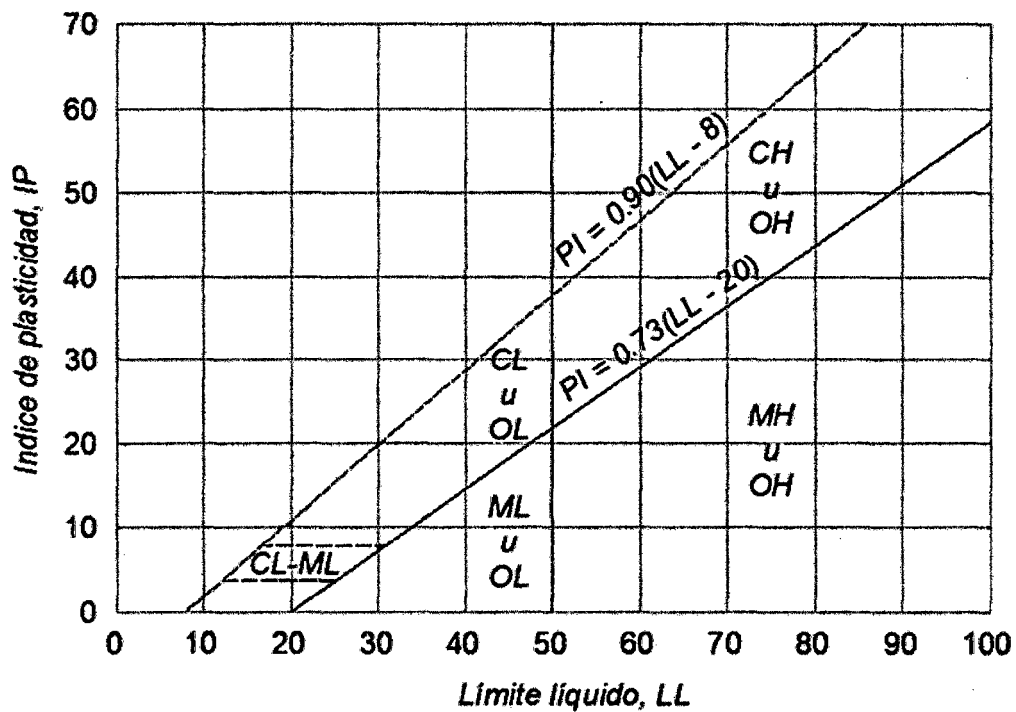


Figura 01. Carta de plasticidad para Clasificación de Suelos

1.2.2.4. ESTUDIO Y UBICACIÓN DE CANTERAS

Las canteras son lugares donde la roca se separa de sus lechos naturales y se prepara para su utilización en construcciones. (Wihem, P. 1996)

A. Estudio.

Los puntos básicos en el estudio de una cantera, que luego regularan su explotación, son:

- a. Calidad.
- b. Cubicación.
- c. Economía.
- d. Impacto Ambiental.

B. Ubicación.

Para la ubicación de canteras se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ❖ Fácil accesibilidad y que se puedan explotar por los procedimientos más eficientes y menos costosos.
- ❖ Distancias mínimas de acarreo de los materiales a la obra.
- ❖ Su explotación no conduzca a problemas legales de difícil o lenta solución y que no perjudiquen a los habitantes de la región.

1.2.2.5. ENSAYOS DE CAMPO

A. Viga Benkelman

La Viga Benkelman es un equipo que fue desarrollado durante el ensayo de la "Western Association of State Highway Organizations" (WASHO) en 1952. Se trata de un dispositivo bastante simple, que funciona aplicando la conocida "regla de la palanca" (Nazzari, 2003). Este método se puede considerar simple y económico y su principio de aplicación es ampliamente conocido y consiste en medir el desplazamiento vertical del pavimento ante la aplicación de una carga estática o de lenta aplicación (Goel & Das, 2008).

Este equipo se usa junto con un camión cargado; el ensayo se realiza colocando el extremo de la viga entre las dos ruedas gemelas del camión, midiendo la recuperación

vertical de la superficie del pavimento cuando el camión avanza y se retira. (Crespo del Rio & Bardasano, 2004).

Según se esquematiza en la figura N°02, la Viga Benkelman consta esencialmente de dos partes:

- ✓ Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B")
- ✓ Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E")

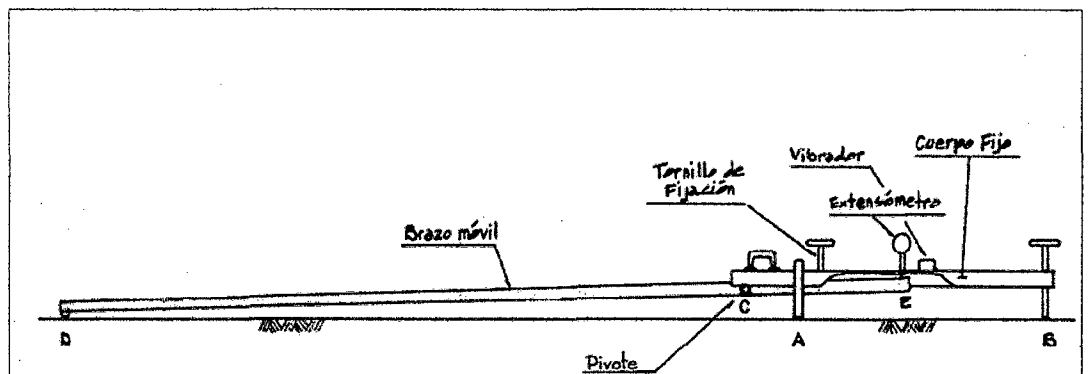


Figura 02. Esquema de Viga Benkelman

Fuente: (Hoffman Mario & Del Águila Pablo; 1985.)

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

Su principio de aplicación vertical del pavimento ante la aplicación de una carga estática o de lenta aplicación.

El ensayo entrega como resultados la medida de las deflexiones bajo el centro de rueda doble de un eje sencillo de 8,2 Ton. Y a 25,0 cm de este punto sobre la línea de avance del vehículo (D_0 y D_{25} respectivamente), además permite determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufre las capas asfálticas al flexionar bajo la acción de las cargas de tránsito (Varela, 2002).

Si la deflexión es alta implica que la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y lo contrario, si la deflexión es baja quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad estructural (Higuera, 2007).

Se hace indispensable relacionar las deflexiones con las curvas medidas para una mejor comprensión del comportamiento del pavimento, es por esto que dicha relación se resume en cuatro tipos de curvas de deflexiones con su significado cualitativo, como se muestra en la figura N°03.



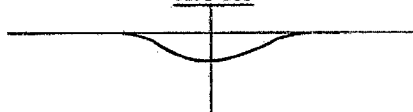
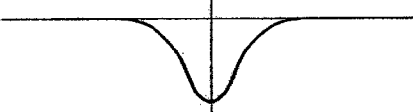
<u>D₀</u>	<u>L_R</u>		<u>CURVA MEDIDA</u>	<u>PAVIMENTO EVALUADO</u>
Bajo	Alto	<p style="text-align: center;"><u>TIPO I</u></p> 	Curva Extensa Poco Profunda	Buen Pavimento Buena Subrasante
Alto	Alto	<p style="text-align: center;"><u>TIPO II</u></p> 	Curva Extensa Profunda	Buen Pavimento Mala Subrasante
Bajo	Bajo	<p style="text-align: center;"><u>TIPO III</u></p> 	Curva Corta Poco Profunda	Mal Pavimento Buena Subrasante
Alto	Bajo	<p style="text-align: center;"><u>TIPO IV</u></p> 	Curva Corta Profunda	Mal Pavimento Mala Subrasante

Figura 03. Significado cualitativo de los tipos de curva de deflexiones

Fuente: (Hoffman Mario & Del Águila Pablo; 1985).

Se advierte que el conocimiento de las deflexiones constituye un elemento de juicio necesario pero no suficiente para evaluar los pavimentos flexibles de servicio, por lo que dichas medidas deben asociarse con determinaciones de radio de curvatura, observación directa de las fallas, espesores de las capas del pavimento existentes y características de los materiales y la capa subrasante, con el fin de tomar las medidas de corrección más adecuadas en cada caso particular. (Mendoza, Ríos, & Torres, 1993).

Las medidas de las deflexiones con la viga Benkelman presentan diferentes ventajas entre las cuales podemos destacar su indispensabilidad para obtener la correlación

entre cualquier deflectómetro y la viga Benkelman por ser el patrón universal de medida de las deflexiones, la rapidez y eficacia al ser utilizado en tramos cortos o en zonas muy localizadas en las que se produzcan anomalías con respecto a otros equipos de mayor rendimiento que para efectuar las medidas tenga que realizar grandes desplazamientos, su uso único para la auscultación generalizada en una red secundaria de carreteras en las que las incidencias de tráfico son menores, etc.

*** Radio de Curvatura.** La determinación del radio de curvatura en el ensayo de viga Benkelman constituye un importante complemento a la evaluación realizada mediante deflexiones, por cuanto determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufre las capas asfálticas al flexionar bajo cargas. (Mendoza, Ríos, & Torres, 1993).

El método más razonable para determinar el radio de curvatura es el de los franceses el cual se basa en la hipótesis de que la línea de deflexiones en función de la distancia superior a 25 cm sufriendo luego una inflexión para tener asintóticamente hacia la horizontal. La curvatura de la parábola queda entonces definida por su parámetro, el cual en la zona de máxima curvatura se confunde con el radio del arco osculador en dicho punto, o sea exactamente bajo el centro del eje de la rueda cargada (Montejo, 2002).

El radio de curvatura se obtiene mediante la ecuación 1.1, la cual omite algunos términos relativos a las propiedades de la capa asfáltica pero ofrece un nivel de precisión adecuado (Jung, 1989):

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.1}$$

La experiencia disponible en la actualidad permite concluir que valores del radio de curvatura inferiores a 80m indican la presencia de zonas débiles bajo las capas asfálticas, lo que es individualmente peligroso para el pavimento, aunque las deflexiones se encuentren dentro de límites admisibles (Mendoza, Ríos, & Torres, 1993).

Entre el equipo requerido para desarrollar el ensayo se encuentran:

- Deflectómetro viga Benkelman
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01 mm

- Camión cargado, con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y otros (cinta métrica, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, varillas de metal o madera de 2m, etc.).

Para la realización del ensayo, se deben tener presente las siguientes condiciones:

- La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones debe ser 8200 kg. En el eje posterior.
- La carga aplicada al pavimento será proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión.
- Debe tenerse en cuenta la presión de las llantas requerida.
- Localizar el lugar donde se realiza el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril).
- Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas de las deflexiones que se producen, pero se puede obtener más con fines de verificación.
- Para la rutina del ensayo será necesario del concurso de tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez dé aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga.
- Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan a obtener así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtenga (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, nivel freático, estado del pavimento, etc.).

El procedimiento con el que se lleva a cabo el ensayo es el siguiente:

1. Localización del lugar donde se realizará el ensayo.
2. Se colocará la llanta a usarse sobre el punto de aplicación de tal manera que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto.

3. Se coloca la viga Benkelman en posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje del centro de gravedad.
4. Tomando como referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurar que el extremo de la viga coincida con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.
5. Después de estacionar los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándola nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado, realizando previamente los dos pasos anteriores para mayor precisión.
6. Para realizar las marcas adicionales, por norma la primera se realiza a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial); y la segunda se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional.
7. Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial, se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión.
8. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marca adicional, y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo de tal forma que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

B. Análisis Estadístico de Deflexiones

Cuando se realiza un programa de auscultación de una vía, se busca evaluar la capacidad estructural del pavimento, y poder establecer programas de rehabilitación. Dos parámetros utilizados para determinar el comportamiento estructural de un pavimento son la deflexión admisible y la deflexión característica, que involucra conceptos estadísticos como promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

Deflexión Característica. Para obtener la deflexión característica o deflexión representativa del tramo se aplica la fórmula (Cataño et al).

$$D_c = (D + 2\sigma)K_t.C \dots\dots\dots\text{Ecuación 1.2}$$

Dónde:

D_c = Deflexión característica Representativa.

D = Valor medio de la deflexión.

σ = Desviación Estándar.

K_t = Factor de ajuste de temperatura. Su valor se toma como unitario ($K_t=1$).

C = Factor de corrección por condiciones ambientales.

El valor medio, la desviación estándar y el coeficiente de variación (parámetro que nos indica la homogeneidad de los datos) se calcula mediante las ecuaciones:

Valor medio de la deflexión

$$D = \frac{\sum d}{n} \dots\dots\dots\text{Ecuación 1.3}$$

Desviación Estándar

$$\sigma = \left(\frac{\sum(d-D)^2}{n-1}\right)^{1/2} \dots\dots\dots\text{Ecuación 1.3}$$

Coeficiente de variación

$$V = \frac{\sigma}{D} \times 100 \dots\dots\dots\text{Ecuación 1.4}$$

Dónde:

D = media aritmética de los valores individuales

d = valor individual de un ensayo.

n = número de ensayos individuales.

El factor (K_t) se toma como unitario ya que no se requiere corrección por temperatura en estructuras de pavimentos compuestos por un tratamiento

superficial o mezclas asfálticas delgadas, es decir, en carpetas asfálticas menores de 10 cm.

El valor de C depende de la naturaleza del suelo sub-rasante y el periodo característico de la zona (ver tabla 2.1).

Tabla 09. Corrección de la deflexión por condiciones ambientales

Naturaleza del suelo sub-rasante	Coeficiente de corrección		
	Periodo Lluvias	Periodo Intermedio	Periodo Seco
Suelos arenosos y permeables	1.0	1.0 – 1.1	1.1 – 1.3
Suelos arcillosos e impermeables	1.0	1.3 – 1.5	1.5 – 1.8

Fuente: ingeniería de pavimentos para carreteras. Montejo, Alfonso. Bogota, 2002

Deflexión Admisible. La deflexión debe compararse con la deflexión admisible (ver tabla 10), que es la máxima que resiste el pavimento antes de llegar a un estado crítico. El concepto de deflexión admisible, se encuentra íntimamente relacionado con el número de ejes Standard Equivalentes Acumulados de 8,2 ton. (Mendoza, Ríos, & Torres, 1993).

Tabla 10. Calificación del pavimento según relación (D_c/Δ_{adm})

Rango	Medida de calificación
Muy bueno	$D_c/\Delta_{adm} < 0,5$
Bueno	$0,5 < D_c/\Delta_{adm} < 1,0$
Regular	$1,1 < D_c/\Delta_{adm} < 1,4$
Malo	$D_c/\Delta_{adm} > 1,4$

Fuente: (Cataño Sandra, Gómez Alexander & Sánchez Marcos; 2002).

1.2.3. MEJORAMIENTO DE SUELOS DE SUB-RASANTE

En este acápite se analiza y desarrolla de manera conceptual y práctica las necesidades de mejoramiento de materiales a lo largo del tramo en estudio. Para este fin es necesario, teniendo en cuenta que normalmente se especifica efectuar mejoramiento en suelos orgánicos, suelos blandos e inadecuados, revisar inicialmente la parte conceptual lo que se efectúa a continuación:

1.2.3.1. Identificación de materiales no aptos para subrasante

Suelos Orgánicos.- Son suelos fibrosos, orgánicos, turbosos, de compresibilidad muy alta que se designan con las siglas Pt (Peat). Estos materiales son de fácil identificación por su color, olor y otras características, como la blandura de suelo, que es propia de los bofedales, aguajales, pantanos, terrenos de cultivos, chacras etc. Como es obvio suponer, estos materiales tienen un bajo valor de soporte, o casi nulo, que representa el valor de la resistencia mecánica del suelo (CBR).

Turba.- Se denomina turba cuando la materia orgánica tiene un contenido mineral muy reducido; tales depósitos se presentan sobre los materiales de limo y arcillas y con frecuencia son productos del llenado general de los lagos y cualquier corriente superficial o subterránea.

Como norma general ya establecida, los suelos compuestos por turbas que contienen grandes cantidades de material orgánico y humedad, así como aquellos suelos que puedan encontrarse por debajo de los mismos que por el proceso de descomposición están comprometidos con cierto volumen y no pueden ser usados en Sub-rasantes o Terraplenes y su uso en cualquier tipo de construcción debe ser evitado. Los suelos orgánicos son usualmente muy compresibles y tienen características inadecuadas para la construcción según Jones, Joseph "Investigación de Suelos para carreteras", México.

Suelos Blandos.- Son suelos cuyas propiedades físico-mecánicas han sido variados por agentes externos con lo cual se tornan inestables, de muy baja capacidad de soporte y que no son factibles de compactar debido a sus cambios de forma y volumen cuando se aplican fuerzas externas; en otros casos, cuando los suelos aumentan de volumen cuando son retiradas de ellos las presiones actuales y que raramente vuelven a su estado inicial.

Suelos Inadecuados.- Se define como suelos inadecuados, a los suelos orgánicos, turbas, suelos blandos y todo suelo que no cumpla con los requerimientos expresados en algunas Especificaciones Técnicas y en la versión de la AASHTO-93 del diseño del pavimento

Para una adecuada calificación de los suelos de sub-rasante donde se requiera realizar el mejoramiento de la sub-rasante se tendrá en cuenta los siguientes aspectos físicos y mecánicos:

- Según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2013), todo material de sub-rasante deberá tener como Índice de Plasticidad un valor menor a 11 %.
- Los suelos con humedades mayores a la óptima no pueden ser compactados según métodos constructivos estándar considerados en las presentes Especificaciones del MTC.
- La calidad de la Subrasante es definida según la Clasificación de Suelos AASHTO de amplio uso internacional.
- Los Suelos pueden ser evaluados de acuerdo a las tablas de Terzaghi y Casagrande en función al material pasante en la malla de 0.02mm. también de amplio conocimiento internacional, por la susceptibilidad al congelamiento.
- Con relación a la materia orgánica, las normas AASHTO y ASTM de identificación de suelos, para este caso solo indican procedimientos visuales o cualitativos sobre la base del color y olor. Se puede complementarse con pruebas de laboratorio como se procede en muchos casos.
- Empleo del índice de consistencia que se define como una relación entre el límite líquido, la humedad natural y el índice plástico del material permitiendo así de calificar el suelo en diferentes estados entre el sólido y el líquido.

Tomando en consideración lo explicado anteriormente y en función a los tipos de suelos que se encuentren en la vía y el criterio y experiencia del Ingeniero especialista, se ha tomado como un patrón de trabajo lo siguiente:

- a) Cuando la remoción del material se realice en profundidades de 0.00 a 0.80m. la excavación se rellenará con un material apto para rellenos hasta llegar al nivel de la subrasante. En zona de corte o en terreno natural los últimos 0.30 m. deberán ser de un material selecto que cumpla con las especificaciones mencionadas para corona de acuerdo a nuestras Especificaciones Técnicas del presente Proyecto.
- b) Cuando la remoción del material se realice en profundidades de 0.80 a 1.50m. en la primera capa en contacto con el terreno natural (terreno de fundación) de preferencia se colocara una capa de fragmentos rocosos de acuerdo al espesor previamente acomodadas y compactadas para asegurar su adherencia en el terreno y luego se procederá con la conformación de las siguientes capas. Para el caso de sectores donde exista presencia de infiltraciones o de capa freática se aumentara la altura o espesor de los fragmentos para que actúe como espolones drenantes para que el agua percole libremente. Posteriormente se procederá a completar las alturas con material selecto.

- c) Cuando la remoción del material se realice en profundidades mayores de 1.50 m. especialmente en zonas de bofedales, agujales, suelos saturados por presencia de napa freática, bolsas de agua subterráneas, etc. En la cota del terreno de fundación se procederá a colocar un pedraplen con rocas no mayores a 1.00m. de diferentes granulometrías en posición limpias para que actúen como plataforma drenante hasta una determinada altura que será determinada en obra. El resto de capas se procederá de acuerdo a lo indicado anteriormente.

Los conceptos entonces fijados y definida la metodología que se empleará en la determinación de los sectores donde se requiera mejoramientos, se complementaran con los criterios geotécnicos.

1.2.3.2. Criterios geotécnicos para realizar mejoramientos

Los proyectos ejecutados y actualmente en ejecución en el Perú han demostrado que por distintas razones se encuentran suelos que requieren el manejo consensuado de criterios geotécnicos que permitan calificar con adecuado nivel técnico, concordante con el proceso constructivo y su temporalidad. Sabiendo que la aplicación de estos conceptos durante la ejecución de las obras significan necesariamente trámites administrativos y técnicos que tienen un plazo limitado y que pueden resultar en perjudiciales en el avance de la obra en mayores costos y en dificultades en los tramites de aprobación por las entidades competentes si no son simples y suficientes, se considera necesario sean considerados en el análisis durante la etapa de estudio.

Concordante con lo anterior se analizan los criterios geotécnicos de calificación rutinarios y coherentes, proponiéndose que en principio se trate de emplear estos procedimientos geotécnicos de auscultación de reconocida eficacia complementados con la experiencia bibliográfica internacional mencionada antes que la ejecución de voluminosos ensayos especiales con fines de investigación que de acuerdo a la magnitud, tiempo resultaría altamente costoso para el proyecto.

Estos criterios son los siguientes:

- Por su clasificación
- Suelos de baja capacidad portante (CBR < 5 %).
- Cambio de rigidez entre la plataforma existente y la explanada en corte a media ladera.
- Suelos Expansivos (suelos de media y de alta expansión)
- Suelos Blandos
- Humedad natural mayor al Límite líquido y/o Optimo Contenido de Humedad.
- Contenido de materia orgánica

- Índice de consistencia

Manual MTC, 2008
Braja M. Das; 1985

Estos criterios mencionados vienen siendo utilizados en el Perú en diversas obras viales pero tan solo son utilizadas para sustentar que el material es de mala calidad o inadecuados como para ser utilizados como sub-rasante más no se realizan cálculos para determinar el espesor a mejorar.

A) Suelos de baja capacidad portante (CBR < 5 %)

Se realizarán mejoramientos de la sub-rasante existente a los terrenos que se encuentren con CBR de laboratorio menores a 5 %; es decir suelos de muy pobre a pobre capacidad portante.

- Determinación del espesor de mejoramiento a realizar

La determinación de la altura de mejoramiento a realizar se hará de acuerdo a lo indicado en el Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito (ítem 5.7 Mejoramiento de Subrasante), el cual emplea la siguiente fórmula:

$$D_4 = \frac{SN_r - SN_o}{a_4 \times m_4}$$

Siendo:

D_4 = Espesor efectivo de la subrasante mejorada en plg.

SN_r = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante muy pobre a pobre.

SN_o = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena.

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

$a_4 = 0.061/\text{plg}$ para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR de 6 % – 10 %.

$a_4 = 0.076/\text{plg}$ para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR de 11 %– 19 %.

$a_4 = 0.094/\text{plg}$ para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con $\text{CBR} > 20 \%$.

$a_4 = 0.089/\text{plg}$ para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular, con la adición mínima de 3 % de cal en peso de los suelos.

$m_4 =$ Coeficiente de drenaje de la capa 4.

Ecuación:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.3-1.5} \right]}{0.40 + \frac{10^{94}}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log}M_R - 8.07$$

Módulo resiliente de subrasante:

$$M_R = 2555 \text{CBR}^{0.64}$$

Donde:

M_r	=	Modulo de Resiliencia
W_{18}	=	Número de ejes equivalentes Total
R	=	Factor de confiabilidad
Z_r	=	Estandar normal deviate
S_o	=	Overall standard deviation
p_i	=	Serviciabilidad inicial
p_t	=	Serviciabilidad final

B) Cambio de Rigidez entre la plataforma existente y la explanada en corte a media ladera

En las zonas de explanada en corte a media ladera, si después de los trabajos de perfilado y compactación de la sub-rasante la deflexión característica de la sub-rasante es mayor que la máxima admisible (es decir rigidez y densidades menores a la sub-rasante proyectada), se realizará el mejoramiento de la sub-rasante en el espesor necesario para disminuir la deflexión del terreno y estas estén dentro de las deflexiones máxima admisibles para los diseños propuestos.

- Determinación de la deflexión máxima admisible

Para la determinación de la deflexión admisible se hará uso del método LCPC de Francia

$$D_{adm} = 57.823 \times N^{-0.24}$$

Donde:

D_{adm} = Deflexión máxima admisible

N = Número acumulado de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Aplicando el modelo de Boussinesq para ejes gemelos, se tiene la siguiente expresión:

APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE BOUSSINESQ

Tenemos los valores de esfuerzo máximo en el centro del área circular en el eje vertical.

$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

La deflexión vertical máxima en la superficie :

$$w_0 = \frac{2(1-\nu^2)}{E} q_0 a$$

Asimismo, el radio (a) es calculado con la siguiente fórmula

$$a = \sqrt{\frac{P/2}{\pi q_0}}$$

$$P = 8.2 \text{ T}$$

$$q_0 = 5.6 \text{ kg}$$

Dónde:

q_0 = Presión de contacto ejercida por las ruedas o presión de inflado (Kg/cm²).

a = Radio de aplicación de la carga (mm)

ν = Relación de Poisson.

E_s = Módulo dinámico o Módulo de Young.

z = Profundidad de cálculo de carga.

- Determinación del espesor de mejoramiento a realizar

La determinación de la altura de mejoramiento a realizar se hará de acuerdo a lo indicado en el Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito (ítem 5.7 Mejoramiento de Subrasante), el cual emplea la siguiente fórmula:

$$D_4 = \frac{SN_r - SN_o}{a_4 \times m_4}$$

Siendo:

D_4 = Espesor efectivo de la subrasante mejorada en plg.

SN_r = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante muy pobre a pobre.

SN_o = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena.

a_4 = Coeficiente estructural de capa de la sub-rasante mejorada, se recomiendan los siguientes valores:

$a_4 = 0.061/\text{plg}$ para reemplazar la sub-rasante muy pobre y pobre, por una sub-rasante regular con CBR de 6 % – 10 %.

$a_4 = 0.076/\text{plg}$ para reemplazar la sub-rasante muy pobre y pobre, por una sub-rasante buena con CBR de 11 %– 19 %.

$a_4 = 0.094/\text{plg}$ para reemplazar la sub-rasante muy pobre y pobre, por una sub-rasante muy buena con CBR > 20 %.

$a_4 = 0.089/\text{plg}$ para reemplazar la sub-rasante muy pobre y pobre, por una sub-rasante regular, con la adición mínima de 3 % de cal en peso de los suelos.

m_4 = Coeficiente de drenaje de la capa 4.

Los procedimientos de cálculo y la altura de mejoramiento de la subrasante se calcula de la siguiente manera son:

Ecuación:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R * S_D + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right]}{0.40 + \frac{10^{0.4}}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log}M_R - 8.07$$

Módulo resiliente de subrasante:

$$M_R = 2555CBR^{0.64}$$

C) Suelos Expansivos (Suelos de mediana y alta expansión)

Los suelos de fundación del pavimento a proyectar no deberán presentar expansión alguna que pongan en riesgo la estructura del pavimento; por tanto la expansión libre deberá ser baja. En base a los ensayos de laboratorio realizados existen evidencias ciertas, sobre la existencia de arcillas expansivas en la zona.

- Estimación del Potencial de Expansión y de la Expansión Libre

Para la estimación del potencial de expansión de los suelos que conforman la vía, se ha utilizado medidas indirectas como la propuesta por Holtz y Gibbs – 1956, los cuales califican el grado de expansividad en función de la plasticidad de los suelos. En el tabla N°12 se presenta dicha relación:

Tabla 11. Potencial de expansión según índice de plasticidad

Potencial de Expansión	Índice de Plasticidad (%)
Muy Alto	>37
Alto	18 – 37
Medio	12 – 27
Bajo	< 12

FUENTE: (Holtz y Gibbs; 1956)

Asimismo existen métodos empíricos para predecir el potencial de expansión correlacionando los resultados de los ensayos edométricos con las propiedades índice de los suelos (límite líquido, índice de plasticidad, densidad seca y contenido de humedad natural del suelos).

Para el presente estudio utilizaremos el método aconsejado por la U.S Army Corps of Engineers pag 5-5 del Manual EM 1110-1-1904, el cual propone la ecuación de O'Neill y Ghazzaly para calcular la expansión libre:

$$S_f (\%) = 2.27 + 0.131LL - 0.27w_o \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

S_f = Expansión libre (%)

LL= Limite Liquido (%)

w_o = Humedad Natural (%)

Esta expresión no tiene en cuenta la presión de sobrecarga del suelo, es así que la U.S Army Corps of Engineers, recomienda utilizar la ecuación propuesta por Gogoll, para determinar el porcentaje de expansión bajo sobrecarga o confinamiento con la siguiente ecuación:

$$S (\%) = S_f [1-0.72\sqrt{p_s}] \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

S = Expansión final (%)

S_f = Expansión libre (%)

p_s = Presión de sobrecarga (Kg/cm²) por material encima del suelo expansivo.

Esta ecuación es más realista que la ecuación (1), pues tiene en cuenta las tres variables que intervienen en la magnitud de la expansión: la potencialidad de la expansión a través del límite líquido, el incremento de humedad (humedad natural) y la presión que se ejerce sobre el suelo.

D) Suelos Blandos

La deformación de suelos cohesivos aún bajo cargas relativamente pequeñas, es tradicionalmente reconocida como un problema de fundamental interés, por ser causa de graves deficiencias de comportamiento.

Posiblemente el problema más grave que entraña un suelo de cimentación fino y compresible, es el que se refiere a los asentamiento que en él pueden producirse al recibir la sobrecarga que representan los terraplenes. Dichos asentamientos causan:

1. Pérdida de bombeo, pues la presión ejercida por el terraplén es mayor bajo el centro de la corona que bajo los hombros.
2. Aparición de asentamiento diferenciales en el sentido longitudinal, por heterogeneidad en la cadencia del terreno de cimentación; estos producen perjuicios en la funcionalidad del caminos, en el pavimento, en el drenaje superficial, etc.
3. Disminución de la altura del terraplén, grave cuando se atraviesan zonas inundables o inundadas.
4. Perjuicios en el comportamiento de obras de drenaje menor, que adquieran una conformación hidráulicamente inconveniente y se agrietan, al hundirse más en el centro que en los extremos.
5. Agrietamiento en la corona del terraplén, especialmente cuando esta es muy ancha y cuando el terraplén tiene bermas.

Cabe indicar que en terrenos de cimentación constituidos por Limos Plásticos y Arcillas, deben distinguirse dos casos diferentes:

- Cuando su Compresibilidad es relativamente baja (suelos CL, ML, y OL).
- Cuando sean francamente compresibles (suelos CH, MH, OH y Pt).

En suelos de Compresibilidad relativamente baja, CL y ML, no se plantean problemas especiales, los pequeños asentamientos que puedan llegar a producirse son absorbidos fácilmente por la flexibilidad propia de la estructura y la capacidad de carga del terreno suele ser suficiente para soportar a los terraplenes que hayan de ser construidos.

Los materiales OL, debidos al contenido de materia orgánica, pudieran no ser apropiados, en casos extremos, para usarse como materiales de construcción.

Es diferente el panorama cuando el terreno de cimentación está constituido por Limos o Arcillas altamente Compresibles, suelos OH, MH, CH, y Pt (**Rico Del Castillo, "La Ingeniería de Suelos"**). **Carlos Crespo Villalaz**, en su texto *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, muestra un cuadro en el que determina el grado de Compresibilidad de un suelo en función al Índice de Compresibilidad:

Tabla 12. Índice de Compresibilidad de Materiales

Cc	Compresibilidad
0.00 – 0.19	Baja
0.20 – 0.39	Media
Mayor a 0.40	Alta

FUENTE: (Carlos Crespo; 1980)

Terzaghi y Peck, demuestran que el índice de compresibilidad de un suelo puede ser expresado en función al límite líquido, la expresión es la siguiente (W. Lambe - R. Whitman, "Mecánica de Suelos").

$$C_c = 0.009 (LL-10)$$

Con esta expresión podemos calcular inmediatamente la compresibilidad de un suelo en el cual se considera como inadecuado cuando el índice de compresibilidad (Cc) es mayor o igual a 0.20.

- Determinación del espesor de mejoramiento a realizar

Para la determinación de la altura del mejoramiento de la sub-rasante, se está considerando la teoría del cálculo de esfuerzos y deformaciones en una masa de suelo para una carga circular, que está dado por:

$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

Asimismo, el radio (a) es calculado con la siguiente fórmula

$$a = \sqrt{\frac{P/2}{\pi q_0}}$$

$$P = 8.2 T$$

$$q_0 = 5.6 \text{ kg}$$

Dónde:

σ_z = Esfuerzo a una determinada altura de análisis

P = Peso con Carga en el eje posterior

q_0 = Presión de contacto ejercida por las ruedas o presión de inflado (Kg/cm²).

a = Radio de aplicación de la carga (mm)

u = Relación de Poisson.

E_s = Módulo dinámico o Módulo de Young.

z = Profundidad de cálculo de carga.

E) Humedades naturales mayores al límite líquido y/o al óptimo contenido de humedad

Como es de conocimiento general, los procesos de compactación dependen de varios factores, naturaleza del suelo, método de compactación, energía de compactación, contenido de agua del suelo, entre otros. Siendo el factor determinante el contenido de humedad para lograr las densidades exigidas en las especificaciones Técnicas (95% del ensayo de densidad máxima de laboratorio).

Con frecuencia, los suelos han de ser humedecidos o secados en banco o sobre el terraplén, por lo general es difícil añadir al suelo más de 1% ó 2% de humedad en el terraplén, y en ocasiones es imposible secarlo allí, como cuando son húmedas las condiciones climáticas prevalecientes.

(Rico-Del Castillo, 1984)

El exceso de humedad puede ser difícil corregir, sobre todo si las condiciones meteorológicas son adversas como es el caso del presente proyecto por la zona de ubicación y además por las condiciones de existencia de regadíos para los diferentes cultivos así como los periodos de lluvias. Si no se desea parar las obras durante un período demasiado prolongado, puede haber suelos que sea preciso desechar por su elevado contenido de humedad. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, para no ser demasiado conservadores en la aceptación de suelos húmedos, lo siguiente:

Normalmente, en zonas no muy húmedas, los suelos antes de su excavación no tienen una humedad excesiva; y es posteriormente durante la construcción donde puede incrementarse

demasiado su contenido de agua. Por ello, a veces puede ampliarse el período de trabajo tomando precauciones al efectuar la excavación, transporte, extensión y compactación; por ejemplo, extrayendo en frentes verticales y bien drenados, extendiendo toldos sobre los medios de transporte, y operando con rapidez en el resto de las operaciones de construcción; se puede dar el caso que aparentemente el suelo posee poca humedad y en el momento de proceder con los cortes exista bolsones y/o infiltraciones por alivio de tensiones. (Rico-Del Castillo, 1984).

Es posible utilizar suelos bastante húmedos si se restringe el tipo de maquinaria a emplear, pues no hay razón para suponer que siempre será posible recurrir a equipos más pesados ni a los más rápidos (las orugas, por ejemplo, trabajan mejor sobre suelos húmedos que los neumáticos). Naturalmente, esto exige una programación previa que puede no estar justificada más que en determinados casos. (Rico-Del Castillo, 1984)

Por todos los inconvenientes antes expuestos, se hace la comparación de la humedad óptima para obtener la densidad máxima seca del suelo, tal como lo exigen las especificaciones técnicas, con el contenido de humedad natural del suelo. En nuestro caso el criterio es complementando con la información correspondiente a la sección del proyecto y a la clasificación del material existente, desechando materiales en base al criterio combinado dado que no es posible poder secar materiales (durante la etapa constructiva y en periodos cortos) con contenidos de humedad muy por encima de la humedad óptima y sobre todo cuando estos son de naturaleza plástica (difícil de ser secados).

F) Contenido de Material Orgánico

Desde el punto de vista de ingeniería, la materia orgánica tiene propiedades indeseables. Por ejemplo, es altamente compresible y absorbe grandes cantidades de agua, de modo que los cambios en la carga o en el contenido de humedad producen cambios considerables en su volumen, planteando serios problemas de asentamiento. La materia orgánica también tiene una resistencia muy baja al esfuerzo cortante y, en consecuencia, baja la capacidad de carga (**R. Whitlow, 1994**).

La materia orgánica en la forma vegetal parcialmente descompuesta es el principal constituyente de los suelos turbosos. Se encuentra en los sedimentos plásticos y en los no plásticos cantidades variables de materia vegetal finamente dividida, y a menudo afectan sus propiedades lo suficiente para influir en su clasificación. Aún en pequeñas porciones de materia

orgánica en forma coloidal en la Arcilla producirán un aumento apreciable en el Límite Líquido del material sin aumentar el Índice Plástico.

Los suelos orgánicos son de color gris oscuro, y generalmente tiene el olor característico a podrido. Las Arcillas Orgánicas tienen un tacto esponjoso cuando son plásticas, en comparación con las Arcillas Inorgánicas. La tendencia de los suelos con elevadas proporciones de materia orgánica es crear intersticios al pudrirse o al cambiar de características físicas de la masa de un suelo por alteración química. Se hacen inadecuados para la utilización en las obras de ingeniería.

Los suelos que contengan aún cantidades moderadas de materia orgánica son mucho más compresibles y menos estables que los suelos inorgánicos; por lo que son menos adecuados para las obras de ingeniería. (**United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation**).

La Norma española establece como máximo 2% de contenido de Materia Orgánica para suelos tolerables, contenidos mayores de Materia Orgánica serán considerados suelos inadecuados y exentos de materia orgánica para suelos seleccionados (**Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo- España, Terraplenes y Pedraplenes**).

En nuestro medio solamente se indica en las especificaciones técnicas que el material **no deberá** contener nada de Materia Orgánica, de arcillas o contaminaciones con raíces donde dichos suelos serán rechazados.

G) Índice de Consistencia

Este criterio corresponde a determinar el estado del suelo mediante el valor del índice de consistencia, el cual corresponde a la diferencia entre el límite líquido y el contenido de humedad, todo dividido por el índice de plasticidad.

Este índice puede ser tomado como una medida de la consistencia del suelo, relacionada con la cantidad de agua que es capaz de absorber. Si es negativo el suelo es líquido y en otros casos podrá ser semi-líquido, plástico muy blando o blando, plástico duro y si es mayor que uno, el suelo se encuentra en estado sólido. (**Jiménez Salas; 1954**).

Ante los tipos de suelos encontrados y aquellos suelos comprometidos por la descomposición biomecánica de algunos carbones fue conveniente evaluarlos por medio de su Índice de Consistencia.

José A. Jiménez Salas en su libro de mecánica de suelos y sus aplicaciones en la Ingeniería realizó un estudio referente a los índices de consistencia determinando unas características del suelo de acuerdo a los rangos establecidos. Con la tabla que se adjunta se relacionan los valores que se pueden obtener a partir del índice de consistencia, debido a la participación de suelos que han estado sujetos a saturación a lo largo de tiempo prolongado en algunos casos, o de manera cíclica para saturaciones de precipitaciones por épocas o la percolación de las aguas de riego que se infiltran en el Top Soil como es caso del proyecto.

Tabla 13. Estado del suelo de acuerdo al índice de consistencia

INDICE DE CONSTENCIA	ESTADO DEL SUELO
< 0.00	Líquido
0.00 – 0.25	Semi líquido
0.25 – 0.50	Plástico muy blando
0.50 – 0.75	Plástico blando
0.75 – 1.00	Plástico duro
1.00	Sólido

FUENTE: (Jiménez Salas; 1954)

Las arcillas blandas corresponden a suelos de granos finos que presentan límite líquido y su índice de plasticidad por encima de la línea "A" (cartas de plasticidad) que pueden ser CL, CH u OH. Estas cartas permiten hacer una clasificación con los valores de LL e IP.

De esta carta se desprende información relacionada con los finos, arcillas de alta y baja compresibilidad.

1.2.4. DATOS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO

Del expediente técnico se obtuvieron los siguientes datos los cuales nos servirán como referencia para lograr el objetivo planteado. (Ver Anexo 03)

1.2.4.1. Perfilado y Compactación de la subrasante en Zonas de Corte

El perfilado y la compactación de la subrasante en zonas de corte se realizaron de acuerdo a la sección 202.19 de las especificaciones técnicas del MTC, ver Anexo 03.

✓ Ensayo de Deflectometría sobre la Subrasante Terminada

El procedimiento para realizar los trabajos de deflectometría en campo se siguió la sección 202.20 de las especificaciones técnicas, ver anexo 03.

1.2.4.2. Conformación de Terraplenes

En caso de rellenos, se seguirán los procedimientos de la sección 205 (Terraplenes) de las especificaciones técnicas, en esta misma sección se presentan las especificaciones de ensayo de deflectometría en caso de terraplenes.

1.2.4.3. Proceso constructivo de mejoramiento de suelos a nivel de subrasante

En caso se requiera mejoramiento a nivel de subrasante, el procedimiento constructivo para los trabajos se realizarán de acuerdo a la sección 207 de las especificaciones técnicas del MTC.

1.2.4.4. Banquetas para Rellenos

En el caso de ser necesarios utilizar ensanches en laderas, se realizaran banquetas siguiendo el proceso constructivo de las especificaciones técnicas.

1.2.4.5. Deflexión Máxima Admisible

De acuerdo al expediente técnico y a las especificaciones técnicas del MTC se tiene para la subrasante una deflexión máxima admisible de:

$$D_{adm} = 57.823 \times N^{-0.24}$$

$$N = 41020000$$

$$D_{adm} = 86 \times 10^{-2} = 80 \times 10^{-2}$$

Donde:

D_{adm} = Deflexión máxima admisible

N = Número acumulado de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Por lo tanto para el presente estudio se tendrá una deflexión admisible de 80×10^{-2} mm, el cual servirá de referencia en los cálculos de campo con el ensayo de Viga Benkelman.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. CARACTERISTICAS LOCALES

2.1.1. Ubicación

El tramo Lima – Canta de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish se encuentra ubicada en la parte central del país, al Noreste de la ciudad de Lima, une los departamentos de Lima, Junín y Pasco, provincias de Canta, Yauli y Pasco y se desarrolla sobre altitudes que varían entre 527 m.s.n.m. y 1920 m.s.n.m.

Coordenadas UTM:

Punto de Inicio Km. 0+000 (Km.22 - Carabayllo)

N: 8687513.55

E: 280914.24

Punto Final Km. 79+466.82 (Canta)

N: 8731929.29

E: 323068.61

2.1.2. Clima

El tramo ubicado dentro de la provincia de Canta tiene un clima templado, seco y caluroso durante el día y con algo de frío durante la noche. La temperatura oscila entre los 13°C y 15°C en invierno, y de 20°C a 22°C durante el resto del año. En Canta la temporada de lluvias se inicia en diciembre y perdura hasta principios de abril. El promedio de precipitación pluvial anual es de 465mm.

2.1.3. Fisiografía

En el área de estudio, se han determinado las geoformas que predominan, las cuales son el resultado de la interacción de factores tectónicos, orogénicos, litológicos, procesos erosivos y climáticos, lo que ha permitido identificar tres grandes paisajes; Planicie, Colinoso y Montañoso, divididos en unidades más pequeñas y homogéneas como los paisajes y sub paisajes, compuestos por materiales aluviales, coluvio – aluviales y materiales sedimentarios del Terciario y del Cretáceo.

2.2. MATERIAL

2.2.1. Materiales para ensayos de Campo

- Equipo de Viga Benkelman.
- Camión Viga.

2.2.2. Material y herramientas para la recolección de muestras (mecánica de suelos):

- 01 libreta de campo.
- 01 Picota.
- 01 Pico.
- 01 Pala.
- 01 Barreta.
- Bolsas.
- Sacos.
- Etiquetas y lapicero.

2.2.3. Equipo de laboratorio de mecánica de suelos:

- Juego Taras.
- Juego de tamices (3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°12, N°16, N°20, N°30, N°40, N°50, N°60, N°100, N°140, N°200)
- Mortero.
- Copa de casagrande.
- Espátula.
- Moldes para ensayo de proctor.
- Balanzas Electrónicas (Precisión 1g, 0.1g, 0.01g)
- Estufa (110 °C).
- Máquina de los Ángeles.
- Equipo de CBR.

2.3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación, se considera la siguiente metodología, cuyo desarrollo es el siguiente:

- a. Recopilación y evaluación de información existente.
- b. Redacción y revisión de los capítulos del temario de la tesis.

- c. Ensayos de Campo (Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman).
- d. Ensayos de laboratorio (Contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, proctor y CBR).
- e. Evaluación e interpretación de resultados obtenidos.

El trabajo busca en su primera etapa, recopilar, elaborar y presentar los conceptos de la tecnología de los ESTABILIZANTES DE SUELO para entender el desarrollo del tema.

En segunda etapa se realizarán los ensayos de laboratorio:

- Se realizan los ensayos de Campo (ensayo de deflectometría).
- Se realizarán los ensayos de laboratorio de las muestras de suelo obtenidas de la carretera en Lima-Canta.
- Se realizarán los ensayos de laboratorio de las muestras de suelo obtenidas de canteras o cortes de talud las que se utilizarán para realizar el mejoramiento por el método de reemplazo del material inadecuado.
- Los ensayos a realizarse son:
 - Análisis granulométrico por tamizado.
 - Humedad natural
 - Límites de Consistencia
 - Clasificación de suelos por los sistemas SUCS y AASHTO
 - Materia Orgánica

Además, se realizarán ensayos especiales de evaluación de las propiedades de resistencia, uno por cada tipo de suelo, y son los siguientes:

- Proctor modificado
- California Bearing Ratio (CBR).
- Deflectometría (Viga Benkelman)

A los resultados de los ensayos de laboratorio de las canteras o cortes de talud se evaluarán respecto a las especificaciones técnicas de la obra y evaluar su calidad para ser utilizados como rellenos.

2.3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es EXPERIMENTAL:

Experimental: Porque la variable está en función a resultados de ensayos de laboratorio y ensayos de campo.

2.3.2. Población y Muestra

Población

Se considera como población a analizar las obras Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Lima – Canta.

Muestra

Tramos de Mejoramiento

- Progresiva Km. 78+113 al Km 78+223 (L/D).
- Progresiva Km. 77+785 al Km 77+825 (L/D).

2.3.3. Recolección de Datos

Se realizará mediante Logeos geotécnicos, registros de campo, registros de ensayos de laboratorio, así como elementos adicionales como el expediente técnico de la obra.

Matriz de Operacionalización de Variables

Hipótesis 1: El espesor de mejoramiento de suelo de la sub-rasante es mayor si la deflexión es $80 \times 10^{-2} \text{mm}$ y la presión vertical 0.1 kg/cm^2 .

Tabla 14. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Recolección de datos		
	Fuente de los datos	Técnica	Instrumento
Espesor de Mejoramiento de la sub-rasante	- Excavación de calicatas - Ensayos de Campo - Ensayos de Laboratorio - Expedientes Técnico.	Observación, medición, experimentación y análisis de documentos	Loqueo geotécnico, Registros de ensayos de campo, registros de ensayos de laboratorio
Ensayo de deflectometría	- Ensayos Viga Benkelman	Observación y medición	Equipo de viga benkelman, camión viga.
Determinación de la presión vertical	- Cálculos de acuerdo a las características de los materiales ensayados de cada tramo.	Experimentación y análisis de documentos.	Software

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El propósito fundamental de esta investigación fue calcular y comparar los resultados de los espesores de mejoramiento con los que se dieron en campo de cuatro tramos de la carretera Lima – Canta, considerando las variables del tipo de suelo encontrados mediante la realización de calicatas y el material con que será reemplazado.

3.1. EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE ANTES DE DEL MEJORAMIENTO

Para detectar los tramos que requieren mejoramiento se realizó el ensayo de viga benkelman para determinar con este las deflexiones que se producen en cada tramo, detectando de esta manera que en los tramos en estudio superan la deflexión máxima admisible concluyendo de esta manera que en dichos tramos se tendría que realizar los mejoramientos.

Los resultados de las deflexiones de cada tramo previo a los mejoramientos son los siguientes:

3.1.1. Progresiva 78+113 a 78+223

Para la evaluación de la subrasante en este tramo se realizó mediante el ensayo de Viga Benkelman, teniendo en consideración que la deflexión máxima admisible es de 80×10^{-2} , teniendo como resultados los siguientes.

Tabla 15. Resultados de ensayos de deflectometría Prog. 78+113 a 78+223 (antes del mejoramiento)

Nº	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACIÓN		
				PRIMER DIAL						SEGUNDO DIAL		D'	D' ₂₅	Rc
				L ₀ 0.01 mm	L ₂₅ 0.01 mm	L ₅₀ 0.01 mm	L ₇₅ 0.01 mm	L ₁₀₀ 0.01 mm	L ₅₀₀ 0.01 mm	L ₁ 0.01 mm	L ₂ (a 25cms) 0.01 mm			
1	78+113	Sub rasante	Der	0	3	5	6	8	9	0	6	36	24	260
2	78+138	Sub rasante	Der	0	5	16	19	23	27	0	15	108	60	65
3	78+163	Sub rasante	Der	0	4	7	9	12	15	0	9	60	36	130
4	78+188	Sub rasante	Der	0	8	15	20	32	40	0	15	160	60	31
5	78+213	Sub rasante	Der	0	3	4	7	7	12	0	8	48	32	195

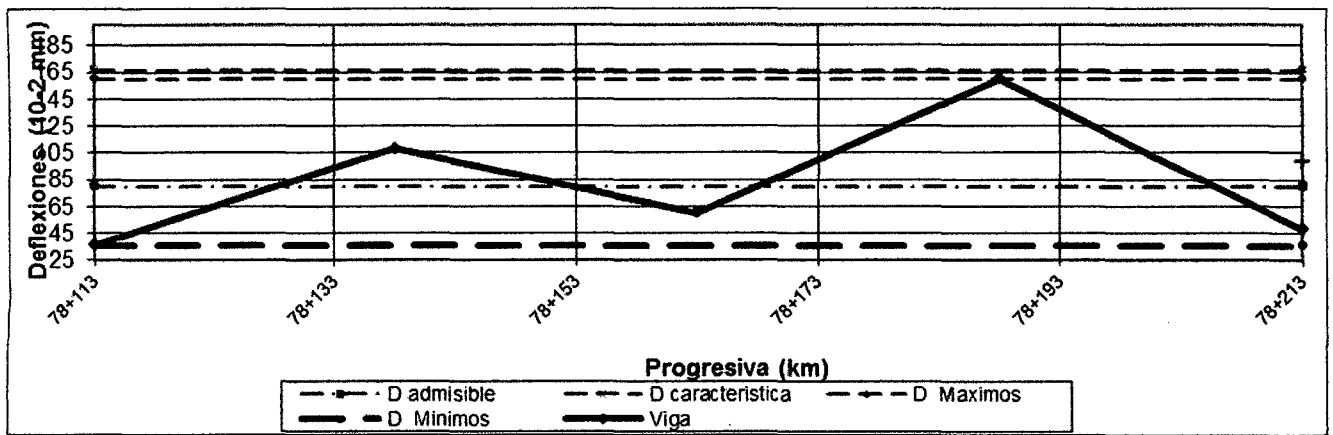


Figura 04. Deflectograma Prog. 78+113 a 78+223 (Antes de Mejoramiento)

En los resultados se observa que las deflexiones están por encima del valor máximo admisible.

3.1.2. Progresiva 77+785 a 77+825

Esta evaluación de la sub-rasante fue realizada previa al mejoramiento.

Tabla 16. Resultados de ensayo de deflectometría Prog. 77+785 a 77+825 (antes del mejoramiento)

Nº	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACIÓN		
				PRIMER DIAL						SEGUNDO DIAL		D'	D'25	Rc
				L ₀ 0.01 mm	L ₂₅ 0.01 mm	L ₅₀ 0.01 mm	L ₇₅ 0.01 mm	L ₁₀₀ 0.01 mm	L ₅₀₀ 0.01 mm	L ₁ 0.01 mm	L ₂ (a 25cms) 0.01 mm			
1	77+770	Sub rasante	Der	0	2	4	6	7	9	0	5	36	20	195
2	77+775	Sub rasante	Der	0	4	9	12	16	22	0	4	88	16	43
3	77+780	Sub rasante	Der	0	8	11	19	26	31	0	19	124	76	65
4	77+785	Sub rasante	Der	0					390	0	30	1560	120	2
5	77+790	Sub rasante	Der	0	15	24	35	40	46	0	28	184	112	43
6	77+795	Sub rasante	Der	0	10	20	31	42	50	0	30	200	120	39
7	77+800	Sub rasante	Der	0	10	20	40	50	60	0	29	240	116	25
8	77+805	Sub rasante	Der	0	5	8	15	20	25	0	16	100	64	87
9	77+828	Sub rasante	Der	0	4	7	10	15	19	0	17	76	68	391
10	77+850	Sub rasante	Der	0	2	4	5	8	9	0	3	36	12	130

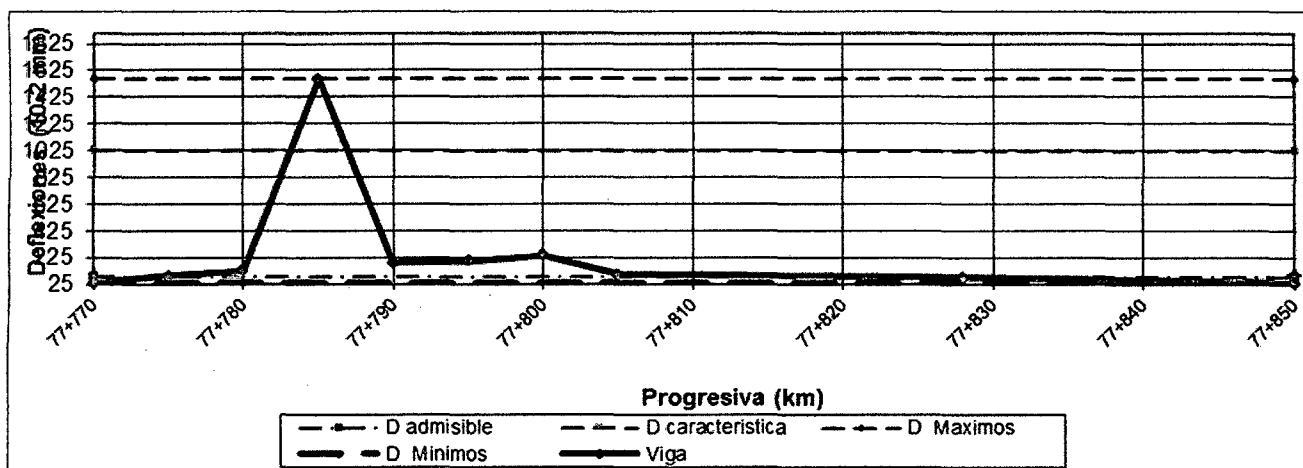


Figura 05. Deflectograma Prog. 77+785 a 77+825 (Antes de Mejoramiento)

3.2. EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE DESPUÉS DEL MEJORAMIENTO

Luego de haber realizado los mejoramientos, se procedió a realizar el ensayo de deflectometría para descartar que continúen las deflexiones superiores a los máximos permisibles, teniendo los siguientes resultados:

3.2.1. Progresiva 78+113 a 78+223

Tabla 17. Resultados de ensayo de deflectometría Prog. 78+113 a 78+223 (Después del mejoramiento)

Nº	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACIÓN		
				PRIMER DIAL					SEGUNDO DIAL			D'	D' ₂₅	Rc
				L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₅₀₀	L ₁	L _{2 (a 25cms)}			
0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(m)	
1	78+113	Sub rasante	Der	0	2	4	5	7	8	0	6	32	24	391
2	78+138	Sub rasante	Der	0	3	6	11	13	16	0	11	64	44	156
3	78+163	Sub rasante	Der	0	2	6	8	10	14	0	12	56	48	391
4	78+188	Sub rasante	Der	0	6	11	16	24	30	0	24	120	96	130
5	78+213	Sub rasante	Der	0	2	5	6	7	10	0	7	40	28	260

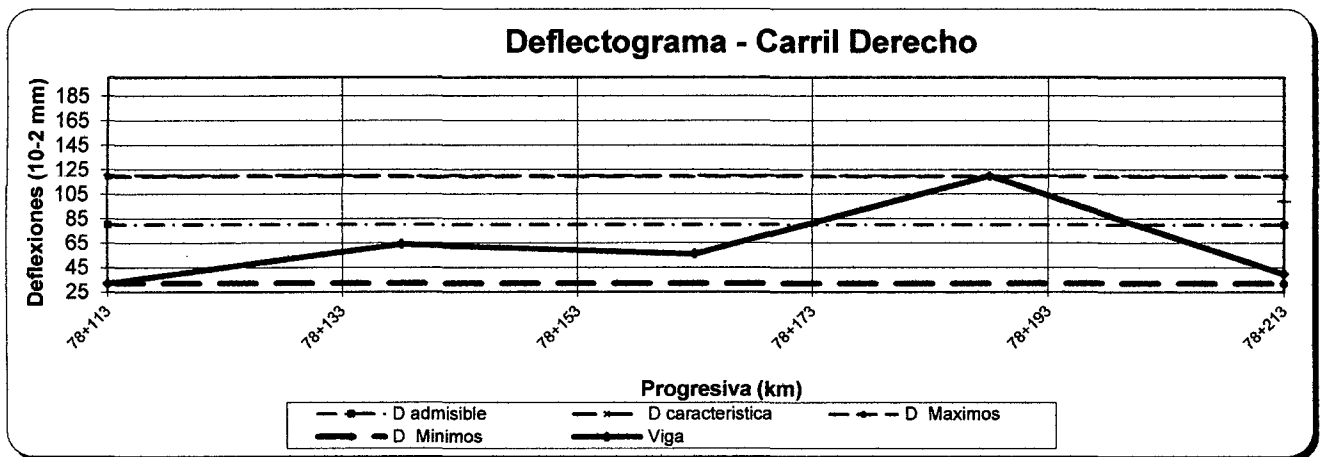


Figura 04. Deflectograma Prog. 78+113 a 78+223 (Después del mejoramiento)

3.2.2. Progresiva 77+785 a 77+825

Tabla 18. Resultados de ensayo de deflectometría Prog. 77+785 a 77+825 (después del mejoramiento)

Nº	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACIÓN		
				PRIMER DIAL						SEGUNDO DIAL		D'	D' ₂₅	Rc
				L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₅₀₀	L ₁	L ₂ (a 25cms)			
1	77+770	Sub rasante	Der	0	2	5	6	7	8	0	6	32	24	391
2	77+775	Sub rasante	Der	0	3	6	7	9	16	0	12	64	48	195
3	77+780	Sub rasante	Der	0	4	7	9	13	19	0	14	76	56	156
4	77+785	Sub rasante	Der	0	7	12	15	18	36	0	18	144	72	43
5	77+790	Sub rasante	Der	0	5	9	14	19	27	0	21	108	84	130
6	77+795	Sub rasante	Der	0	2	6	11	13	22	0	14	88	56	98
7	77+800	Sub rasante	Der	0	6	9	13	18	29	0	22	116	88	112
8	77+805	Sub rasante	Der	0	1	3	5	8	12	0	9	48	36	260
9	77+828	Sub rasante	Der	0	2	4	6	7	14	0	8	56	32	130
10	77+850	Sub rasante	Der	0	1	2	4	5	7	0	5	28	20	391

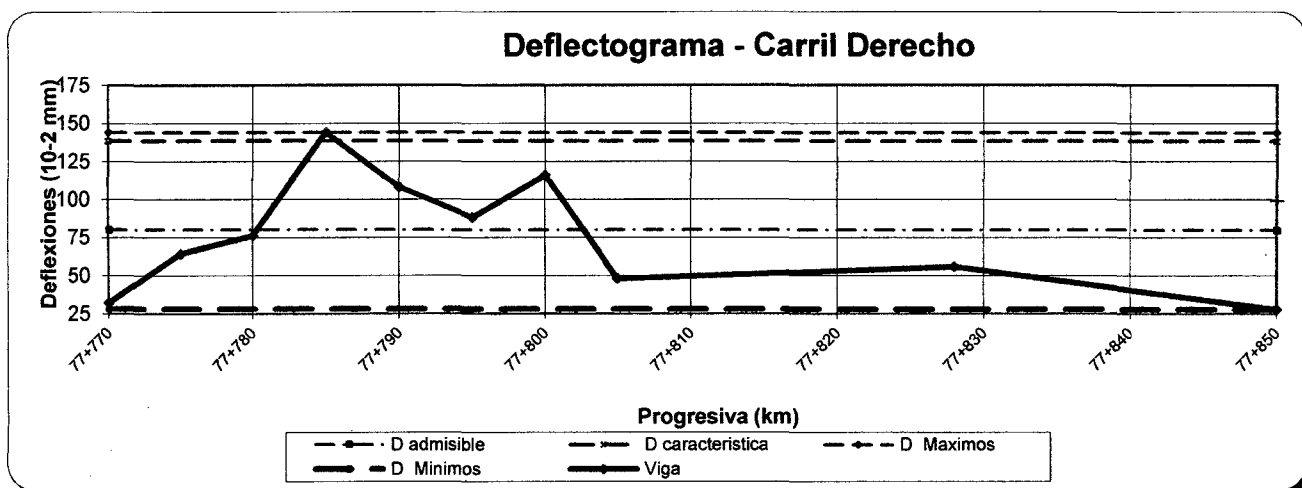


Figura 07. Deflectograma Prog. 77+770 a 77+850 (Después de mejoramiento)

3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CÁLCULOS DE ESPESORES DE MEJORAMIENTO

3.3.1. Mejoramiento por Criterio de Suelos Blandos

En la Tabla 23 se puede observar los resultados del índice de compresibilidad tramos analizados.

Tabla 19. Evaluación de mejoramiento por criterio de suelo blando

TRAMO (Km.)		Prof. Calicata	CONSTANTES FÍSICAS			W (%)	CLASIFICACIÓN		Cc (%)	Compresibilidad
Inicio	Fin		LL	LP	IP		AASHTO	SUCS		
78+113	78+213	1.50	44.9	23.7	21	26.7	A-7 (11)	CL	0.31	Media
77+785	77+825	1.00	34.8	16.4	18	24.3	A-6 (8)	CL	0.22	Media

Para el siguiente caso se tiene las progresivas que tienen índice de compresibilidad mayor a 0.20 los cuales para el mejoramiento se utilizará el siguiente resultado.

3.5. RELACIÓN DE VALORES CALCULADOS Y PROPORCIONADOS EN OBRA

De acuerdo a los valores obtenidos en base al tipo de material encontrado y los espesores de mejoramiento dados en obra se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 22. Relación de Espesores de Mejoramiento Calculados y de Obra

Tramo (Km.)		Espesor de Mejoramiento (m)		Diferencia
Inicio	Fin	Dados en Obra	Calculados de acuerdo a los materiales	
78+113	78+213	0.60	0.90	0.30
77+785	77+825	0.70	0.90	0.20

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos los espesores calculados no coinciden con los espesores de mejoramiento proporcionados en obra, en ambos tramos los espesores con las que se ejecutó el mejoramiento son deficientes.

Tabla 23. Diferencia de espesores de mejoramiento

Tramo (Km.)		Diferencia
Inicio	Fin	
78+113	78+213	0.30
77+785	77+825	0.20

2. Se realizaron ensayos de deflectometría antes y después en los tramos de mejoramiento, en el ensayo realizado después de haber ejecutado el mejoramiento se observó que aun las deflexiones son mayores a la máxima admisible.
3. Los espesores de mejoramiento fueron calculados aplicando el modelo de Boussinesq para cada tramo, teniendo como resultados los lo siguiente.

Tabla 24. Espesores calculados con el modelo de Boussinesq

Tramo (Km.)		Espesor Calculado (m)
Inicio	Fin	
78+113	78+213	0.90
77+785	77+825	0.90

CAPITULO VII. RECOMENDACIONES

1. Determinar los espesores de mejoramiento de acuerdo a cálculos realizados en base a los materiales encontrados en cada tramo:

Tabla 25. Tramos analizados

Tramo (Km.)	
Inicio	Fin
78+113	78+213
77+785	77+825

CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carreteras Diseño Moderno – José Céspedes Abanto – Editorial Universitaria UNC – Año 2001.
- Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito – Año 2008.
- Los Pavimentos en las Vías Terrestres Calles, Carreteras y Aeropistas – José Céspedes Abanto – Editorial Universitaria UNC – Año 2002.
- Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos – Rosa Haydee Llique Mondragón – Editorial Universitaria UNC – Año 2003.
- Mecánica de Suelos – Meter Huyen Wihem – Año 1996.
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM 200 V-I (MTC) – Año 2000.
- Mecánica de Suelos y Diseño de Pavimentos – Ing. Samuel Mora Quiñones – Año 1998.
- Fundamentos de Ingeniería Geotecnia – Ing. Braja M. Das – Año 1985.
- Principios de Ingeniería de Cimentaciones – Ing. Braja M. Das – Año 1985
- Ingeniería Geológica – Luis G. Vallejo – Año 2004.
- Ingeniería de Caminos Rurales – Gordon Keller – Año 2008
- Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres – Alfonso Rico Rodríguez – Año 1984
- Manual de Diseño Estructural de Pavimentos – Javier Llorac Vargas – Año 1985.
- Mecánica de suelos y cimentaciones – Carlos Crespo Villalaz – Año 1980
- Fundamentos de Mecánica de suelos – R. Whitlow – Año 1994
- Mecánica de Suelos - Jiménez Salas – Año 1954

CAPITULO VII. ANEXOS

Anexo 01

ENSAYOS DE DEFLECTOMETRIA (VIGA BENKELMAN)

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Patahuasi - Yauri - Sicuani
Tramo: Lima - Canta

EVALUACION DEFLECTOMETRICA (VIGA BENKELMAN)

(Viga de 02 Brazos)

Estructura : SUBRASANTE

FECHA: 01/10/2012

Tramo : Km. 78+113 al Km 78+213 (ANTES DEL MEJORAMIENTO)

Lado : Derecho

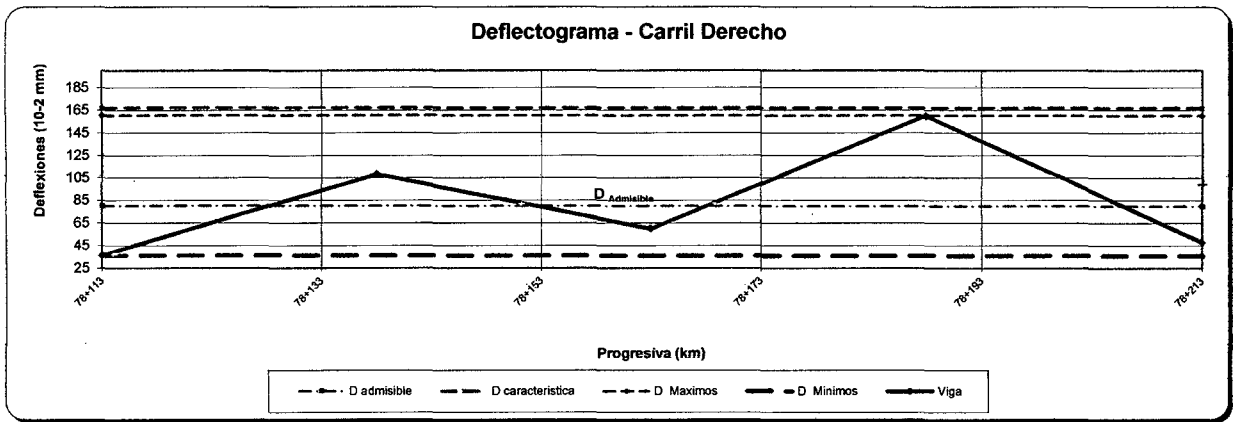
N°	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACION		
				PRIMER DIAL						SEGUNDO DIAL		D'	D' ₂₅	Rc (m)
				I ₀ 0.01 mm	I ₂₅ 0.01 mm	I ₅₀ 0.01 mm	I ₇₅ 0.01 mm	I ₁₀₀ 0.01 mm	I ₅₀₀ 0.01 mm	I ₁ 0.01 mm	I _{2 (a 25cm)} 0.01 mm			
1	78+113	Sub rasante	Der	0	3	5	6	8	9	0	6	36	24	260
2	78+138	Sub rasante	Der	0	5	16	19	23	27	0	15	108	60	65
3	78+163	Sub rasante	Der	0	4	7	9	12	15	0	9	60	36	130
4	78+188	Sub rasante	Der	0	8	15	20	32	40	0	15	160	60	31
5	78+213	Sub rasante	Der	0	3	4	7	7	12	0	8	48	32	195

Estadístico	Promedio								82.4	136.5
	Desvest								51.3	93.6
	CV								62.2	68.6
	Deflexion Caracteristica								166.7	290.4
	Max								160.0	260.4
	Min								36.0	31.3

Observaciones

ANALISIS DEFLECTOMETRICO SUBRASANTE DEL PAVIMENTO EN CONSTRUCCION

TRAMO : Km. 78+113 al Km 78+213 (A) **Lado:** Derecho



Calculos	
Deflexiones (x10⁻⁶ mm)	Radio Curvatura (m)
D _m = 82.40 σ = 51.27	R _c = 290.40
D _c = D _m + 1.645 x σ = 166.74	R _{promedio} = 136.46



Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Patahuasi - Yauri - Sicuani
Tramo: Lima - Canta

MTCA

EVALUACION DEFLECTOMETRICA (VIGA BENKELMAN)

(Viga de 02 Brazos)

Estructura : **SUBRASANTE**

FECHA: 12/10/2012

Tramo : **Km. 78+113 al Km 78+213 (DEPUES DEL MEJORAMIENTO)**

Lado : **Derecho**

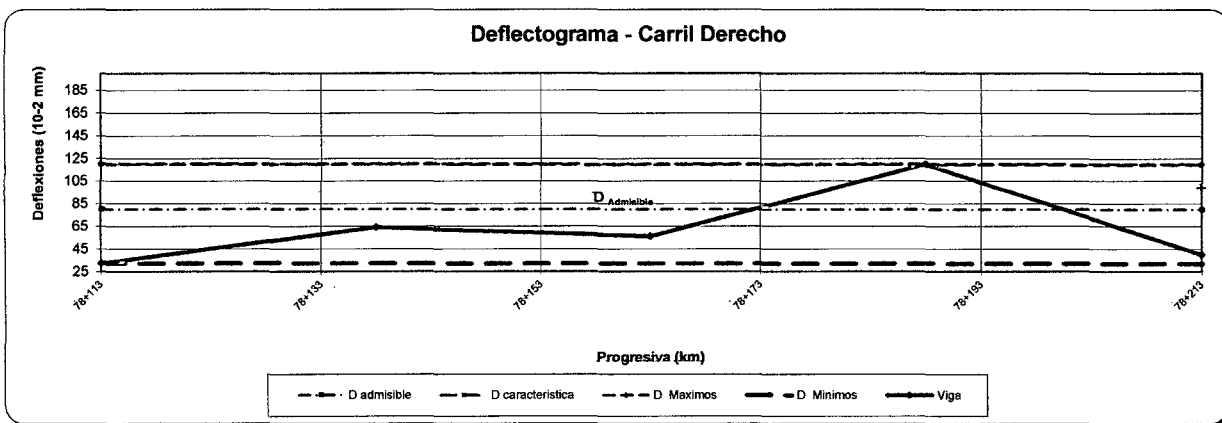
N°	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACIÓN		
				PRIMER DIAL				SEGUNDO DIAL				D'	D' ₂₅	Rc (m)
				L ₀ 0.01 mm	L ₂₅ 0.01 mm	L ₅₀ 0.01 mm	L ₇₅ 0.01 mm	L ₁₀₀ 0.01 mm	L ₁₅₀ 0.01 mm	L ₂₀₀ 0.01 mm	L ₂₅ 0.01 mm			
1	78+113	Sub rasante	Der	0	2	4	5	7	8	0	6	32	24	391
2	78+138	Sub rasante	Der	0	3	6	11	13	16	0	11	64	44	156
3	78+163	Sub rasante	Der	0	2	6	8	10	14	0	12	56	48	391
4	78+188	Sub rasante	Der	0	6	11	16	24	30	0	24	120	96	130
5	78+213	Sub rasante	Der	0	2	5	6	7	10	0	7	40	28	260

Estadístico	Promedio										62.4	265.6	
	Desvest										34.6		124.1
	CV										55.4		46.7
	Deflexion Caracteristica										119.3		469.7
	Max										120.0		390.6
	Min										32.0		130.2

Observaciones

ANALISIS DEFLECTOMETRICO SUBRASANTE DEL PAVIMENTO EN CONSTRUCCION

TRAMO : Km. 78+113 al Km 78+213 (□) Lado: Derecho



Calculos	
Deflexiones ($\times 10^{-6}$ mm)	Radio Curvatura (m)
$D_m = 62.40$ $\sigma = 34.59$	$R_c = 469.73$
$D_c = D_m + 1.645 \times \sigma = 119.31$	$R_{promedio} = 265.63$



Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Patahuasi - Yauri - Sicuani
Tramo: Lima - Canta



EVALUACION DEFLECTOMETRICA (VIGA BENKELMAN)

(Viga de 02 Brazos)

Estructura : **SUBRASANTE**
Tramo : **Km. 77+770 al Km 77+850 (ANTES DEL MEJORAMIENTO)**
Lado : **Derecho**

FECHA: 01/11/2012

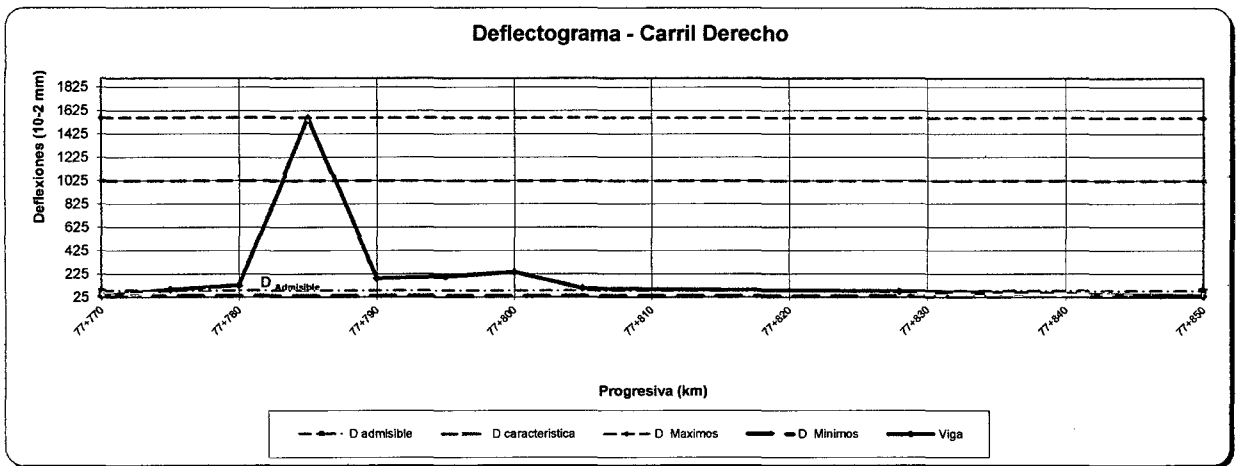
N°	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACIÓN		
				PRIMER DIAL				SEGUNDO DIAL				D'	D' 25	Rc
				L ₀ 0.01 mm	L ₂₅ 0.01 mm	L ₅₀ 0.01 mm	L ₇₅ 0.01 mm	L ₁₀₀ 0.01 mm	L ₂₀₀ 0.01 mm	L ₁ 0.01 mm	L _{2 (o 25cm)} 0.01 mm			
1	77+770	Sub rasante	Der	0	2	4	6	7	9	0	5	36	20	195
2	77+775	Sub rasante	Der	0	4	9	12	16	22	0	4	88	16	43
3	77+780	Sub rasante	Der	0	8	11	19	26	31	0	19	124	76	65
4	77+785	Sub rasante	Der	0					390	0	30	1560	120	2
5	77+790	Sub rasante	Der	0	15	24	35	40	46	0	28	184	112	43
6	77+795	Sub rasante	Der	0	10	20	31	42	50	0	30	200	120	39
7	77+800	Sub rasante	Der	0	10	20	40	50	60	0	29	240	116	25
8	77+805	Sub rasante	Der	0	5	8	15	20	25	0	16	100	64	87
9	77+828	Sub rasante	Der	0	4	7	10	15	19	0	17	76	68	391
10	77+850	Sub rasante	Der	0	2	4	5	8	9	0	3	36	12	130

Estadístico	Promedio											264.4		102.1
	Desvest											460.4		116.0
	CV											174.1		113.6
	Deflexion Característica											1021.7		292.9
	Max											1560.0		390.6
	Min											36.0		2.2

Observaciones

ANALISIS DEFLECTOMETRICO SUBRASANTE DEL PAVIMENTO EN CONSTRUCCION

TRAMO : Km. 77+770 al Km 77+850 (A) **Lado:** Derecho



Calculos	
Deflexiones (x10⁻⁶ mm) $D_m = 264.40$ $\sigma = 460.37$ $D_c = D_m + 1.645 \times \sigma = 1021.71$	Radio Curvatura (m) $R_c = 292.94$ $R_{promedio} = 102.13$



Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Patahuasi - Yauri - Sicuani"
Tramo: Lima - Canta



EVALUACION DEFLECTOMETRICA (VIGA BENKELMAN)

(Viga de 02 Brazos)

Estructura : **SUBRASANTE**
Tramo : **Km. 77+770 al Km 77+850 (DEPUÉS DEL MEJORAMIENTO)**
Lado : **Derecho**

FECHA: 13/11/2012

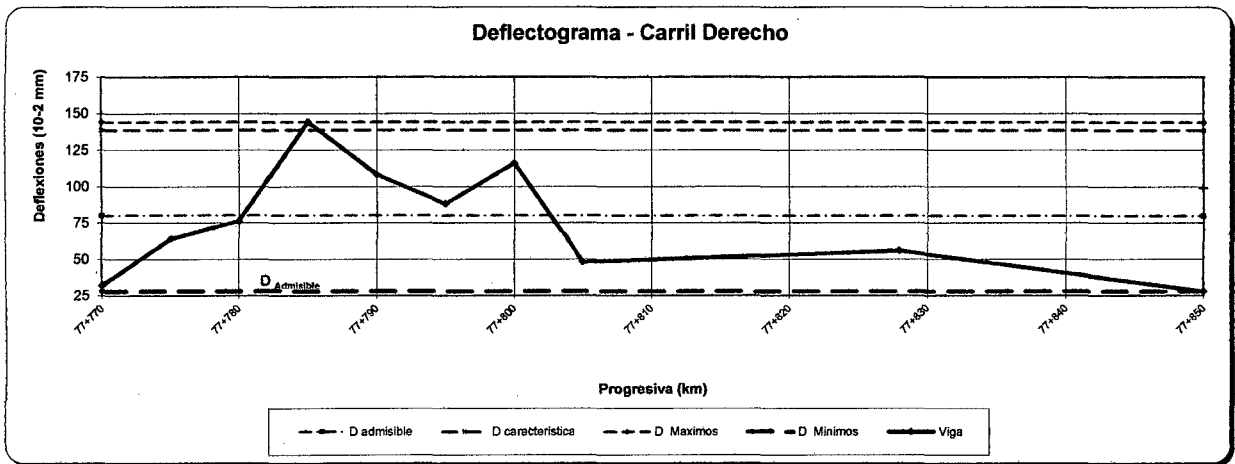
N°	Prog. (Km)	Estructura	Lado	LECTURAS DEL DIAL								PARAMETROS DE EVALUACIÓN		
				PRIMER DIAL						SEGUNDO DIAL		D'	D' ₁₅	Rc (m)
				L ₀ 0.01 mm	L ₂₅ 0.01 mm	L ₅₀ 0.01 mm	L ₇₅ 0.01 mm	L ₁₀₀ 0.01 mm	L ₂₀₀ 0.01 mm	L ₁ 0.01 mm	L _{2 (e 25cm)} 0.01 mm			
1	77+770	Sub rasante	Der	0	2	5	6	7	8	0	6	32	24	391
2	77+775	Sub rasante	Der	0	3	6	7	9	16	0	12	64	48	195
3	77+780	Sub rasante	Der	0	4	7	9	13	19	0	14	76	56	156
4	77+785	Sub rasante	Der	0	7	12	15	18	36	0	18	144	72	43
5	77+790	Sub rasante	Der	0	5	9	14	19	27	0	21	108	84	130
6	77+795	Sub rasante	Der	0	2	6	11	13	22	0	14	88	56	98
7	77+800	Sub rasante	Der	0	6	9	13	18	29	0	22	116	88	112
8	77+805	Sub rasante	Der	0	1	3	5	8	12	0	9	48	36	260
9	77+828	Sub rasante	Der	0	2	4	6	7	14	0	8	56	32	130
10	77+850	Sub rasante	Der	0	1	2	4	5	7	0	5	28	20	391

Estadístico	Promedio											76.0		190.6
	Desvest											37.9		120.2
	CV											49.9		63.0
	Deflexion Caracteristica											138.4		388.3
	Max											144.0		390.6
	Min											28.0		43.4

Observaciones

ANALISIS DEFLECTOMETRICO SUBRASANTE DEL PAVIMENTO EN CONSTRUCCION

TRAMO : Km. 77+770 al Km 77+850 (□) **Lado:** Derecho



Calculos	
Deflexiones (x10⁻⁸ mm)	Radio Curvatura (m)
D _m = 76.00 σ = 37.95	R _c = 388.29
D _c = D _m + 1.645 x σ = 138.42	R _{promedio} = 190.63

Anexo 02

ENSAYOS DE LABORATORIO

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO - ACOPIO

INGRESO	FECHA	OBSERVACIÓN	LADO	N° MUESTRA	% que pasa el tamiz											CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL (%)	PROCTOR		PERO EMPÍRICO	ABRASIÓN	CBR		MAT.			
					3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°100	N°200	LL	LP		IP	SUCS			AASHTD	MDS		HO (%)	0.1" (100%MDS)	0.2" (100%MDS)
71+600	22-nov	Acopio (Para Relleno)	Der.	1	90.7	85.8	84.2	79.1	70.7	64.8	57.8	53.3	44.0	36.9	30.3	25.4	19.5	16.3	20	19.7	8	GC	A-2-4 (0)	6.4	2.157	9.5	2.545	18.1	49	55	0.
78+113 a 78+213	08-nov	Terreno Natural	Der.	3	100.0	100.0	98.7	97.8	85.9	85.3	85.1	85.1	80.7	84.5	74.9	61.2	56.3	44.9	23.7	21	CL	A-7 (11)	26.7	-	-	-	-	-	-	1.	
77+785 a 77+825	08-nov	Terreno Natural	Der.	5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	87.8	74.4	68.0	59.8	55.4	34.8	16.4	18	CL	A-6 (8)	24.3							2.

OBSERVACIONES :

- Progresiva Km. 71+600: Acopio de material para Rellenos Previa Evaluación de Control de Calidad
- Progresiva Km. 78+113 a 78+213: Tramo a Mejorar
- Progresiva Km. 77+785 a 77+825: Tramo a Mejorar

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda -
Unish
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

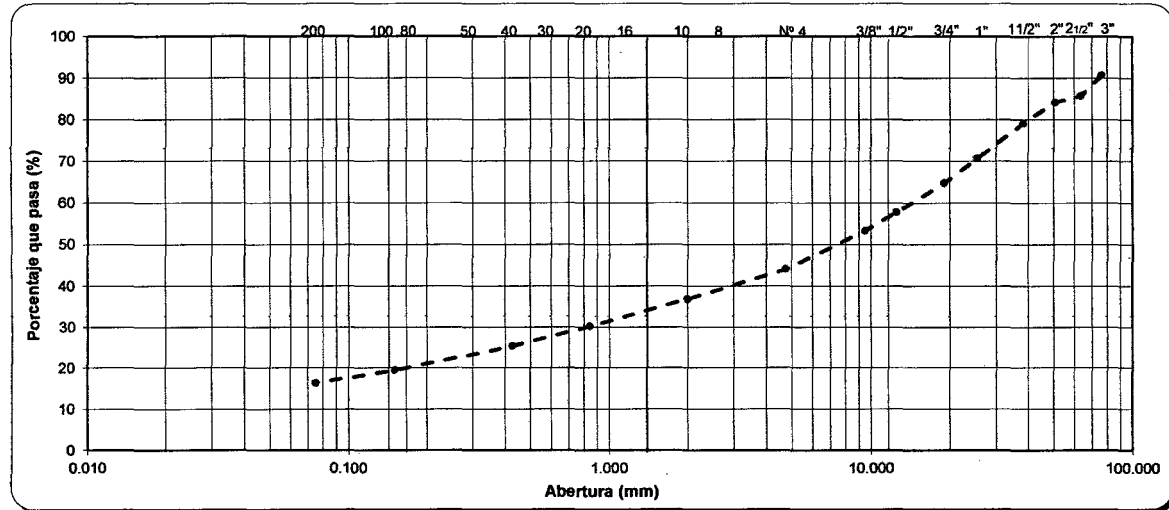
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO) FECHA : 22-nov-12
CANTERA : — N° MUESTRA : M-1
UBICACIÓN : Km. 71+600
PROVIENE : MATERIAL DE ACOPIO
LADO : DERECHO

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200	2714.0	9.3	9.3	90.7		Pesos de Muestra
2 1/2"	63.500	1454.0	5.0	14.2	85.8		Material Grueso > N° 4: (gr.) 16372.0
2"	50.800	440.0	1.5	15.8	84.2		Material Fino < N° 4: (gr.) 12882.0
1 1/2"	38.100	1492.0	5.1	20.9	79.1		Peso Total Seco (gr.) 29254.0
1"	25.400	2466.0	8.4	29.3	70.7		Fraccion Fina (gr.) 710.2
3/4"	19.000	1732.0	5.9	35.2	64.8		
1/2"	12.500	2060.0	7.0	42.2	57.8		% de Grava: 56.0
3/8"	9.500	1298.0	4.4	46.7	53.3		% de Arena: 27.7
N° 4	4.750	2716.0	9.3	56.0	44.0		% Fino : 16.3
N° 10	2.000	115.4	7.2	63.1	36.9		
N° 20	0.840	106.7	6.6	69.7	30.3		
N° 40	0.425	79.0	4.9	74.6	25.4		Clasificación del Suelo
N° 100	0.150	94.9	5.9	80.5	19.5		Clasificación (SUCS) : GC
N° 200	0.075	51.2	3.2	83.7	16.3		Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)
< N° 200	FONDO	263.0	16.3	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones:

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda -
Unish
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO) FECHA: 22-11-12
 CANTERA : — N° MUESTRA: M-1
 UBICACIÓN : Km. 71+600
 PROVIENE : MATERIAL DE ACOPIO
 LADO : DERECHO

N° DE ENSAYOS	1	2	3
N° Tara	--		
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	969.1		
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	910.8		
Peso Tara (gr.)	0.0		
Peso Agua (gr.)	58.3		
Peso Suelo Seco (gr.)	910.8		
Contenido de Humedad (gr.)	6.4		
Promedio (%)	6.4		

OBSERV.:

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Patahuasi - Yauri -
Sicuani
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO) FECHA: 22-nov-12
 CANTERA : — N° MUESTRA: M-1
 UBICACIÓN : Km. 71+600
 PROVIENE : MATERIAL DE ACOPIO
 LADO : DERECHO

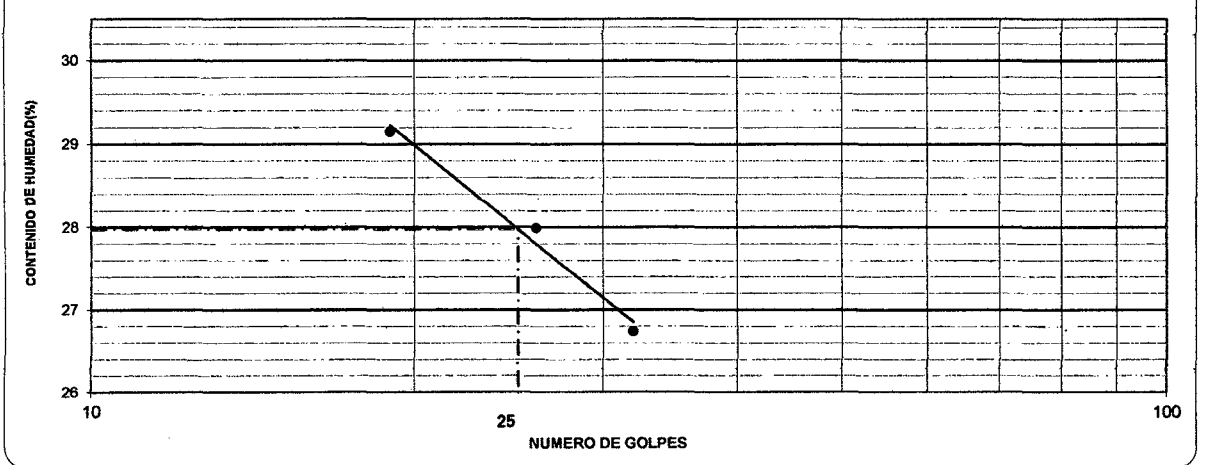
LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° TARA		15	28	12
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	27.09	26.68	26.26
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	22.75	22.26	21.76
PESO DE AGUA	(gr.)	4.34	4.42	4.50
PESO DE LA TARA	(gr.)	6.52	6.47	6.32
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	16.23	15.79	15.44
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	26.74	27.99	29.15
NUMERO DE GOLPES		32	26	19

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° TARA		15	18
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	13.75	13.83
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	12.58	12.65
PESO DE LA TARA	(gr.)	6.55	6.74
PESO DEL AGUA	(gr.)	1.17	1.18
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	6.03	5.91
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19.40	19.97

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO (%)	28.0
LIMITE PLÁSTICO (%)	19.7
INDICE DE PLÁSTICIDAD (%)	8

OBSERVACIONES

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish
 Tramo: Lima - Canta

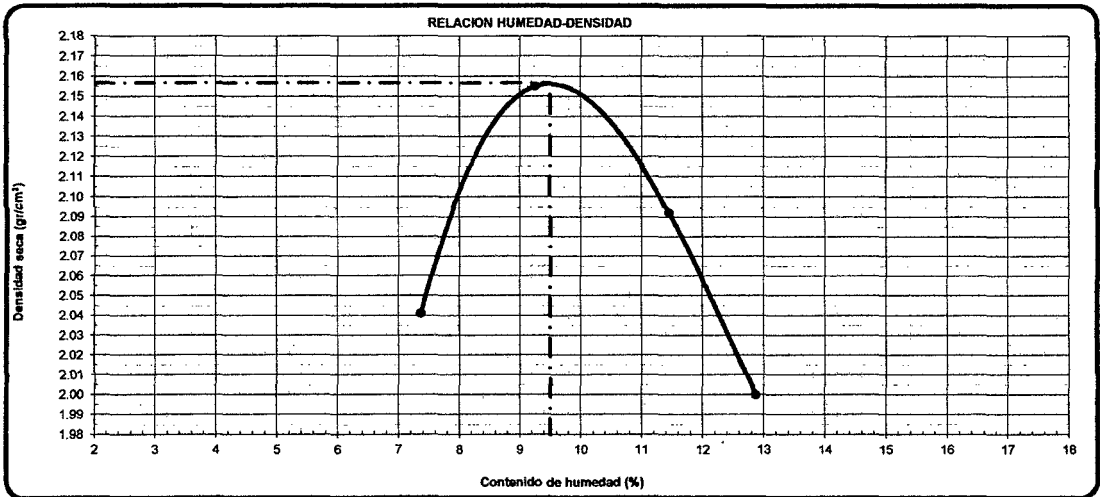
CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROCTOR MODIFICADO
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO) FECHA: 22-nov-12
 CANTERA : -- N° MUESTRA: M-1
 UBICACIÓN : Km. 71+600
 PROVIENE : MATERIAL DE ACOPIO
 LADO : DERECHO

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		56	56	56	56	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	11177	11524	11475	11317	
Peso molde + base	gr.	6509	6509	6509	6509	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	4668	5015	4966	4808	
Volumen del molde	cm ³	2130	2130	2130	2130	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	2.192	2.354	2.331	2.257	
Recipiente N°		03	08	10	05	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	1121.4	1074.5	1025.7	976.4	
Peso del suelo seco + tara	gr.	1068.2	1004.4	945.4	903.7	
Peso de Tara	gr.	346.5	247.0	244.0	338.8	
Peso de agua	gr.	53.2	70.1	80.3	72.7	
Peso del suelo seco	gr.	721.7	757.4	701.4	564.9	
Contenido de agua	%	7.4	9.3	11.4	12.9	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	2.04	2.16	2.09	2.00	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	2.157
					Humedad óptima (%)	9.5



Observaciones:

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda -
Urish
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 206, MTC E 205

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO) FECHA: 22-nov-12
CANTERA : — N° MUESTRA: M-1
UBICACIÓN : Km. 71+600
PROVIENE : MATERIAL DE ACOPIO
LADO : DERECHO

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO
MTC E 206-2000

N° DE ENSAYOS		1	2	
Peso de muestra seca al horno	A g	1241.6		
Peso de muestra saturada superf. Seca	B g	1267.2		
Peso de muestra saturada superf. seca Sumergida	C g	779.3		PROMEDIO
Peso específico sobre base seca $A/(B-C)$		2.545		2.545
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca $B/(B-C)$		2.597		2.597
Peso específico aparente $A/(A-C)$		2.686		2.686
Absorción de agua $((B-A)*100)/A$		2.1		2.1

Observaciones:

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO
MTC E 205-2000

N° DE ENSAYOS		1	2	
P. Picnómetro mas agua aforado	A			
P. de la muestra seca al horno	B			
P. de la muestra saturada superficialmente seca	C			
P. Picnómetro mas agua mas muestra aforado	D			PROMEDIO
Peso específico sobre base seca $B/(C-(D-A))$				
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca $C/(C-(D-A))$				
Peso específico aparente $B/(B-(D-A))$				
Absorción de agua $((C-B)*100)/B$				

Observaciones:

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"
 Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ABRASIÓN LOS ÁNGELES
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 207, ASTM C 131, AASHTO T 96

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	: MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO)	FECHA	: 22-nov-12
CANtera	: --	Nº MUESTRA	: M-1
UBICACIÓN	: Km. 71+600		
PROVIENE	: MATERIAL DE ACOPIO		
LADO	: DERECHO		

MUESTRA	1	
GRADACIÓN	"A"	
Nº DE ESFERAS	12	
TAMIZ (Nº)	PESO RETENIDO (grs.)	
1"	1250	
3/4"	1250	
1/2"	1250	
3/8"	1250	
PESO TOTAL	5,000	
MATERIAL RETENIDO TAMIZ Nº 12	4096	
MATERIAL PASANTE TAMIZ Nº 12	904	
PORCENTAJE DE DESGASTE	18.1	

Observaciones:

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193**

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO)
CANTERA : --
UBICACIÓN : Km. 71+600
PROVIENE : MATERIAL DE ACOPIO
LADO : DERECHO

FECHA: 22-nov-12
N° MUESTRA: M-1

COMPACTACIÓN

Molde N°	10		11		12	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13648	13758	13101	13188	12806	12889
Peso de molde + base (g)	8616	8616	8293	8293	8301	8301
Peso del suelo húmedo (g)	5032	5142	4808	4895	4505	4588
Volumen del molde (cm ³)	2122	2122	2122	2122	2118	2118
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.371	2.423	2.266	2.307	2.127	2.166
Tara (N°)	07	12	02	01	04	09
Peso suelo húmedo + tara (g)	1133.9	1191.6	1081.8	1177.7	1119.5	1254.7
Peso suelo seco + tara (g)	1055.3	1092.1	1002.8	1078.8	1036.9	1143.8
Peso de tara (g)	245.0	162.0	162.0	163.0	176.0	162.0
Peso de agua (g)	78.6	99.5	79.0	98.9	82.6	110.9
Peso de suelo seco (g)	810.3	930.1	840.8	915.8	860.9	981.8
Contenido de humedad (%)	9.7	10.7	9.4	10.8	9.6	11.3
Densidad seca (g/cm ³)	2.162	2.189	2.071	2.082	1.941	1.946

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
21-nov-12	00:00	0	0	0.00	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
22-nov-12	00:00	24	8	0.20	0.2	12	0.3	0.3	14	0.4	0.3
23-nov-12	00:00	48	10	0.25	0.2	14	0.4	0.3	17	0.4	0.4
24-nov-12	00:00	72	10	0.25	0.2	14	0.4	0.3	17	0.4	0.4
25-nov-12	00:00	96	10	0.25	0.2	14	0.4	0.3	17	0.4	0.4

PENETRACION

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°					
		CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION			
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			112.5			96.6					49.6		
1.270			402.2			300.2					144.6		
1.905			566.8			464.8					247.4		
2.540	70.5		643.4	690.9	49	600.4	601.0	42			309.6	336.3	23.6
3.810			936.7			828.9					541.2		
5.080	105.7		1142.5	1168.0	55	1038.9	1071.3	50			733.2	747.6	35.0
6.350			1368.6			1261.4					929.0		
7.620			1579.8			1460.7					1133.0		
10.160			1884.0			1724.0					1379.4		
12.700													

Observaciones:

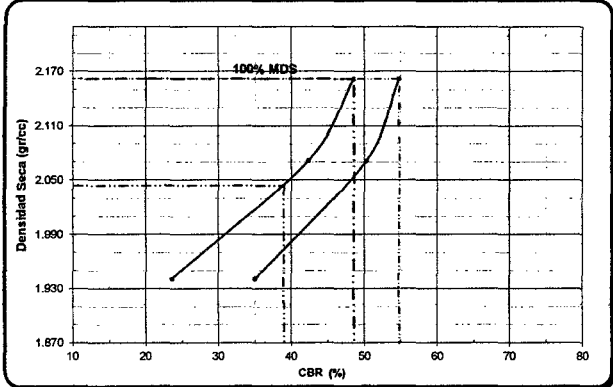
Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

(RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA	
CONCEPTO :	MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO)
CANTERA :	—
UBICACIÓN :	Km. 71+600
PROVIENE :	MATERIAL DE ACOPIO
LADO :	DERECHO
FECHA:	22-nov-12
N° MUESTRA:	M-1

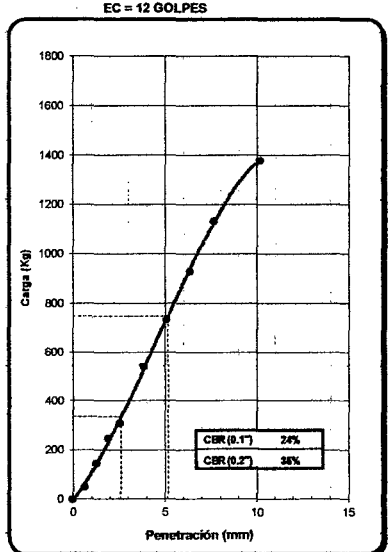
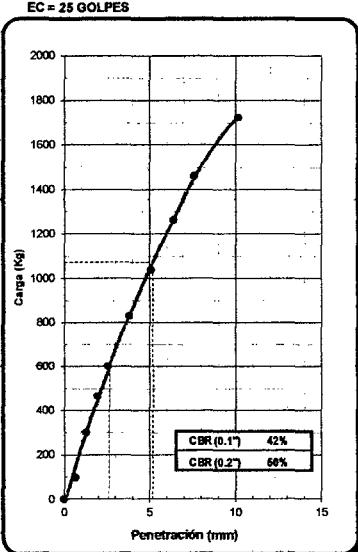
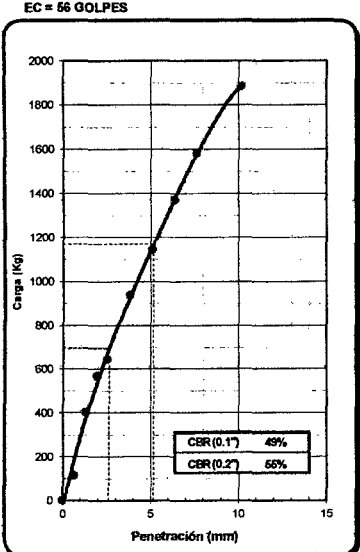
DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO	
PROCTOR MODIFICADO :	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) :	2.157
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	9.5
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) :	2.049

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	49	0.2":	66
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	39		

OBSERV.: _____



Observaciones: _____

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish
Tramo: Lima - Canta

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**(CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (PÉRDIDA POR IGNICIÓN
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 118, AASHTO T 267**

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL INTEGRAL (PARA RELLENO)	FECHA : 22-nov-12
CANTERA : --	Nº MUESTRA : M-1
UBICACIÓN : Km. 71+600	LADO : DERECHO
PROVIENE : MATERIAL DE ACOPIO	

ENSAYO Nº	1			Promedio
Tara Nº	T-02			
Peso de la tara y suelo seco, antes de ignición	gr. 50.03			
Peso de la tara y suelo seco, después de ignición	gr. 49.90			
Peso de materia orgánica	gr. 0.13			
Peso de la tara	gr. 31.80			
Peso del suelo seco neto	gr. 18.10			
Contenido de Materia orgánica	% 0.72			0.72

Observaciones: _____

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda -
Unish
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

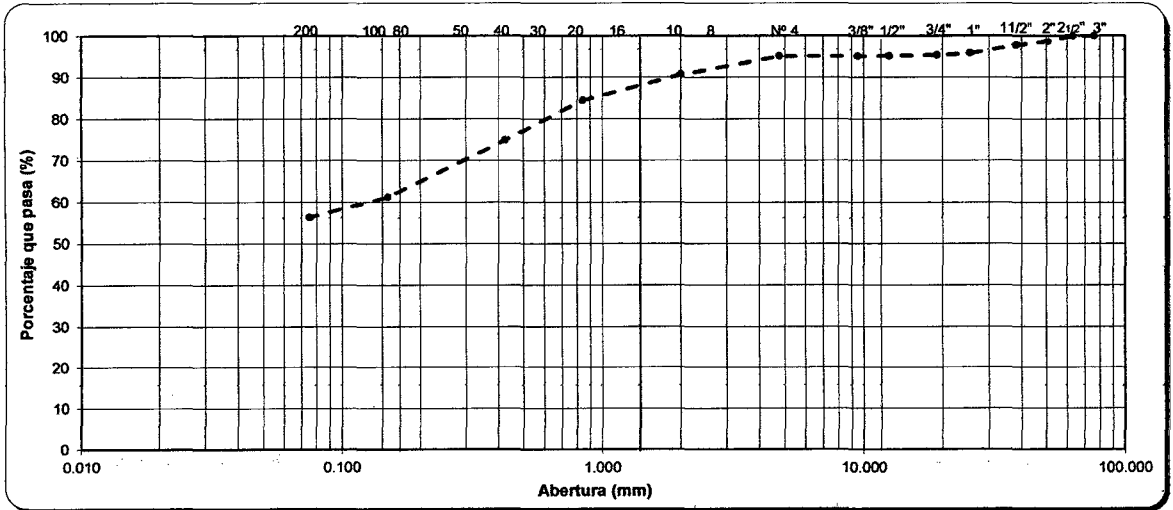
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE FECHA : 08-nov-12
CANTERA : - N° MUESTRA : M-1
UBICACIÓN : Km. 78+113 a 78+213
PROVIENE : MATERIAL PROPIO
LADO : CARRIL DERECHO

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0		Pesos de Muestra
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0		Material Grueso > N° 4: (gr.) 993.0
2"	50.800	256.0	1.3	1.3	98.7		Material Fino < N° 4: (gr.) 19145.0
1 1/2"	38.100	181.0	0.9	2.2	97.8		Peso Total Seco (gr.) 20138.0
1"	25.400	395.0	2.0	4.1	95.9		Fracción Fina (gr.) 570.6
3/4"	19.000	109.0	0.5	4.7	95.3		
1/2"	12.500	37.0	0.2	4.9	95.1		% de Grava: 4.9
3/8"	9.500	8.0	0.0	4.9	95.1		% de Arena: 38.7
N° 4	4.750	7.0	0.0	4.9	95.1		% Fino : 56.3
N° 10	2.000	26.0	4.3	9.3	90.7		
N° 20	0.840	37.2	6.2	15.5	84.5		
N° 40	0.425	57.8	9.6	25.1	74.9		Clasificación del Suelo
N° 100	0.150	82.3	13.7	38.8	61.2		Clasificación (SUCS) : CL
N° 200	0.075	29.2	4.9	43.7	56.3		Clasificación (AASHTO) : A-7 (11)
< N° 200	FONDO	338.1	56.3	100.0			

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones: _____

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda -
 Unish
 Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE FECHA: 08-11-12
 CANTERA : - N° MUESTRA: M-1
 UBICACIÓN : Km. 78+113 a 78+213
 PROVIENE : MATERIAL PROPIO
 LADO : CARRIL DERECHO

N° DE ENSAYOS	1	2	3
N° Tara	05		
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	1468.0		
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	1210.1		
Peso Tara (gr.)	245.0		
Peso Agua (gr.)	257.9		
Peso Suelo Seco (gr.)	965.1		
Contenido de Humedad (gr.)	26.7		
Promedio (%)	26.7		

OBSERV.:

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Patahuasi - Yauri -
 Sicuani
 Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE FECHA: 08-nov-12
 CANTERA : - N° MUESTRA: M-1
 UBICACIÓN : Km. 78+113 a 78+213
 PROVIENE : MATERIAL PROPIO
 LADO : CARRIL DERECHO

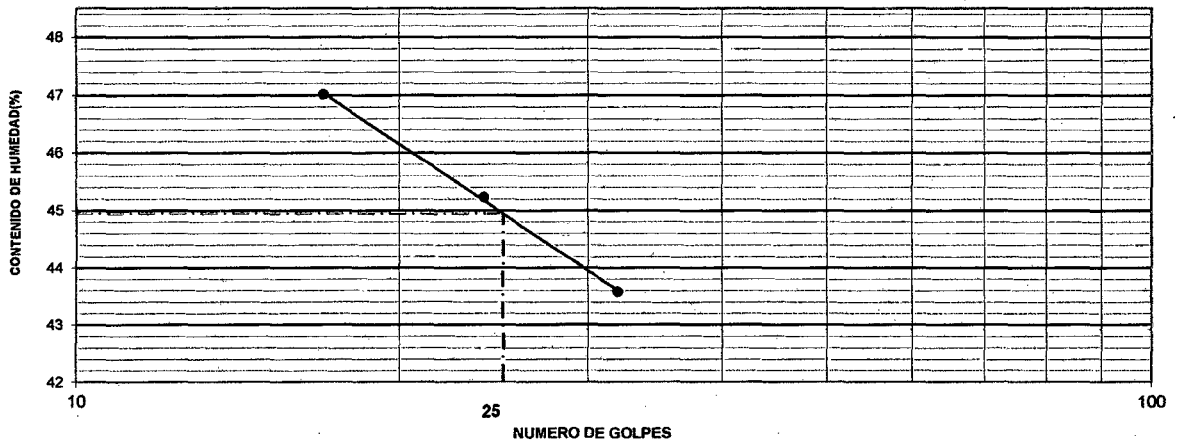
LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° TARA		29	24	21
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)		29.94	39.21	36.04
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)		24.21	30.92	26.46
PESO DE AGUA (gr.)		5.73	8.29	9.58
PESO DE LA TARA (gr.)		11.06	12.59	6.08
PESO DEL SUELO SECO (gr.)		13.15	18.33	20.38
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		43.57	45.23	47.01
NUMERO DE GOLPES		32	24	17

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° TARA		36	19
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)		14.81	14.95
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)		13.18	13.31
PESO DE LA TARA (gr.)		6.27	6.43
PESO DEL AGUA (gr.)		1.63	1.64
PESO DEL SUELO SECO (gr.)		6.91	6.88
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		23.59	23.84

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO (%)	44.9
LIMITE PLASTICO (%)	23.7
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	21

OBSERVACIONES

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish
Tramo: Lima - Canta

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (PÉRDIDA POR IGNICIÓN)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 118, AASHTO T 267

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE
CANTERA : -
UBICACIÓN : Km. 78+113 a 78+213
PROVIENE : MATERIAL PROPIO

FECHA : 08-nov-12
N° MUESTRA : M-1
LADO : CARRIL DERECHO

ENSAYO N°		1		Promedio
Tara N°		T-19		
Peso de la tara y suelo seco, antes de ignición	gr.	48.61		
Peso de la tara y suelo seco, después de ignición	gr.	48.31		
Peso de materia orgánica	gr.	0.30		
Peso de la tara	gr.	32.10		
Peso del suelo seco neto	gr.	16.21		
Contenido de Materia orgánica	%	1.85		1.85

Observaciones:

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda -
 Unish
 Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE
 CANTERA : -
 UBICACIÓN : Km. 77+785 a 77+825
 PROVIENE : MATERIAL PROPIO
 LADO : CARRIL DERECHO

FECHA: 09-11-12
 N° MUESTRA: M-1

N° DE ENSAYOS	1	2	3
N° Tara	01		
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	1994.3		
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	1652.3		
Peso Tara (gr.)	245.0		
Peso Agua (gr.)	342.0		
Peso Suelo Seco (gr.)	1407.3		
Contenido de Humedad (gr.)	24.3		
Promedio (%)	24.3		

OBSERV.: _____

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Patahuasi - Yauri - Sicuani"
Tramo: Lima - Canta

CONTROL DE CALIDAD DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE
CANTERA : --
UBICACIÓN : Km. 77+785 a 77+825
PROVIENE : MATERIAL PROPIO
LADO : CARRIL DERECHO

FECHA: 09-nov-12
N° MUESTRA: M-1

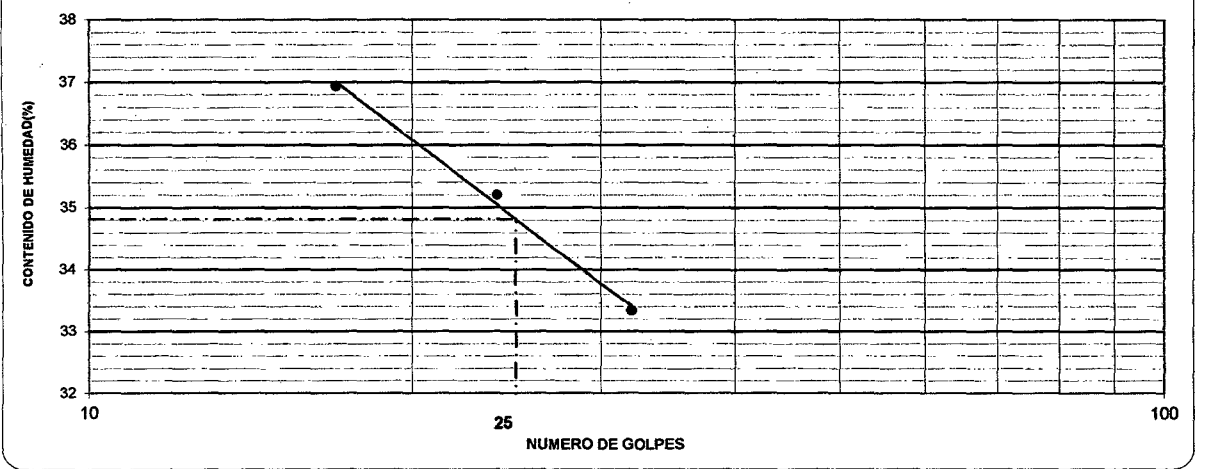
LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° TARA		11	01	30
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	35.99	38.11	36.37
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	28.71	29.98	28.19
PESO DE AGUA	(gr.)	7.28	8.13	8.18
PESO DE LA TARA	(gr.)	6.87	6.88	6.04
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	21.84	23.10	22.15
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	33.33	35.19	36.93
NUMERO DE GOLPES		32	24	17

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° TARA		21	23
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	14.36	14.54
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	13.19	13.40
PESO DE LA TARA	(gr.)	6.07	6.41
PESO DEL AGUA	(gr.)	1.17	1.14
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	7.12	6.99
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	16.43	16.31

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO (%)	34.8
LIMITE PLASTICO (%)	16.4
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	18

OBSERVACIONES

Obra: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish
Tramo: Lima - Canta

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (PÉRDIDA POR IGNICIÓN)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 118, AASHTO T 267

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE FECHA : 09-nov-12
 CANTERA : -- N° MUESTRA : M-1
 UBICACIÓN : Km. 77+785 a 77+825 LADO : CARRIL DERECHO
 PROVIENE : MATERIAL PROPIO

ENSAYO N°		1		Promedio
Tara N°		T-16		
Peso de la tara y suelo seco, antes de ignición	gr.	51.42		
Peso de la tara y suelo seco, después de ignición	gr.	51.01		
Peso de materia orgánica	gr.	0.41		
Peso de la tara	gr.	31.80		
Peso del suelo seco neto	gr.	19.21		
Contenido de Materia orgánica	%	2.13		2.1

Observaciones:

Anexo 03

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



SECCION 202

EXCAVACIÓN PARA EXPLANACIONES





SECCIÓN 202

Excavación para explanaciones

Descripción

202.01 Generalidades

Este trabajo consiste en el conjunto de actividades de excavar y remover, hasta el límite de acarreo libre (120 m), los materiales provenientes de los cortes requeridos para la explanación y préstamos, según los planos y secciones transversales del Proyecto o las instrucciones del Supervisor.

Comprende, además, la excavación y remoción de la capa vegetal, y de otros materiales blandos, orgánicos y deletéreos, en las áreas donde se hayan de construir los terraplenes de la carretera.

202.02 Excavación para la explanación

El trabajo comprende el conjunto de actividades de excavación y nivelación de las zonas comprendidas dentro del prisma vial donde ha de fundarse la carretera, incluyendo taludes y cunetas; así como la escarificación, conformación y compactación a nivel de subrasante en zonas de corte.

Incluye, además, las excavaciones necesarias para el ensanche o modificación del alineamiento horizontal o vertical de plataformas existentes.

202.03 Excavación Complementaria

El trabajo comprende las excavaciones necesarias para el drenaje en las labores de explanación, que pueden ser zanjas interceptoras y acequias, así como el mejoramiento de obras similares existentes y de cauces naturales.

202.04 Excavación en zonas de préstamo

El trabajo comprende el conjunto de actividades para explotar los materiales adicionales a los volúmenes, provenientes de la excavación de la explanación de la carretera requeridos para la construcción de los terraplenes o pedraplenes, siempre y cuando éstos sean aptos para su caso.



202.05 Clasificación

a. Excavación sin clasificar

Se refiere a los trabajos de excavación de cualquier material sin importar su naturaleza.

No se admitirá ningún reajuste por clasificación, sea cual fuere la calidad del material encontrado.

b. Excavación clasificada

1. Excavación en roca fija

Comprende la excavación de masas de rocas mediana o fuertemente litificadas que, debido a su cementación y compactación, requieren el empleo sistemático de explosivos.

Para iniciar los trabajos de Perforación y Voladuras de rocas se deberá presentar en primer lugar un Procedimiento Ejecutivo con carácter de obligatoriedad para ser aprobado por la supervisión, en el cual debe establecer los criterios de voladuras, las mallas de perforación; las cargas respectivas, los tipos de explosivos, los equipos a utilizar, etc. Considerando que se cumpla con los requerimientos ofrecidos en la propuesta técnico económica del Contratista para realizar esta partida de voladura en roca. Este procedimiento deberá estar en concordancia con el Estudio Geológico y Geotécnico que forma parte del Estudio Definitivo.

2. Excavación en roca fracturada (suelta)

Comprende la excavación de masas de rocas fracturada cuyo grado de cementación requiere el uso de maquinaria con accesorios auxiliares (ripers u otros) y explosivos, de ser el caso, explosivos en pequeña magnitud.

Comprende, también, la excavación, remoción y/o fragmentación de bloques con volumen individual mayor de un metro cúbico (1 m^3), procedentes de macizos alterados o de masas transportadas por acción natural y que para su fragmentación requieran el uso de explosivos.

3. Excavación en material suelto

Comprende la excavación de materiales no considerados en los numerales (1) y (2) de esta Subsección (excavación en roca fija y



fracturada o blanda), cuya remoción sólo requiere el empleo de maquinaria y/o mano de obra.

En las excavaciones sin clasificar y clasificadas, se debe tener presente la ubicación de la napa freática (medición y registros) para evitar su contaminación y otros aspectos colaterales.

Materiales

202.06

Los materiales provenientes de excavación para la explanación se utilizarán, si reúnen las calidades exigidas, en la construcción de las obras de acuerdo con los usos fijados en el Proyecto o determinados por el Supervisor.

El Contratista no podrá desechar materiales ni retirarlos para fines distintos a los del contrato, sin la autorización previa del Supervisor.

Los materiales provenientes de la excavación que presenten buenas características para uso en la construcción de la vía, serán reservados para utilizarlos posteriormente.

Los materiales de excavación que no sean utilizables serán eliminados como materiales excedentes y colocados en los Depósitos de Materiales Excedentes (DME), según lo indicado en la **Sección 209**.

Los materiales excedentes serán transportados humedecidos y cubiertos con lona para evitar la emisión de polvo y derrames.

El depósito temporal de los materiales no deberá interrumpir vías o zonas de acceso peatonal y vehicular.

Los materiales adicionales que se requieran para las obras, se extraerán de las zonas de préstamo aprobadas por el Supervisor y deberán cumplir con las características establecidas en las especificaciones correspondientes.

Equipo

202.07

El Contratista propondrá, para consideración del Supervisor, los equipos más adecuados para las operaciones por realizar, los cuales no deben producir



daños innecesarios ni a construcciones ni a cultivos; y garantizarán el avance físico de ejecución, según el programa de trabajo, que permita el desarrollo de las etapas constructivas siguientes.

Los equipos de excavación deberán disponer de sistemas de silenciadores. Cuando se trabaje cerca a zonas ambientalmente sensibles, tales como colegios, hospitales, mercados y otros que considere el Supervisor, aunado a los especificados en el Estudio de Impacto Ambiental, los trabajos se harán manualmente si es que los niveles de ruido sobrepasan los niveles máximos recomendados.

Requerimientos de construcción

202.08 Excavación

Antes de iniciar las excavaciones se requiere la aprobación, por parte del Supervisor, de los trabajos de topografía, desbroce, limpieza y demoliciones, así como los de remoción de especies vegetales, cercas de alambre y de instalaciones de servicios que interfieran con los trabajos a ejecutar.

Las obras de excavación deberán avanzar en forma coordinada con las de drenaje del Proyecto, tales como alcantarillas, desagües, alivios de cunetas y construcción de filtros. Además se debe garantizar el correcto funcionamiento del drenaje y controlar fenómenos de erosión e inestabilidad.

La secuencia de todas las operaciones de excavación debe ser tal, que asegure la utilización de todos los materiales aptos y necesarios para la construcción de las obras señaladas en los planos del Proyecto o indicadas por el Supervisor.

La excavación de la explanación se debe ejecutar de acuerdo con las secciones transversales del Proyecto o las instrucciones del Supervisor. Toda sobre-excavación que haga el Contratista, por error o por conveniencia propia para la operación de sus equipos, correrá por su cuenta, costo y riesgo y el Supervisor podrá suspenderla, si lo estima necesario, por razones técnicas o económicas.

Cuando la altura del talud de corte sea mayor de 7 m (en suelos), o de diez metros (10 m en rocas), o según lo especifique el Proyecto, y la calidad del material por excavar lo exija, deberán construirse banquetas de corte con pendiente hacia el interior del talud a una cuneta que debe recoger y encauzar las aguas superficiales hacia áreas donde el talud no sea afectado.



El ancho mínimo de la terraza deberá permitir la operación normal de los equipos de construcción. La pendiente longitudinal de las banquetas y su dimensionamiento deberá especificarse en el Proyecto o seguir las indicaciones del Supervisor.

Al alcanzar el nivel de la subrasante en la excavación de material suelto, se deberá escarificar una profundidad mínima de 15 cm, conformar de acuerdo con las pendientes transversales especificadas y compactar, según las exigencias de compactación definidas en la **Subsección 202.19.**

Si los suelos encontrados a nivel de subrasante están constituidos por suelos inestables, el Supervisor ordenará las modificaciones que corresponden a las instrucciones del párrafo anterior, con el fin de asegurar la estabilidad de la subrasante. En este caso se aplicará lo especificado en la **Sección 207.**

En caso de que al nivel de la subrasante se haya determinado la existencia de propiedades físicas propias de suelos expansivos, se priorizará su estabilización o será de aplicación lo especificados en la **Sección 207,** en caso que los documentos del Proyecto o el Supervisor determinen su reemplazo, la profundidad de la excavación se determinará en base a un análisis de esfuerzos y deformaciones para las condiciones existentes de los materiales que conformarán la plataforma vial y del terreno de fundación. Los materiales de reemplazo deberán cumplir con las características definidas en la **Sección 205.**

Las cunetas y bermas deben construirse de acuerdo con las secciones, pendientes transversales y cotas especificadas en el Proyecto o las instrucciones del Supervisor.

Todo daño posterior a la ejecución de estas obras, causado por el Contratista, debe ser subsanado por éste, sin costo alguno para la entidad contratante.

Para las excavaciones en roca, los procedimientos, tipos y cantidades de explosivos y equipos que el Contratista proponga utilizar, deberán estar aprobados previamente por el Supervisor; así como la secuencia y disposición de las voladuras, las cuales se deberán proyectar en tal forma que sea mínimo su efecto fuera de los taludes proyectados. El Contratista garantizará la dirección y ejecución de las excavaciones en roca, considerando lo indicado en la **Subsección 05.05.**

Toda excavación en roca será hasta 15 cm por debajo de las cotas de subrasante, dicha área allanada y libre de puntas de roca, se deberá rellenar,



conformar y compactar con material seleccionado proveniente de las excavaciones o con material de subbase granular, según lo determine el Supervisor.

La superficie final de la excavación en roca deberá encontrarse libre de cavidades que permitan la retención de agua y tendrá, además, pendientes transversales y longitudinales que garanticen el correcto drenaje superficial.

202.09 Ensanche o modificación del alineamiento de plataformas existentes

En los Proyectos de mejoramiento de vías, donde se conserve la plataforma existente, los procedimientos que utilice el Contratista deberán permitir la ejecución de los trabajos de ensanche o modificación del alineamiento, evitando la contaminación del afirmado con materiales arcillosos, orgánicos o vegetales.

Los materiales excavados deberán cargarse y transportarse hasta los sitios de utilización o establecidos en el Proyecto o aprobados por el Supervisor.

Así mismo, el Contratista deberá garantizar el tránsito y conservar la superficie de rodadura existente, según se indica en la **Sección 103**.

Si el Proyecto exige el ensanche del afirmado existente, las fajas laterales se excavarán hasta el nivel de subrasante, dándole a ésta, posteriormente, el tratamiento indicado en la **Subsección 202.08**.

En las zonas de ensanche de terraplenes, el talud existente deberá cortarse en forma escalonada de acuerdo con lo que establezcan el Proyecto y las indicaciones del Supervisor.

202.10 Taludes

La excavación de los taludes se realizará adecuadamente para no dañar su superficie final, evitar la descompresión prematura o excesiva de su pie y contrarrestar cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad del talud de corte final.

Los trabajos de excavación de taludes sea en cualesquiera de los materiales clasificados se debe ajustar a las consideraciones técnicas (Geología y Geotecnia) contenidas en el Proyecto en especial a los taludes considerados en los sectores críticos, cualquier modificación al respecto deberá ser coordinada con el Supervisor de la Obra si este lo considere pertinente.



El Contratista deberá comunicar con suficiente anticipación a la Supervisión el comienzo de cualquier excavación, y el sistema de ejecución previsto, para obtener la aprobación del proceso constructivo.

Cuando los taludes excavados, tienen más de 7 m, debido a que implica un riesgo potencial para la integridad física de los usuarios de la carretera, y se presenten síntomas de inestabilidad, se deberán hacer terrazas o banquetas de corte y realizar labores de sembrado de vegetación típica en la zona afectada para evitar la erosión, ocurrencia de derrumbes, o deslizamientos que puedan interrumpir las labores de obra, así como la interrupción del tránsito en la etapa operativa, para evitar aumentar los costos de mantenimiento. En los lugares que se estime conveniente, se deberán construir muros de contención.

El Contratista deberá realizar una inspección adecuada antes de realizar la excavación de los taludes, considerando la presencia de terrenos de sembríos, canales de regadíos, tomas de agua, diques y/o cualquier almacenamiento de agua en las zonas del talud superior; y de acuerdo a esta evaluación empezar a realizar los trabajos respectivos. Por ningún motivo el Contratista iniciara los trabajos si no ha establecido estas zonas debido a que podría generarse una nueva distribución de los flujos de las aguas y generar deslizamientos en las zonas de excavación. En el caso de que encuentre agua en los taludes de corte realizados, el Contratista deberá establecer inmediatamente un plan de contingencia para su control o derivación antes de continuar con los trabajos de estabilización del talud, en caso contrario podría causar una inestabilidad operativa imputable al Contratista. Todos estos trabajos deberán realizarse con la aprobación de la Supervisión.

Cuando sea preciso adoptar medidas especiales para la protección superficial del talud, tales como plantaciones superficiales, revestimientos, etc., previstas en el Proyecto u ordenadas por el Supervisor, estos trabajos deberán realizarse inmediatamente después de la excavación del talud. Estos trabajos se harán de acuerdo a lo que se estipula en las **Secciones 901, 902, 903 y 904.**

En el caso que los taludes presenten deterioro antes del recibo definitivo de las obras, el Contratista eliminará los materiales desprendidos o movidos y realizará las correcciones complementarias ordenadas por el Supervisor.



Si dicho deterioro es imputable a una mala ejecución de las excavaciones, el Contratista será responsable por los daños ocasionados y, por lo tanto, las correcciones se efectuarán a su cuenta, costo y riesgo.

202.11 Excavación Complementaria

La construcción de zanjas de drenaje, zanjas interceptoras y acequias, así como el mejoramiento de obras similares y cauces naturales deberá efectuarse de acuerdo con los alineamientos, secciones y cotas indicados en el Proyecto o aprobados por el Supervisor.

Toda desviación de las cotas y secciones especificadas, especialmente si causa estancamiento del agua o erosión, deberá ser subsanada por el Contratista y aprobada por el Supervisor y sin costo adicional para la entidad contratante.

202.12 Utilización de materiales excavados y disposición de sobrantes

Todos los materiales provenientes de las excavaciones de la explanación que sean utilizables y, según el Proyecto, estas especificaciones o aprobadas por el Supervisor, necesarios para la construcción o protección de terraplenes, pedraplenes u otras partes de las obras proyectadas, se deberán utilizar en ellos. El Contratista no podrá disponer de los materiales provenientes de las excavaciones ni retirarlos para fines distintos del contrato, sin autorización previa del Supervisor.

Los materiales provenientes de la remoción de capa vegetal, deberán almacenarse para su uso posterior en sitios accesibles, y de manera aceptable para el Supervisor; estos materiales se deberán usar preferentemente para el recubrimiento de los taludes de los terraplenes terminados, áreas de canteras explotadas y niveladas o donde lo disponga el Proyecto o el Supervisor. Para mayor referencia, ver el **Capítulo 9**.

Los materiales sobrantes de la excavación deberán ser colocados en los DME indicados en el Proyecto, según lo indicado en la **Sección 209**. De acuerdo con las instrucciones del Supervisor y en zonas aprobadas por éste, se usarán para el tendido de los taludes de terraplenes o para emparejar las zonas laterales de la vía y de las canteras. Se dispondrán en tal forma que no ocasionen ningún perjuicio al drenaje de la carretera o a los terrenos que ocupen, a la visibilidad en la vía ni a la estabilidad de los taludes o del terreno al lado y debajo de la carretera. Todos los materiales sobrantes se deberán



extender y emparejar de tal modo que permitan el drenaje de las aguas alejándolas de la vía, sin estancamiento y sin causar erosión, y se deberán conformar para presentar una buena apariencia.

Los materiales aprovechables de las excavaciones de zanjas, acequias y similares, se deberán utilizar en los terraplenes del Proyecto, extender o acordonar a lo largo de los cauces excavados, o disponer según lo determine y apruebe el Supervisor.

202.13 Excavación en zonas de préstamo

Los materiales adicionales que se requieran para la terminación de las obras proyectadas o indicadas por el Supervisor, se obtendrán mediante el ensanche adecuado de las excavaciones del Proyecto o de zonas de préstamo establecidas y/o previamente aprobadas por el Supervisor.

Para la excavación en zonas de préstamo se debe verificar que no se hayan producido desestabilizaciones en las áreas de corte que produzcan derrumbes y que pongan en peligro al personal de obra. Los cortes de gran altura se harán con aprobación del Supervisor.

Si se utilizan materiales de las playas del río, el nivel de extracción debe estar sobre el nivel del curso de las aguas para que las maquinarias no remuevan material que afecte el ecosistema acuático, debiendo ceñirse a lo dispuesto a la Ley N° 28221 Ley que Regula el Derecho por Extracción de Materiales de los Álveos o Cauces de los Ríos por las Municipalidades.

En la excavación de préstamos se seguirá todo lo pertinente a los procedimientos de ejecución de las excavaciones de la explanación y complementarios.

202.14 Hallazgos arqueológicos, paleontológicos y sitios históricos

En caso de algún descubrimiento de restos arqueológicos, sitios de asentamientos humanos antiguos o de época colonial, reliquias, fósiles u otros objetos de interés histórico arqueológico y paleontológico durante la ejecución de las obras, el Contratista seguirá los lineamientos dados en la **Subsección 05.04.**

202.15 Manejo del agua superficial

Cuando se estén efectuando las excavaciones, se deberá tener cuidado para que no se presenten depresiones y hundimientos y acordonamientos de material que afecten el normal escurrimiento de las aguas superficiales.



En los trabajos de excavación, no deben alterarse los cursos de aguas superficiales, para lo cual mediante obras hidráulicas se debe encauzar, reducir la velocidad del agua y disminuir la distancia que tiene que recorrer. Estas labores traerán beneficios en la conservación del medio ambiente y disminución en los costos de mantenimiento, así como evitará retrasos en la obra.

202.16 Limpieza final

Al terminar los trabajos de excavación, el Contratista deberá limpiar y conformar las zonas laterales de la vía, las de préstamo y las de disposición de sobrantes, de acuerdo con las indicaciones del Supervisor.

202.17 Referencias topográficas

Durante la ejecución de la excavación para explanaciones complementarias y préstamos, el Contratista deberá mantener, sin alteración, las referencias topográficas y marcas especiales para limitar las áreas de trabajo.

Aceptación de los Trabajos

202.18 Criterios

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar que el Contratista disponga de todos los permisos requeridos para la ejecución de los trabajos.
- Comprobar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el Contratista.
- Verificar la eficiencia y seguridad de los procedimientos adoptados por el Contratista.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Verificar el alineamiento, perfil y sección de las áreas excavadas.
- Comprobar que toda superficie para base de terraplén o subrasante mejorada quede limpia y libre de materia orgánica
- Verificar la compactación de la subrasante.



- Medir los volúmenes de trabajo ejecutado por el Contratista de acuerdo a los documentos aprobados del Proyecto y la presente especificación.

El trabajo de excavación se dará por terminado y aceptado cuando el alineamiento, el perfil, la sección y la compactación de la subrasante estén de acuerdo con los planos del Proyecto, con éstas especificaciones y las instrucciones del Supervisor.

La cota de cualquier punto de la subrasante conformada y terminada no deberá variar en más de 10 mm con respecto a la cota proyectada.

Las cotas de fondo de las cunetas, zanjas y canales no deberán diferir en más de 15 mm de las proyectadas.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, y a satisfacción del Supervisor.

Las secciones transversales ejecutadas serán debidamente medidas y anotadas por el Contratista. El Supervisor verificará estos registros y si los encontrase correctos aprobará las mediciones como base para el pago.

No se pagarán las excavaciones efectuadas en exceso al de las secciones transversales aprobadas. Dichas sobre excavaciones serán rellenadas como lo ordene el Supervisor, con material de sub-base o de base granular, los gastos correrán por cuenta del Contratista.

La evaluación de los trabajos de excavación en explanaciones se efectuará según lo indicado en la **Subsección 04.11.**

Alternativamente, a los controles de compactación y deflectometría se deberá aplicar otros ensayos de calidad a nivel de subrasante como Ensayo de Placa, Penetración Dinámica de Cono (PDC), Geogauge.

202.19 Compactación de la subrasante en zonas de excavación

Una vez terminados los trabajos de excavación se procederá a efectuar el escarificado de la subrasante en las zonas de corte, hasta una profundidad de 15 cm por debajo del nivel de subrasante de replanteo, y se procederá a eliminar las piedras mayores de 3" de diámetro previo a la conformación (riego y batido), perfilado y compactado.

El Contratista suministrará y usará las plantillas, para el control de anchos y cotas. La cota de cualquier punto de la subrasante perfilada no deberá variar en más de 10 mm con respecto a la cota de replanteo aprobada.



La compactación de la subrasante, en los casos establecidos en la **Subsección 202.08**, se verificará de acuerdo con los siguientes criterios:

- La densidad de la subrasante compactada se definirá sobre un mínimo de 6 determinaciones, en sitios elegidos al azar con una frecuencia de una, cada 250 m² de plataforma terminada y compactada.
- Las densidades individuales del lote (D_i) deben ser, como mínimo, el 95% de la máxima densidad en el ensayo Proctor Modificado de referencia (D_e).

$$D_i \geq 0.95 D_e$$

D_i : Densidades individuales

D_e : Máxima densidad en el ensayo Proctor Modificado

202.20 Ensayo de Deflectometría sobre la subrasante terminada

Se requiere un estricto control de calidad tanto de los materiales como de los equipos, procedimientos constructivos y en general de todos los elementos involucrados en la puesta en obra de la subrasante. De dicho control forma parte la medición de las deflexiones que se menciona a continuación.

Una vez terminada la explanación se hará deflectometría cada 25 metros en ambos sentidos, es decir, en cada uno de los carriles, mediante el empleo de Viga Benkelman, FWD o cualquier equipo de alta confiabilidad, antes de cubrir la subrasante con la subbase o con la base granular. Se analizará la deformada o curvatura de la deflexión obtenida de acuerdo al procedimiento del dispositivo utilizado (en el caso del FWD de por lo menos tres mediciones por punto).

Los puntos de medición estarán georeferenciados con el estacado del Proyecto, de tal manera que exista una coincidencia con relación a las mediciones que se efectúen a nivel de carpeta.

Un propósito específico de la medición de deflexiones sobre la subrasante, es la determinación del módulo resiliente de la capa, con la finalidad de detectar problemas puntuales de baja resistencia por módulos resilientes inferiores al de diseño, que puedan presentarse durante el proceso constructivo, su análisis y la oportuna aplicación de los correctivos a que hubiere lugar.



Los trabajos e investigaciones antes descritos, serán efectuados por el Contratista.

El Contratista deberá cumplir con lo indicado en la **Sección 103** para la protección del equipo de trabajo y el control de tránsito. Para el caso de la Viga Benkelman el Contratista proveerá un volquete operado con las siguientes características:

- Clasificación del vehículo: C2
- Peso con carga en el eje posterior: 82 kN (8.200 kg)
- Llantas del eje posterior: dimensión 10x20, 12 lonas. Presión de inflado: 0,56 MPa o 80 psi. Excelente estado.

El vehículo estará a disposición hasta que sean concluidas todas las evaluaciones de deflectometría.

El Contratista garantizará que el radio de curvatura de la deformada de la Subrasante que determine en obra sea preciso, para lo cual hará la provisión del equipo idóneo para la medición de las deflexiones.

Así mismo, para la ejecución de los ensayos deflectométricos, el Contratista hará la provisión del personal técnico, papelería, equipo de viga Benkelman doble o simples, equipo FWD u otro aprobado por la Supervisión, acompañante y en general, de todos los elementos que sean requeridos para llevar a efecto satisfactoriamente los trabajos antes descritos.

Los ensayos de deflectometría serán también realizados con las mismas condiciones y exigencias en las subrasantes terminadas en secciones en terraplén. De cada tramo que el Contratista entregue a la Supervisión completamente terminado para su aprobación, deberá enviar un documento técnico con la información de deflectometría, procesada y analizada. La Supervisión tendrá 24 horas hábiles para aprobar los ensayos presentados y de ser el caso, dictara las medidas correctivas que sean necesarias. Se requiere realizar el procedimiento indicado, para colocar la capa estructural siguiente.



Medición

202.21

La unidad de medida será el metro cúbico (m^3), aproximado al metro cúbico completo, de material excavado en su posición original. Todas las excavaciones para explanaciones, zanjas, acequias y préstamos serán medidas por volumen ejecutado, con base en las áreas de corte de las secciones transversales del Proyecto, original o modificado, verificadas por el Supervisor antes y después de ejecutarse el trabajo de excavación y según se indica en la **Subsección 07.02(a) (1)**.

No se medirán las excavaciones que el Contratista haya efectuado por error o por conveniencia fuera de las líneas de pago del Proyecto o las autorizadas por el Supervisor. Si dicha sobre-excavación se efectúa en la subrasante o en una calzada existente, el Contratista deberá rellenar y compactar los respectivos espacios, a su cuenta, costo y riesgo, y usando materiales y procedimientos aceptados por el Supervisor.

No se medirán ni se autorizarán pagos para los volúmenes de material colocado, perfilado, nivelado y compactado sobre plataforma excavada en roca.

En las zonas de préstamo, solamente se medirán en su posición original los materiales aprovechables y utilizados en la construcción de terraplenes y pedraplenes; alternatively, se podrá establecer la medición de los volúmenes de materiales de préstamo utilizados, en su posición final en la vía, reduciéndolos a su posición original mediante relación de densidades determinadas por el Supervisor.

No se medirán ni se autorizarán pagos para los volúmenes de material removido de derrumbes, durante los trabajos de excavación de taludes, cuando a juicio del Supervisor fueren causados por procedimientos inadecuados o error del Contratista.



Pago

202.22

El trabajo de excavación se pagará al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con el Proyecto o las instrucciones del Supervisor, para la respectiva clase de excavación ejecutada satisfactoriamente y aceptada por éste. Se deberá considerar para este fin lo dispuesto en la **Subsección 07.05.**

Deberá cubrir, además los costos de conformación de la subrasante, su compactación en todo tipo de terreno según se indica en la **Subsección 202.19,** la limpieza final, conformación de las zonas laterales y las de préstamo y disposición de sobrantes; los costos de perforación en roca, precortes, explosivos y voladuras; la excavación de acequias, zanjas, obras similares y el mejoramiento de esas mismas obras o de cauces naturales.

El Contratista deberá considerar, en relación con los explosivos, todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control, hasta el sitio de utilización.

En las zonas del Proyecto donde se deba realizar trabajo de remoción de la capa vegetal, el precio unitario deberá cubrir el almacenamiento de los materiales necesarios para las obras; y cuando ellos se acordonan a lo largo de futuros terraplenes, su posterior traslado y extensión sobre los taludes de éstos, así como el traslado y extensión sobre los taludes de los cortes donde esté proyectada su utilización.

Si el material excavado es roca, el precio unitario deberá cubrir su eventual almacenamiento para uso posterior, en las cantidades y sitios señalados por el Supervisor.

En los Proyectos de ensanche o modificación del alineamiento de plataformas existentes, donde debe garantizarse la seguridad y mantenimiento del tránsito, el Contratista deberá considerar en su precio unitario todo lo que se especifica en la **Sección 103.**

El precio unitario para excavación de préstamos deberá cubrir todos los costos de limpieza y remoción de capa vegetal de las zonas de préstamo, la excavación y los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de



explotación y de alquiler de las fuentes de materiales de préstamo, según corresponda.

No habrá pago por las excavaciones y disposición o desecho de los materiales no utilizados en las zonas de préstamo, pero es obligación del Contratista dejar el área bien conformada o restaurada de acuerdo al Plan de Manejo Ambiental.

El transporte de los materiales provenientes de excedentes de la excavación se medirá y pagará de acuerdo con la **Sección 700**.

Partida de pago	Unidad de pago
Alternativa I	
202.A Excavación sin clasificar	Metro cúbico (m ³)
Alternativa II	
202.B Excavación clasificada	
(1) Excavación en Roca Fija	Metro cúbico (m ³)
(2) Roca Fracturada (suelta)	Metro cúbico (m ³)
(3) Material Suelto	Metro cúbico (m ³)



SECCION 205

TERRAPLENES



SECCIÓN 205

Terraplenes

Descripción

205.01 Generalidades

Este trabajo consiste en escarificar, nivelar y compactar el terreno de fundación, así como de conformar y compactar las capas del relleno (base, cuerpo y corona) hasta su total culminación, con materiales apropiados provenientes de las excavaciones del prisma vial o préstamos laterales o de cantera, realizados luego de la ejecución de las obras de desbroce, limpieza, demolición, drenaje y subdrenaje; de acuerdo con la presente especificación, el Proyecto y aprobación del Supervisor.

En los terraplenes se distinguirán tres partes o zonas constitutivas:

- Base, parte del terraplén que está por debajo de la superficie original del terreno, la que ha sido variada por el retiro de material inadecuado.
- Cuerpo, parte del terraplén comprendida entre la base y la corona.
- Corona, parte superior del terraplén comprendida entre el nivel superior del cuerpo y el nivel de subrasante, construida con un espesor de 30 cm, salvo que los planos del Proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente.

En el caso en el que el terreno de fundación se considere adecuado, la parte del terraplén denominado base no se tendrá en cuenta.

Materiales

205.02 Requisitos de los materiales

Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas (canteras); deberán estar libres de sustancias deletéreas,



de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales, de acuerdo a las exigencias del proyecto y autorizado por el Supervisor.

Si por algún motivo sólo existen en la zona, materiales expansivos, se deberá proceder a estabilizarlos antes de colocarlos en la obra. Las estabilizaciones serán definidas previamente en el Expediente Técnico.

Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán cumplir los requisitos indicados en la **Tabla 205-01**.

Tabla 205-01
Requisitos de los materiales

Condición	Partes del terraplén		
	Base	Cuerpo	Corona
Tamaño máximo (cm)	15	10	7.5
% Máximo de fragmentos de roca >7,62 cm	30	20	
Índice de plasticidad (%)	<11	<11	<10

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste de los Ángeles: 60% máx. (MTC E 207)
- Tipo de Material: A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3

En la **Tabla 205-02** se especifican las normas y frecuencias de los ensayos a ejecutar para cada una de las condiciones establecidas en la **Tabla 205-01**.

205.03 Empleo

Los documentos del Proyecto o las especificaciones especiales indicarán el tipo de suelo por utilizar en cada capa. En casos que el cuerpo y base del terraplén estuvieran sujetos a inundaciones o al riesgo de saturación total, se utilizará para su construcción las especificaciones de la **Sección 206**.

Equipo

205.04

El equipo empleado para la construcción de terraplenes deberá ser compatible con los procedimientos de ejecución adoptados y requiere aprobación previa del Supervisor, 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.



Los equipos deberán cumplir las exigencias técnicas ambientales para la emisión de gases contaminantes y ruidos, además de cumplir las consideraciones descritas en la **Subsección 06.01**.

Requerimientos de construcción

205.05 Generalidades

Los trabajos de construcción de terraplenes se deberán efectuar según los procedimientos descritos en ésta Sección. El procedimiento para determinar los espesores de compactación deberá incluir pruebas aleatorias longitudinales, transversales y con profundidad, verificando que se cumplan con los requisitos de compactación en toda la profundidad propuesta.

El espesor propuesto deberá ser el máximo que se utilice en obra, el cual en ningún caso debe exceder de 30 cm.

Si los trabajos de construcción o ampliación de terraplenes afectaran el tránsito normal en la vía o en sus intersecciones y cruces con otras vías, el Contratista será responsable de tomar las medidas para mantenerlo adecuadamente, según se especifica en la **Sección 103**.

La secuencia de construcción de los terraplenes deberá ajustarse a las condiciones estacionales y climáticas que imperen en la región del Proyecto. Cuando se haya programado la construcción de las obras previamente requeridas a la elevación del cuerpo del terraplén, no deberá iniciarse la construcción de éste, antes de que las alcantarillas y muros de contención se terminen en un tramo no menor de 500 m adelante del frente del trabajo, en cuyo caso deberán concluirse también, en forma previa, los rellenos de protección que tales obras necesiten.

Cuando se hace el vaciado de los materiales por lo general se produce polvo, para lo cual se debe contar con equipos apropiados de protección al personal; asimismo deben tomarse las medidas de seguridad correspondiente para evitar la presencia de personas ajenas a la obra, y prevenir accidentes u otros contratiempos.

205.06 Preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción de cualquier terraplén, el terreno base de éste deberá estar desbrozado y limpio, según se especifica en la **Sección 201** y ejecutadas las demoliciones de estructuras que se requieran, según se



especifica en la **Sección 604**. El Supervisor determinará los eventuales trabajos de remoción de capa vegetal y retiro del material inadecuado, así como el drenaje del área base según la **Sección 202**, necesarios para garantizar la estabilidad del terraplén.

Cuando el terreno base esté satisfactoriamente limpio y drenado, se deberá escarificar, conformar y compactar, de acuerdo con las exigencias de compactación definidas en la presente especificación, en una profundidad mínima de 15 cm, aun cuando se deba construir sobre un afirmado.

En las zonas de ensanche de terraplenes existentes o en la construcción de éstos sobre terreno inclinado, previamente preparado, el talud existente o el terreno natural deberán cortarse en forma escalonada (banquetas de estabilidad), de acuerdo con los planos o las instrucciones del Supervisor, para asegurar la estabilidad del terraplén nuevo.

Cuando lo señale el Proyecto o lo apruebe el Supervisor, la capa superficial de suelo existente que cumpla con lo señalado en la **Subsección 205.02**, deberá mezclarse con el material que se va a utilizar en el terraplén nuevo.

Si el terraplén se construye sobre turba o suelos blandos, se deberá asegurar la eliminación total o parcial de estos materiales, su tratamiento previo o la utilización de cualquier otro medio propuesto por el Contratista y autorizado por el Supervisor, que permita mejorar la calidad del soporte, hasta que éste ofrezca la suficiente estabilidad para resistir esfuerzos debidos al peso del terraplén terminado.

Si el Proyecto considera la colocación de un geotextil como capa de separación o de refuerzo del suelo, éste se deberá tender conforme se describe en la **Sección 511**.

205.07 Base y cuerpo del terraplén

El Supervisor sólo autorizará la colocación de materiales de terraplén cuando el terreno base esté adecuadamente preparado y consolidado, según se indica en la Subsección anterior.

El material del terraplén se colocará en capas de espesor uniforme, el cual será lo suficientemente reducido para que, con los equipos disponibles, se obtenga el grado de compactación exigido. Los materiales de cada capa serán de características uniformes. No se extenderá ninguna capa, mientras no se haya comprobado que la subyacente cumple las condiciones de compactación exigidas.



Se deberá garantizar que las capas presenten adherencia y homogeneidad entre sí.

Será responsabilidad del Contratista asegurar un contenido de humedad que garantice el grado de compactación exigido en todas las capas del cuerpo del terraplén.

En los casos especiales en que la humedad del material sea considerablemente mayor que la adecuada para obtener la compactación prevista y cuando el exceso de humedad no pueda ser eliminado por el sistema de aireación, el Contratista propondrá y ejecutará los procedimientos más convenientes para ello, previa autorización del Supervisor.

Obtenida la humedad más conveniente, se procederá a la compactación mecánica de la capa.

En las bases y cuerpos de terraplenes, las densidades que alcancen no serán inferiores a las que den lugar a los correspondientes porcentajes de compactación exigidos, de acuerdo con la **Subsección 205.12(c) (1)**.

Las zonas que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a otras obras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando para la compactación, se compactarán con equipos apropiados para el caso, en tal forma que las densidades obtenidas no sean inferiores a las determinadas en esta especificación para la capa del terraplén masivo que se esté compactando.

El espesor de las capas de terraplén, será definido por el Contratista con base en la metodología de trabajo y equipo, y en ningún caso deberá exceder de 30 cm aprobada previamente por el Supervisor, que garantice el cumplimiento de las exigencias de compactación uniforme en todo el espesor.

En sectores previstos para la instalación de elementos de seguridad como guardavías, se deberá ensanchar el terraplén de acuerdo a lo indicado en los planos o como lo ordene el Supervisor.

205.08 Corona del terraplén

Salvo que los planos del Proyecto o las especificaciones particulares establezcan algo diferente, la corona deberá tener un espesor compacto mínimo de 30 cm construidos en dos capas de igual espesor, los cuales se conformarán utilizando suelos, según lo establecido en la **Subsección 205.02**, se humedecerán o airearán según sea necesario, y se compactarán



mecánicamente hasta obtener los niveles señalados en la **Subsección 205.12(c) (1)**.

Los terraplenes se deberán construir hasta una cota superior a la indicada en los planos, en la dimensión suficiente para compensar los asentamientos producidos por efecto de la consolidación y obtener la subrasante final a la cota proyectada, con las tolerancias establecidas en la **Subsección 205.12(c)**.

Si por causa de los asentamientos, las cotas de subrasante resultan inferiores a las proyectadas, incluidas las tolerancias indicadas en esta especificación, se deberá escarificar la capa superior del terraplén en el espesor que ordene el Supervisor y adicionar del mismo material utilizado para conformar la corona, efectuando la homogenización, humedecimiento o secamiento y compactación requeridos hasta cumplir con la cota de subrasante.

Si las cotas finales de subrasante resultan superiores a las proyectadas, teniendo en cuenta las tolerancias de esta especificación, el Contratista deberá escarificar la capa superior del terraplén en el espesor que ordene el Supervisor, efectuando la homogenización, humedecimiento o secamiento y compactación requeridos hasta cumplir con la cota de subrasante.

205.09 Acabado

Al terminar cada jornada, la superficie del terraplén deberá estar compactada y bien nivelada, con peraltes o bombeo suficientes que permita el escurrimiento de aguas de lluvias.

205.10 Limitaciones en la ejecución

La construcción de terraplenes sólo se llevará a cabo cuando no exista presencia de precipitaciones pluviales y la temperatura ambiental no sea inferior a 6 °C.

Deberá prohibirse la acción de todo tipo de tránsito sobre las capas en ejecución, hasta que se haya completado su compactación.

205.11 Estabilidad

El Contratista responderá, hasta la aceptación final, por la estabilidad de los terraplenes construidos con cargo al contrato y asumirá todos los costos que resulten de sustituir o reconstruir cualquier tramo que, a juicio del Supervisor, haya sido mal construido por descuido o error atribuible a aquel.



Se debe considerar la revegetación en las laderas adyacentes para evitar la erosión pluvial, según lo estipulado en la **Sección 901, 902 y 903**, según lo indique el Proyecto o lo apruebe el Supervisor.

Si el trabajo ha sido hecho adecuadamente conforme a las especificaciones, planos del Proyecto e indicaciones del Supervisor y resultaren daños ocasionados por causas de fuerza mayor o hechos fortuitos, debidamente comprobados, su tratamiento será acorde a lo establecido en los documentos del contrato, seguros y otras normas aplicables.

Aceptación de los trabajos

205.12 Criterio

Los trabajos para su aceptación estarán sujetos a lo siguiente:

a. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo utilizado por el Contratista.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Exigir el cumplimiento de las medidas de seguridad y mantenimiento de tránsito, según requerimientos de la **Sección 103**.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Comprobar que los materiales por emplear cumplan los requisitos de calidad exigidos en la **Subsección 205.02**.
- Verificar y aprobar la compactación de todas las capas del terraplén.

Realizar medidas de control topográfico para determinar las dimensiones y perfil longitudinal de los terraplenes.

b. Calidad de los materiales

De cada procedencia de los suelos empleados para la construcción de terraplenes y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:



- Granulometría
- Límites de Consistencia.
- Abrasión.
- Clasificación.

Los resultados deberán satisfacer las exigencias indicadas en la **Subsección 205.02**, según el nivel del terraplén, en caso contrario la Supervisión dispondrá el cambio de los materiales defectuosos.

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas de los materiales y ordenará el retiro de aquellas que, no cumplan con las especificaciones técnicas correspondientes o que pudieran presentar, restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

Además, efectuará verificaciones periódicas de la calidad del material que se establecen en la **Tabla 205-02**.

Tabla 205-02

Ensayos y frecuencias

Material o producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Terraplén	Granulometría	MTC E 204	D 422	T29	1 cada 1.000 m ³	Cantera
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 1.000 m ³	Cantera
	Contenido de material Orgánico	MTC E 118	—	—	1 cada 3.000 m ³	Cantera
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 3.000 m ³	Cantera
	Relación Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 1.000 m ³	Pista
	Compac-tación Base y cuerpo	MTC E 117	D 1556	T191	1 cada 500 m ²	Pista
	Compac-tación Corona	MTC E 124	D2922	T238	1 cada 250 m ²	Pista

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



c. Calidad del trabajo terminado

Cada capa terminada de terraplén deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a la rasante y pendientes establecidas.

Los taludes terminados no deberán acusar irregularidades a la vista.

La distancia entre el eje del Proyecto y el borde del terraplén no será menor que la distancia señalada en los planos aprobados del proyecto.

La cota de cualquier punto de la subrasante en terraplenes, conformada y compactada, no deberá variar en más de 1 cm de la cota proyectada.

No se tolerará en las obras concluidas, ninguna irregularidad que impida el normal escurrimiento de las aguas.

En adición a lo anterior, el Supervisor deberá efectuar las siguientes comprobaciones:

1. Compactación

Las determinaciones de la densidad de cada capa compactada se realizarán según se establece en la **Tabla 205-02** y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de 6 determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar.

Las densidades individuales (D_i) del tramo deberán ser, como mínimo, el 90% de la máxima densidad obtenida en el ensayo Proctor Modificado de referencia (D_e) para la base y cuerpo del terraplén y el 95% con respecto a la máxima obtenida en el mismo ensayo, cuando se verifique la compactación de la corona del terraplén.

$$D_i \geq 0,90 D_e \text{ (base y cuerpo)}$$

$$D_i > 0,95 D_e \text{ (corona)}$$

La humedad del trabajo no debe variar en $\pm 2\%$ respecto del Óptimo Contenido de Humedad obtenido con el Proctor Modificado.

El incumplimiento de estos requisitos originará el rechazo del tramo.

2. Irregularidades

Todas las tolerancias que excedan la presente especificación deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo y aprobadas por el Supervisor.



3. Protección de la corona del terraplén

La corona del terraplén no deberá quedar expuesta a las condiciones atmosféricas; por lo tanto, se deberá construir en forma inmediata la capa superior proyectada una vez terminada la compactación y el acabado final de aquella. Será responsabilidad del Contratista la reparación de cualquier daño a la corona del terraplén, por la demora en la construcción de la capa siguiente.

El trabajo de terraplenes será aceptado cuando se ejecute de acuerdo con esta especificación y las indicaciones del Supervisor.

d. Ensayo de deflectometría sobre la subrasante terminada

Se aplica lo indicado en la **Subsección 202.20.**

La evaluación de los trabajos de "Terraplenes" se efectuará de acuerdo a lo indicado en las **Subsección 04.11.**

Medición

205.13

La unidad de medida para los volúmenes de terraplenes será el metro cúbico (m^3), aproximado al metro cúbico completo, de material compactado, aprobada por el Supervisor, en su posición final.

Todos los terraplenes serán medidos por los volúmenes determinados según la **Subsección 07.02(a) (1)**, verificadas por el Supervisor antes y después de ser ejecutados los trabajos de terraplenes. Dichas áreas están limitadas por las siguientes líneas de pago:

- Las líneas del terreno (terreno natural, con capa vegetal removida, afirmado existente, cunetas y taludes existentes).
- Las líneas del Proyecto (nivel de subrasante, cunetas y taludes proyectados).

No habrá medida ni pago para los terraplenes efectuados por el Contratista, que por error o conveniencia, se hayan ejecutado fuera de las líneas del Proyecto o de las establecidas por el Supervisor.



No se medirán los terraplenes que haga el Contratista en sus caminos de acceso y obras auxiliares que no formen parte de las obras del Proyecto.

Pago

205.14

El trabajo de terraplenes se pagará al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el Supervisor y según lo dispuesto en la **Subsección 07.05.**

El precio unitario deberá cubrir los costos de escarificación, nivelación, conformación, compactación y demás trabajos preparatorios de las áreas en donde se haya de construir un terraplén nuevo; deberá cubrir, además, la colocación, conformación, humedecimiento o secamiento y compactación de los materiales utilizados en la construcción de terraplenes; y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de los terraplenes, de acuerdo con esta especificación, los planos y las instrucciones del Supervisor.

Los materiales para terraplenes provenientes de excavaciones del prisma vial, no se pagan en esta partida, por estar considerado su pago en la **Sección 202.**

La excavación de los materiales inadecuados requeridos para la construcción de terraplenes se paga de acuerdo a lo indicado en la **Sección 202.**

La obtención de los materiales para construcción de terraplenes provenientes de préstamos laterales o de cantera se pagarán en esta partida, en lo que respecta a su extracción, procesamiento y de corresponder, derechos de cantera.

El transporte del material se medirá y pagará de acuerdo con lo indicado en la **Subsección 700.**

Partida de pago	Unidad de pago
205.A Terraplenes	Metro cúbico (m ³)



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

SECCION 207

MEJORAMIENTO DE SUELOS



SECCIÓN 207

Mejoramiento de suelos

Descripción

207.01

Este trabajo consiste en excavar el terreno por debajo de la subrasante o de fundación de terraplenes y su remplazo parcial o total con materiales aprobados debidamente conformados, acomodados y compactados, de acuerdo con la presente especificación, conforme con las dimensiones, alineamientos y pendientes señalados en los planos del Proyecto y las instrucciones del Supervisor.

El mejoramiento de suelos también puede realizarse a través del uso de estabilizadores de suelos, acorde a lo que establezca el Proyecto, para lo cual debe tenerse en consideración los tipos de estabilizadores de suelos y los procedimientos y condiciones establecidas en el **Capítulo 3**.

Del mismo modo el mejoramiento de suelos puede ejecutarse mediante el uso de geotextiles, para cuyo caso se observará lo establecido en la **Sección 414**.

Materiales

207.02

Los materiales existentes y/o de adición deberán presentar una calidad tal, que la capa mejorada cumpla por lo menos, los requisitos exigidos para la corona de terraplén en la **Subsección 205.02**.

Equipo

207.03

Al respecto, se aplica todo lo descrito en la **Subsección 205.04**.



Requerimientos de construcción

207.04 Generalidades

Los trabajos de mejoramiento deberán efectuarse según los procedimientos descritos en ésta Sección, y serán aprobados por el Supervisor.

Dichos trabajos sólo se efectuarán cuando no haya precipitaciones pluviales y la temperatura ambiental, sea cuando menos de 6°C y los suelos se encuentren a un contenido de humedad inferior a su límite líquido.

Deberá prohibirse la acción de todo tipo de tránsito sobre las capas en ejecución, hasta que se haya completado su compactación.

Los espesores de las capas a conformar en el mejoramiento deberán ser como máximo de 30 cm, exceptuando los 30 cm por debajo del nivel de la subrasante que será conformado en 2 capas de 15 cm. En lo que corresponda deberán ceñirse a lo especificado en las **Subsecciones 205.07 y 205.08**.

Si los trabajos de mejoramiento afectan el tránsito de la vía o en sus intersecciones y cruces con otras vías, el Contratista será responsable de mantenerlo adecuadamente, según lo especificado en la **Sección 103**.

Los trabajos comprenderán, entre otras, las siguientes operaciones:

a. Escarificación

La escarificación se llevará a cabo en las zonas y con las profundidades que estipulen el Proyecto o el Supervisor, no debiendo en ningún caso afectar esta operación a una profundidad menor de 15 cm, ni mayor de 30 cm. Si la profundidad supera los 30 cm, será necesario aportar nuevo material, por capas, y compactar este material añadido.

Deberán señalarse y tratarse específicamente aquellas zonas en que la operación pueda interferir con obras de drenaje o refuerzo del terreno.

b. Compactación

El método de compactación elegido deberá garantizar la obtención de las compacidades mínimas necesarias establecidas en la **Subsección 207.06(b)(1)**. Con este objeto deberá elegirse adecuadamente, para cada zona de la obra, la granulometría del material, el espesor de capa, el tipo de maquinaria de compactación y el número de pasadas del equipo.



Deberán señalarse y tratarse específicamente las zonas que correspondan a la parte superior de obras de drenaje o refuerzo del terreno, para que no sean dañadas durante las labores de compactación.

Antes de los trabajos de compactación se debe verificar los usos de los suelos adyacentes, en caso de presencia de infraestructura sensible a esta actividad, se debe evaluar sus condiciones y efectuar las previsiones del caso, entre ellas de las viviendas y sus usuarios, para que no sufran inconvenientes cuando se realice esta labor.

207.05 Clasificación

Se considera la siguiente clasificación:

a. Mejoramiento involucrando el suelo existente.

En el caso el Proyecto prevean el mejoramiento involucrando los materiales del suelo existente, o el Supervisor lo considere conveniente, pueden presentarse dos situaciones, sea mediante la estabilización mecánica o combinación de suelos, éstos se disgregarán en las zonas y con la profundidad establecida en los planos, empleando procedimientos aprobados por el Supervisor.

Los materiales que se empleen para el mejoramiento del suelo y que deben ser transportados hasta el lugar donde se realizan las obras deben estar protegidos con lona, humedecidos adecuadamente y contar con las condiciones de seguridad para que éstas no se derramen a lo largo de su recorrido.

El suelo de aporte para el mejoramiento se aplicará en los sitios indicados en los documentos del Proyecto o definidos por el Supervisor, en cantidad tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente cumpla las exigencias de la **Subsección 207.02**, en el espesor señalado en el Proyecto o aprobado por el Supervisor.

Los materiales disgregados y los de adición, se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y, previa la eliminación de partículas mayores de 7.5 cm, se compactarán hasta obtener los niveles de densidad establecidos para la corona del terraplén en la **Subsección 205.12(c)(1)**.

Antes de efectuar los trabajos de compactación se debe verificar lo previsto en la **Subsección 207.04(b)**.

**b. Mejoramiento empleando únicamente material adicionado.**

Cuando los documentos del Proyecto prevean la construcción de la subrasante mejorada con aporte solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste debe ser excavado previamente en el espesor indicado en los documentos del Proyecto y reemplazado por el material de adición.

En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de 15 cm. Una vez que el Supervisor considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación.

En el caso que el mejoramiento con material totalmente adicionado implique la remoción total del suelo existente, ésta se efectuará en el espesor previsto en los planos o dispuesto por la Supervisión en acuerdo con el procedimiento descrito en la **Subsección 202.08**. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado por el Supervisor, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

El espesor de las capas vendrá delimitado por la maquinaria de compactación que se emplee, el tipo de suelo y el grado mínimo de compactación que se desee alcanzar, variando desde los 15 cm hasta los 30 cm.

El mejoramiento hasta el nivel de la subrasante, deberá incluir en todos los casos, la conformación o reconstrucción de cunetas.

Los materiales que se reúnan o almacenen temporalmente deben estar protegidos contra las lluvias.

c. Mejoramiento adicionando únicamente material manufacturado

Cuando los documentos del Proyecto prevean la construcción de la subrasante mejorada solamente con la adición de material



manufacturado, se aplicarán lo previsto en las **Secciones 404, 405, 406, 407, 408** y la correspondiente a mejoramiento de subrasante con geotextiles. Éstas se efectuarán en las características y procedimientos previstos en el Proyecto o aprobado por la Supervisión.

Aceptación de los trabajos

207.06 Criterios

a. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo utilizado por el Contratista.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Exigir el cumplimiento de las medidas de seguridad y mantenimiento del tránsito, según requerimientos de la **Sección 103**.
- Comprobar que los materiales por emplear cumplan los requisitos de calidad exigidos en la **Tabla 205-01**, en lo que sea aplicable.
- Verificar y aprobar la compactación de todas las capas de suelo que forman parte de la actividad especificada.
- Realizar medidas de control topográfico para determinar las dimensiones y perfil longitudinal.

b. Calidad del trabajo terminado

El suelo mejorado deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse al nivel de subrasante y pendientes establecidas. El Supervisor deberá verificar, además que:

- La distancia entre el eje del Proyecto y el borde de la capa no sea inferior a la señalada en los planos o la definida por él.
- La cota de cualquier punto, no varíe en más de 1 cm de la cota proyectada.

Así mismo, efectuará las siguientes comprobaciones:



1. Compactación

Las determinaciones de la densidad de cada capa compactada mejorada se realizarán según se establece en la **Tabla 205-02** y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de 6 determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar.

Las densidades individuales del tramo (D_i) deberán ser, como mínimo, el 95% de la máxima densidad obtenida en el ensayo Proctor Modificado de referencia (D_e).

$$D_i \geq 0,95 D_e$$

La humedad de trabajo no debe variar en $\pm 2\%$ respecto del Óptimo Contenido de Humedad obtenido con el Proctor Modificado.

El incumplimiento de estos requisitos originará el rechazo del trabajo realizado.

Siempre que sea necesario, se efectuarán las correcciones por presencia de partículas sobredimensionadas, previamente al cálculo de los porcentajes de compactación.

En caso que el mejoramiento se construya en varias capas se aplicará los requisitos establecidos en la **Tabla 205-02** en lo referido a Relación Densidad – Humedad y Compactación.

El incumplimiento de los grados mínimos de compactación originará el rechazo del trabajo realizado.

2. Espesor

Sobre la base de los puntos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e_d).

$$e_m > e_d$$

Además el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, cuando menos, igual al 95% del espesor de diseño (e_d), en caso contrario será rechazado el trabajo realizado.

$$e_i \geq 0,95 e_d$$



En el caso de que el mejoramiento se construya en varias capas, la presente exigencia se aplicará al espesor total que prevea el diseño.

Todas las áreas del suelo mejorado donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de la presente especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor y a plena satisfacción de éste.

3. Protección del suelo mejorado

El Contratista deberá responder por la conservación del suelo mejorado hasta que se coloque la capa superior y corregirá a su costo, cualquier daño que ocurra en ella después de terminada.

El trabajo de Mejoramiento de suelos será aceptado cuando se ejecute de acuerdo con esta especificación, las indicaciones del Supervisor y se complete a satisfacción del Proyecto.

La evaluación de los trabajos de Mejoramiento de Suelos se efectuará de acuerdo a lo indicado en la **Subsección 04.11**

c. Ensayo de deflectometría sobre la subrasante terminada.

Se aplica lo indicado en la **Subsección 202.20**.

Medición

207.07

La unidad de medida será el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, recibida con la aprobación del Supervisor. Los volúmenes se determinarán con base en las áreas de las secciones transversales del Proyecto, verificadas por el Supervisor antes y después de la construcción del mejoramiento.

No habrá medida ni pago para los mejoramientos de suelos por fuera de las líneas del Proyecto o de las establecidas por el Supervisor, que haya efectuado el Contratista por error, o por conveniencia para la operación de sus equipos.



Pago

207.08

El trabajo de mejoramiento se pagará al precio unitario pactado en el contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente de acuerdo con el proyecto, la presente especificación y aceptada por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir los costos de disgregación del material, la extracción y disposición del material inadecuado hasta la distancia libre de transporte, la adición o provisión del material aprobado de reemplazo, necesario para obtener las cotas proyectadas de suelo mejorado, su humedecimiento o aireación, compactación y perfilado final, y en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados y según lo dispuesto en la **Subsección 07.05**.

Para la determinación del precio unitario de esta partida, según corresponda se considerarán los costos de excavación para explanaciones, transporte, acomodo en los DME, materiales de mejoramiento, compactación y perfilado final (terraplenes y pedraplenes).

Partida de pago	Unidad de pago
207.A Mejoramiento de Suelos	Metro cúbico (m ³)

Anexo 04

CÁLCULO DE ESPESORES DE MEJORAMIENTO

Determinación del espesor de mejoramiento a realizar

Para la determinación de la altura del mejoramiento de la subrasante, se está considerando la teoría de cálculo de esfuerzos y deformaciones de una masa de suelo para una carga circular, que esta dado por:

$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

MODELO DE BOUSSINESQ DISEÑO DE 0 - 20 AÑOS	
1.- DATOS	
A. CARGA DE APLICACIÓN (Kg/cm2)	q = 5.6
B. RADIO (cm)	a = 14.1
C. COEFICIENTE DE POISON	u = 0.45
D. PROFUNDIDAD (cm)	z = 130
ESPESOR DE PAVIMENTO (cm)	40
ESPESOR DE MEJORAMIENTO (cm)	90
2.- RESULTADOS	
A. ESFUERZO A Z (cm)	$\sigma_z = 0.097$
B. Porcentaje de esfuerzo respecto a carga de Aplicación	$\sigma_z (\%) = 1.7 \%$
3.- CRITERIOS	
Esfuerzo a 0.1 de carga de aplicación (Raul Valle Rodas, Carreteras, Calles y Aeropuertos)	0.10 Kg/cm2
4.- ANALISIS E INTERPRETACIÓN	
Esfuerzo a la Profundidad "Z" es menor	
0.097 < 0.10 Kg/cm2 ----- OK	

El espesor de mejoramiento de subrasante adoptado (0.90 m) es suficiente para asegurar un mejor performance de la estructura de pavimento