

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**MEJORAMIENTO DEL TERRENO DE FUNDACION EN
PAVIMENTO DE ESTACIONAMIENTO DE OMNIBUSES**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JUAN JOSE QUEZADA VALLADARES

Lima- Perú

2013

**Dedicado a mi esposa Katty,
mis padres Maximino y Zoila,
mis hermanos, por su apoyo incondicional
y las fuerzas para culminar este trabajo.**

AGRADECIMIENTO

- Agradecido a DIOS TODO PODEROSO, que me permitió llegar a la cúspide más grande y deseada por todos nosotros la cual es finalizar la carrera profesional.
- A mi esposa, por su comprensión, apoyo y cariño brindado en mi persona para culminar este trabajo.
- A mis Padres, por su apoyo, paciencia y ejemplo de superación.
- A los Señores Docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI por enseñarnos sus sabios conocimientos durante nuestra formación profesional.
- Al Ing. Manuel Francisco Correa Morocho, por el apoyo brindado para el asesoramiento de este trabajo.
- A la empresa Ingevias SAC por la ayuda y colaboración en el desarrollo del trabajo realizado.

De todo corazón **MUCHAS GRACIAS.**

	Pág.
RESUMEN	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCION	6
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	7
1.1 SUBRASANTE	7
1.1.1 Definición	7
1.1.2 Funciones de la Subrasante	7
1.1.3 Tipos de Terreno de Subrasante	8
1.2 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE	12
1.3 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE	21
1.3.1 Introducción	21
1.3.2 Tipo de Estabilización	22
CAPÍTULO II: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	34
2.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA	34
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO A NIVEL DE SUBRASANTE	36
2.3 EVALUACIÓN DE SUBRASANTE PARA MEJORAMIENTO	37
CAPÍTULO III: PROPUESTA DE PAVIMENTO	40
3.1 DETERMINACIÓN DE LA SUBRASANTE DE DISEÑO	40
3.2 DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE	42
3.2.1 Diseño de Mejoramiento de Subrasante por método MTC	43
3.2.2 Diseño de Mejoramiento de Subrasante con Geosintético	49
3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE AMBOS DISEÑOS	57

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
4.1 CONCLUSIONES	58
4.2 RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	62

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia titulado: “Mejoramiento del Terreno de Fundación en Pavimento de Estacionamiento de Omnibuses”, evalúa el terreno de fundación a través de un programa de investigación geotécnica del subsuelo, el cual nos brinda como resultado los parámetros de la subrasante que serán empleados para el diseño y construcción del pavimento.

El desarrollo del presente informe se inicia con el Capítulo I, donde se realiza una descripción de los conceptos teóricos y definiciones de la subrasante, estabilización de subrasante y los tipos de estabilización de subrasante, se describe con amplitud los criterios geotécnicos que permiten calificar si el suelo correspondiente a la subrasante necesita un tratamiento.

En el Capítulo II se desarrolla la Evaluación Geotécnica, el cual consiste en ejecutar el programa de Exploración Geotécnica con trabajos de campo (calicatas y descripción del perfil del suelo), registro de excavaciones y ensayos de laboratorio, estos resultados son empleados para clasificar el tipo de suelo y determinar sus características en los diversos estratos.

En el Capítulo III se presentan las propuestas de estructura del pavimento. De la exploración geotécnica se obtuvo un CBR de 5% en la subrasante considerándose Subrasante Pobre y necesita un mejoramiento, se realizó el diseño de pavimento utilizando la metodología del Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito del MTC que se basa en la AASHTO 93 teniendo por resultado el reemplazo de suelo a nivel de subrasante en un espesor de 22.50cm con un CBR mínimo de 20%, como alternativa se realizó el diseño con geosintéticos (geotextil estructural) con la metodología del manual de Pavco dando como resultado la estabilización de subrasante con la instalación del geotextil sin realizar el reemplazo.

Para concluir, se realiza un comparativo costo - beneficio de ambas metodologías de diseño de pavimento, donde se determina que el empleo del geotextil estructural genera un ahorro de 8.32% recomendándose su utilización en el proyecto.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1.1 Alternativas de mejoramiento de suelos	13
1.2 Guía para la selección del método de estabilización	14
1.3 Clasificación del Índice de Consistencia	16
1.4 Clasificación Potencial de Expansión	18
1.5 Clasificación de Compresibilidad de un Suelo	20
1.6 Guía de Tratamientos y su Aplicabilidad	22
1.7 Dosificación de cemento por tipo de suelo	28
1.8 Condiciones adecuadas para la estabilización de la subrasante con Geosintéticos	32
2.1 Ubicación de calicatas	34
2.2 Clasificación de Suelos	36
3.1 Categorías de Subrasante	41
3.2 Condiciones de Drenaje	47
3.3 Coeficientes de drenaje recomendados	48
3.4 Calculo del espesor de material granular requerido con geotextil	56
3.5 Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de Geotextil	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1.1 Estructura de un pavimento flexible.	7
1.2 Suelo friccionante (grava)	9
1.3 Suelo Cohesivo (Arcilla)	11
1.4 Estabilización mecánica con rodillo Pata de Cabra	24
1.5 Estabilización por mezcla de suelos	25
1.6 Estabilización con cal	26
1.7 Estabilización de suelo con cemento.	28
1.8 Estabilización de suelo con Geotextil	33
3.1 Estructura de pavimento por el método del MTC	49
3.2 Separación de capas granulares y subrasante	52
3.3 Efecto membrana	53

INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo de fundación es uno de los aspectos importantes a considerar en la evaluación de un proyecto de pavimentación. Cuando el suelo es de baja calidad geotécnica, el proyecto de pavimentación puede ser económicamente inviable, es ahí donde el Ingeniero Especialista debe tener la capacidad de poder analizar y convertir el proyecto técnica y económicamente viable.

Es necesario destacar que en la actualidad no se habla de suelos de fundación inadecuados. En el pasado era frecuente rechazar un determinado lugar por estas razones, ahora rellenos sanitarios antiguos, son estudiados y mejorados para fundar obras civiles.

El problema que presentan los suelos de tipo relleno no ingenieril y suelos cohesivos arcillosos con baja capacidad portante y altamente compresibles, es su baja calidad, ya que por lo general no suelen compactarse al ser depositados, presentando altos índices de compresibilidad y la aparición de asentamientos excesivos e impredecibles.

Los pavimentos flexibles presentan falla de deformación provocados principalmente por asentamientos de las capas del pavimento, siendo las fallas más comunes: burbujas, canalizaciones, ondulaciones transversales, protuberancia, asentamiento transversal, asentamientos longitudinales, desplazamiento transversal de la sección del pavimento.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 SUBRASANTE

1.1.1 Definición

La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. (Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC). A continuación en la fig. 1.1 se presenta una estructura típica de un pavimento flexible.

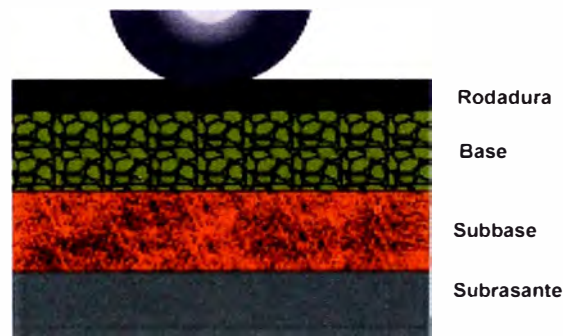


Figura N°1.1: Estructura de un pavimento flexible.

1.1.2 Funciones de la Subrasante

La subrasante tiene la función de ser resistente a los esfuerzos y deformaciones producidas por el tránsito y el intemperismo, proporcionando un valor de soporte mínimo a la estructura de pavimento en tal forma que limite las deflexiones a los valores tolerables.

Debe proporcionar un soporte continuo, sin asentamientos significativos, ni diferenciales, evitando que se presente flujos de tipo plástico o desplazamiento lateral que atente contra la estabilidad de toda la estructura.

1.1.3 Tipos de terreno de Subrasante

De manera general los terrenos en que se cimentara una estructura de pavimento, se puede clasificar en:

- a. Roca.
- b. Suelo

a. La Roca como Subrasante

En la mayoría de los casos, la roca no plantea problemas como terreno de fundación ya que la estructura de pavimento le comunica esfuerzos de baja intensidad en relación a su resistencia.

Las propiedades de la roca como terreno de fundación varían entre límites muy amplios, nos interesa el desgaste bajo la acción de los agentes mecánicos, que sean resistentes a los agentes atmosféricos y sean medianamente trabajables por medio de maquinaria o explosivos.

b. Los Suelos como Subrasante

Este tipo de subrasante se puede dividir en tres grandes grupos, a saber:

- Subrasantes constituidas por suelos friccionante.
- Subrasante constituida por suelos cohesivos.
- Subrasantes constituidas por suelos intermedios.

Subrasante constituida por suelo friccionante

Los suelos friccionantes, tales como: gravas, arenas y limos no plásticos; constituyen generalmente un excelente terreno de fundación, con capacidad de carga suficiente y sin problemas de asentamiento de importancia, siempre y cuando estos suelos se encuentren consolidados. Véase figura N°1.2 donde se muestra un suelo friccionante.

La resistencia de estos suelos se evalúa mediante la trabazón (fricción) entre sus partículas determinándose el ángulo de fricción interna (Φ).



Figura N°1.2: Suelo friccionante (grava)

Algunos problemas que se pueden presentar con estos suelos, están ligados al flujo de agua a través de ellos y su grado de compacidad; entre los más frecuentes se pueden nombrar:

Colapso rápido de la estructura.- Se presentan en las arenas y limos muy sueltos, los cuales presentan problemas de asentamiento brusco por colapso rápido de su estructura simple; este efecto, sin embargo, es poco importante bajo rellenos, pues éstos absorben los movimientos producidos con facilidad; el efecto es más importante cuando el terreno de fundación soporta las estructuras rígidas que suelen construirse en una vía terrestre.

Tubificación.- Este fenómeno se produce cuando el agua se filtra a través del suelo de cimentación con un gradiente hidráulico superior al crítico, de modo que produce arrastre de partículas. Este fenómeno aunque no es muy común en la subrasante de vías terrestres, se presenta en ocasiones cuando la estructura corta el drenaje superficial en una zona, embalsándose el agua, de manera que alcance diferentes niveles en ambos lados del terraplén.

Licuación.- Las fuerzas producidas por el flujo ascendente del agua provocan, al vencer el peso de las partículas, efectos de flotación que hacen que el suelo pierda total o casi totalmente su capacidad de carga.

El flujo de agua es lento comparado con la velocidad de disipación de las altas presiones intersticiales, disminuyendo los valores de resistencia al esfuerzo cortante hasta valores nulos o muy próximos a ceros. Los suelos friccionantes susceptibles a la licuación, son las arenas uniformes, sueltas, finas y saturadas cuyo nivel freático se ubica superficialmente.

Subrasante constituidas por Suelos Cohesivos

Las Subrasantes constituidas por suelos cohesivos se clasifican en:

- Subrasantes constituidas por suelos de baja compresibilidad (CL, ML, OL)
- Subrasantes constituidas por suelos de alta compresibilidad (CH, MH, OH)

La resistencia de los suelos cohesivos se mide mediante la cohesión (c).

Los suelos cohesivos inorgánicos son los Limos (ML, MH) y arcillas (CL, CH) de baja a alta plasticidad, en estado parcialmente saturado, no suelen presentar problemas de asentamiento.

Sin embargo cuando existe un humedecimiento de los mismos hasta llegar a la saturación se vuelven muy compresibles y los asentamientos son críticos llegando a colapsar la estructura del pavimento.

También sucede con los suelos orgánicos (OL, OH) cuyos efectos que produce son:

- Pérdida de bombeo
- Aparición de asentamientos diferenciales en el sentido longitudinal.
- Disminución de la altura de un terraplén.

Para mejorar la resistencia de estos materiales se puede estabilizar este tipo de suelo. Véase figura N°1.3 donde se muestra un suelo cohesivo.



Figura N°1.3: Suelo Cohesivo (Arcilla)

Subrasante constituidas por Suelos Intermedios

Conformado por la combinación de suelos finos y granulares como los siguientes:

- Gravas limosas (GM)
- Gravas arcillosas (GC)
- Arena limosa (SM)
- Arena arcillosa (SC)
- Gravas limosas mal gradadas (GP-GM)

- Gravas limosas bien gradadas (GW-GM)
- Arenas limosas mal gradadas (SP-SM)
- Arenas limosas bien gradadas (SW-SM)
- Arenas arcillosas bien gradadas (SW-SC)
- Arenas arcillosas mal gradadas (SP-SC)

1.2 ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE

En ciertos casos donde la subrasante no tiene las condiciones adecuadas para actuar como soporte de la estructura de pavimentos se debe analizar la alternativa de **estabilizar o mejorar el suelo natural**, mediante alguna de las siguientes alternativas de mejoramiento:

- Mejoramiento de drenaje subterráneo.
- Remoción y reemplazo con mejores materiales.
- Estabilización mecánica adicionando materiales granulares.
- Estabilización mecánica incorporando geosintéticos (geotextiles y geomallas).
- Estabilización de suelos con la adición de agentes mejoradores o estabilizadores.
- Encapsulación de suelo.

La estabilización busca principalmente la modificación o mejoramiento de alguno o varios de los siguientes parámetros:

- Estabilidad volumétrica, para reducir los problemas de expansión o hinchamiento.
- Resistencia, para incrementar el módulo resiliente del suelo de fundación.

- Permeabilidad, para reducir la infiltración de agua por ende la inestabilidad del material así como el potencial de expansión por congelamiento.
- Compresibilidad, para reducir las deformaciones plásticas o permanentes.
- Durabilidad, para mejorar la estabilidad del material en el tiempo y reducir los cambios o disminución de resistencia.

A continuación la tabla N°1.1 muestra las alternativas de mejoramiento de suelos por tipo de suelo y la tabla N°1.2 muestra una guía de método de estabilización teniendo como referencia el IP.

Tabla N°1.1 Alternativas de mejoramiento de suelos

Método de estabilización	Tipo de suelo	Mejora	Comentarios
Mecánico			
Adición y/o reemplazo por material granular	Limos y arcillas	Ninguna	Reducir el nivel de estrés dinámico
Mezcla	Moderadamente	Ninguno, mejora la gradación	Demasiado difícil de mezclar
	Otros	Mejora la gradación, reducir la plasticidad y deformabilidad	
Geosintéticos	Limos y arcillas	Se incrementa la resistencia en un nivel bajo	Actúa como separador y su efectos de mediano a largo plazo
Rellenos de poco espesor	Limos, arcillas y turbas	Ninguno, actúa como barrera térmica de protección contra las heladas	Rápido, y reduce el nivel de estrés dinámico.
Mezcla			
Cemento Portland	Plástico		Menos pronunciada
	Mixto		Hidratación del cemento
Cal	Plástico	Secado	Rápida
		Ganan Fuerza	Rápida
		Reducir la plasticidad	Rápida
		Gruesa textura	Rápida
	Puzolánica o largo plazo de cementación	Lenta	
Con finos	Igual que el plástico	Depende de la cantidad de finos de plástico	
No plástico	Ninguna	No reactive material	
Bituminoso	Secundario	Fortalecer/unir	Cemento o Asfalto
	Algunos finos	A prueba de agua	Asfalto liquido
	Fino	Ninguno	No se pueden mezclar
Productos químicos	Plásticos	Aumentar la fuerza y volumen de la estabilidad	Ver la literatura de proveedores
			Difícil de mezclar

Fuente: M.Sc. Ing. José Menéndez Acurio. Ingeniería de Pavimentos. 3era Edición.

Tabla N°1.2 Guía para la selección del método de estabilización.

Índice de plasticidad	Mas del 25% pasa la Malla N° 200			Menos del 25% pasa la malla N° 200		
	IP<=10	10<IP<20	IP>=20	IP<=6, IPx % N°200<=60	IP<=10	IP>=10
Cemento						
Cal						
Asfalto						
Cemento y asfalto						
Granular						
Aditivo Químicos						
Clave		Adecuado		Medianamente adecuado		No adecuado

Fuente: M.Sc. Ing. José Menéndez Acurio. Ingeniería de Pavimentos. 3era Edición.

En este acápite se analiza y desarrolla de manera conceptual y práctica las necesidades de mejoramiento de materiales. Para este fin es necesario, especificar que el mejoramiento está dirigido a suelos de baja o nula capacidad portante donde se incluyen los suelos orgánicos blandos y rellenos no ingenieriles.

Criterios Geotécnicos

De las investigaciones geotécnicas que se han realizado para la elaboración del proyecto se ha 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 vida útil, se tiene suelos de baja capacidad de soporte y para utilizarlos como material de subrasante de la estructura del pavimento se tiene los criterios siguientes:

A. Capacidad de Soporte

En la etapa de estudio se determina el CBR de diseño de la subrasante, considerando que éste se encuentre al 95% de la máxima densidad seca, es

probable que se presenten suelos de baja capacidad de soporte que se encuentren por debajo de este nivel de compactación ($CBR < 7\%$), siendo así la resistencia ofrecida inferior a la supuesta, también se encontrará suelos cuya humedad se aleje demasiado del óptimo contenido de humedad, de la misma manera esto originará que la compactación de este suelo natural no sea la supuesta en la etapa de diseño y construcción.

Sabiendo que no se puede determinar la verdadera resistencia en sus condiciones naturales de densidad y humedad, ya que el ensayo de CBR se trabaja bajo condición óptima y posterior saturado, se tratará en lo posible de eliminar todo suelo calificado como muy pobre y pobre.

B. Otros criterios para proponer Mejoramiento

Los materiales aptos para la conformación del terreno de fundación deben cumplir ciertas características indicadas en el Expediente Técnico y en las Especificaciones Técnicas, además de existir otros criterios válidos para determinar si el suelo es apropiado o no para formar parte del terraplén que servirá de soporte al Pavimento. Tales criterios son:

- **Índice de Consistencia:** Grado de trabajabilidad del suelo de acuerdo a su humedad y Límites de Atterberg.
- **Índice de Liquidez:** Inestabilidad del suelo al absorber agua rápidamente.
- **Suelos Expansivos:** Arcillas Expansivas capaces de producir levantamiento de la plataforma.
- **Suelos Compresibles:** Arcillas que pueden sufrir asentamientos considerables por el peso del terraplén o las cargas vehiculares.

Índice de Consistencia

Los límites de consistencia están relacionados con la humedad en el índice de consistencia (Arquié, 1972), mediante la siguiente expresión:

$$Ic = \frac{Ll - W}{Ip}$$

Donde:

Ic: Índice de Consistencia

Ll: Límite líquido

W: Humedad

Ip: Índice de Plasticidad

Si el valor tiende a cero es indicativo que se encuentra en el estado líquido y si tiende a 1.0 indicará que está en su estado sólido, en el intermedio existen otros estados en los cuales será posible o no la trabajabilidad del suelo dependiendo de la humedad y Límite Líquido. El Índice de consistencia puede clasificar de acuerdo a la Tabla N°1.3:

Tabla N°1.3 Clasificación del Índice de Consistencia

Índice de Consistencia	Caracterización
< 0.00	El suelo es 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	Estado Solido

Fuente: M.Sc. Ing. José Menéndez Acurio. Ingeniería de Pavimentos. 3era Edición.

En general si el Índice de Consistencia está por debajo de 0.5 el suelo tiene una consistencia de un barro líquido y prácticamente no es posible compactarlo; cuando está entre 0.5 y 0.75 la compactación es muy difícil; y cuando está por encima de 0.75 la compactación es posible, pero poco eficaz. Se requiere alcanzar como mínimo un valor de 1 para decir que la compactación será eficaz.

Índice de Liquidez

Cuando el suelo absorbe grandes cantidades de agua y muy rápidamente se produce una pérdida de resistencia y un desequilibrio en sus partículas. Se puede calcular de la siguiente manera: "Diferencia entre la Humedad y Límite Plástico, todo dividido entre el índice Plástico", según Reynolds, Henry P.

$$I_l = \frac{W - L_p}{I_p}$$

Dónde:

I _l	:	Índice de Liquidez
W	:	Humedad
L _p	:	Límite plástico
I _p	:	Índice de plasticidad

Cuando el valor del Índice de Liquidez supera la unidad es indicativo de que ocurra el colapso, presentándose el suelo como una masa viscosa. Pero si la Humedad es menor que el límite plástico el valor resultante es negativo, indicativo que la consistencia del suelo es bastante seca y no se pueda compactar ni es trabajable.

Suelos Expansivos

Los suelos arcillosos presentan características de expansividad, es decir sufren grandes cambios de volumen cuando absorben agua, afectando su estabilidad volumétrica y características de resistencia al esfuerzo cortante.

Los principales efectos que un suelo expansivo puede producir a un pavimento flexible son:

- Contracción por secado.
- Expansión por humedecimiento.

- Desarrollo de presiones de expansión en los suelos confinados en que se restringe la expansión.
- Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante y capacidad de carga como consecuencia de la contracción.

Es normal que se presente algunos de estos fenómenos por presencia de suelos finos, siendo las consecuencias:

- Elevación o descensos de la superficie de rodamiento en una longitud importante, que se traduce en desigualdades e irregularidades, aunque no produzcan agrietamiento u otros daños visible (más frecuente).
- Agrietamiento longitudinal
- Deformaciones significativas localizadas, generalmente acompañadas de agrietamientos

El Potencial de Expansión se determina a partir de los índices de consistencia, humedad o clasificación del suelo. La Bureau of Reclamation de los Estados Unidos intentó clasificar las arcillas en base al potencial de expansión. También puede definirse en base al Límite de Contracción, índice plástico, % de partículas menores a una micra y la expansión libre.

La Tabla N°1.4 muestra la clasificación del Potencial de Expansión.

Tabla N°1.4 Clasificación Potencial de Expansión

Potencial de Expansión	Índice de Plasticidad	Límite Líquido
Muy alto	> 32	> 70
Alto	23 – 32	50 – 70
Medio	12 – 23	35 – 50
Bajo	< 12	20 – 35

Fuente: Holtz y Gibbs (Bureau of Reclamation de los E.U.A.)

Suelos compresibles

Los asentamientos de los suelos cohesivos pueden ser causa de graves problemas a nivel superficial del terraplén. Estos asentamientos pueden causar:

- Pérdida de bombeo, la presión en el terraplén es mayor bajo el centro de la corona que bajo los hombros.
- Los asentamientos diferenciales en el sentido longitudinal por heterogeneidad en el terreno de cimentación; en especial en los ensanches de la plataforma donde se ha efectuado un mejoramiento por presencia de suelo fino y que aun puede sufrir algún grado de asentamiento debido al peso del terraplén y de vehículos.
- Disminución de la altura del terraplén es posible cuando se atraviesan zonas inundables o inundadas.

En terrenos de cimentación constituidos por Limos 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, es diferente el panorama cuando el terreno de cimentación están constituido por limos o arcillas altamente compresibles, suelos OH, MH, CH y Pt. Carlos Crespo Villalaz, determina el grado de compresibilidad de un suelo en función del índice de compresibilidad (Tabla N°1.5):

Tabla N°1.5 Clasificación de Compresibilidad de un Suelo

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

Fuente: Carlos Crespo Villalaz. *Mecánica de Suelos y Cimentación*. 5ta Edic.

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:.

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

Fuente: W. Lambe – R. Whitman, “Mecánica de Suelos”

Con esta expresión podemos calcular inmediatamente la compresibilidad de un suelo en el cual se considera como inadecuado cuando el índice de compresibilidad (C_c) es mayor o igual a 0.20 (W. Lambe – R. Whitman, “Mecánica de Suelos”).

El reemplazo del suelo de fundación es una alternativa que se aplica con frecuencia, en especial en aquellos lugares donde se disponen de material que pueda servir como material de reemplazo tal como piedras de gran tamaño, y over de canteras. Sin embargo la determinación de la profundidad de reemplazo suele ser motivo de discrepancias entre diseñador, contratista y supervisor.

En un extremo se podría considerar el retiro de la totalidad del suelo que no es adecuado, sin embargo esta alternativa no es factible porque resulta muy costosa y poco práctica salvo en casos donde el problema esté combinado con inestabilidad del talud o deficiencias en el sistema de drenaje, por lo tanto la solución estará comprendida en un rango de espesores que cumpla con el objetivo de mejorar el suelo de fundación y además de permitir que las capas superiores puedan ser compactadas sobre este material sin que este se “acolchone”.

La norma de pavimentos del MTC plantea un procedimiento para determinar la profundidad de reemplazo, que se aplica para materiales con CBR comprendido entre 3% y 6%, el procedimiento se describe a continuación:

Calcular el número estructural SN del pavimento para 20 años, el material a emplear tendrá como mínimo un CBR mayor a 10% e IP menor a 10, o en todo caso será similar. Se calcula el número estructural (SN_a) con el CBR de diseño del tramo restante en caso de ser mayor a 10%. Se calcula también el número estructural con el valor de la subrasante existente que se desea sustituir o reemplazar (SN_b).

Calcular la diferencia de números estructurales que debe ser obtenida mediante el reemplazo:

$$\Delta SN = SN_a - SN_b$$

Obtener el coeficiente estructural (a_i) y coeficiente de drenaje (m_i) del material a colocar empleado para calcular SN_a . El espesor de reemplazo (E) será igual a:

$$E = \Delta SN \cdot a_i \cdot m_i$$

1.3 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE

1.3.1 Introducción

La necesidad de incrementar la resistencia y durabilidad de los suelos de fundación y componentes estructurales del pavimento más allá de sus condiciones naturales es un reto permanente en la ingeniería vial para optimizar el uso de los materiales. Por ende el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimiento mecánico o mediante la incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos se denomina **estabilización**. En el caso de subrasantes de baja capacidad de soporte se denomina estabilización mientras que en la base y sub base se denomina materiales tratados.

Existe una gran variedad de productos y alternativas para la estabilización según la norma CE 020 Estabilización de Suelos y Taludes desde la de tipo mecánica por compactación, o con la incorporación de componentes químicos, orgánicos o geosintéticos. Su aplicación depende del tipo de material que se desea mejorar, de las exigencias consideradas en el diseño y la disponibilidad de dichos materiales.

1.3.2 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN

Se cuenta con diversos procedimientos de selección y diseño de cada alternativa, los cuales dependen de las condiciones del material que se desea mejorar o estabilizar y las condiciones que éste debe alcanzar. A continuación se presenta la Tabla N°1.6 con una guía de los tratamientos y su aplicabilidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú 2012).

Tabla N°1.6 Guía Referencial Para la Selección del Tipo de Aditivo Estabilizador

Área	Clase de suelo		Tipo de Aditivo Estabilizador Recomendado	Restricción LL y IP del Suelo	Restricción en el % que pasa la malla 200 Tipo de Aditivo Estabilizador Recomendado	Observaciones
1A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Pórtland			
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1B	SW-SM o SP-SM o SW-SC o SP-PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Pórtland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1C	SM o SC o SM-SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Pórtland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2A	SW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Pórtland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal-Cemento-	IP no excede		

			Cenizas volantes	de 25		
2B	GW-GM o GP- GM o GW-GC o GP- GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Pórtland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2C	GM o GC o GM-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Pórtland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no excede de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
3	CH o MH o ML o OH o OL o ML-CL	(1)	Cemento Pórtland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios.
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP= Índice Plástico (b) $IP_{20} + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N° 200})/4$				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador		Fuente: USA my Corp sof Engineers

Fuente: Manuel de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC 2012

ESTABILIZACIÓN MECÁNICA

La estabilización mecánica consiste en mejorar las propiedades del suelo por densificación o por mejora de sus características granulométricas mediante la mezcla con otro material.

En el Perú es el método de estabilización mas difundido porque se puede aplicar con el equipo mecánico convencional que suele estar disponible como motoniveladora, rodillo compactador y tractor.

La adecuada construcción de una capa de pavimento con un material obtenido por estabilización mecánica depende fundamentalmente en la adecuada colocación de los diversos materiales sobre la vía para que al mezclarlos insitu, la mezcla se haga en las proporciones previamente calculadas y el producto obtenido tenga la gradación exigida.

Por lo general, se emplean materiales con valores de CBR mayores a 20% con un módulo elástico aproximadamente de 120 MPa (17,500 psi). Éstas son típicamente arena o material granulares, correspondiendo a AASHTO A-1 y A-2 (GW, GP, SW y SP). Típicamente son de gradación densa, con un agregado de tamaño superior máximo que varía en función de la altura del relleno.

Los espesores de las capas granulares varían, se coloca de 150-300 mm (6-12 pulgadas) de espesor para proporcionar uniformidad de apoyo, o actuar como una plataforma de construcción. Para incrementar el valor de subrasante se recomienda un espesor mínimo de 0.5 – 1.5 m (1 ½ - 5 pies) de material de terraplén.

Del mismo modo, los rellenos granulares colocado para la protección de las heladas también puede variar desde 0,5 hasta 1,5 m (1 ½ - 5 pies).

A continuación en la figura N°1.4 se muestra la estabilización mecánica mediante el compactado con rodillo pata de cabra.



Figura N°1.4: Estabilización mecánica con rodillo Pata de Cabra

ESTABILIZACIÓN POR COMBINACIÓN DE SUELOS

Este tipo de tratamiento consiste en incorporar al material existente otro material procedente de cantera o corte que al ser adicionado mejore las propiedades del material existente.

Por lo general se busca suelos granulares con bolones o roca fracturada. En este caso se debe verificar previamente que la granulometría resultante está distribuida uniformemente de tal manera que el proceso de compactación se facilita y la cantidad de vacíos disminuye. A continuación en la figura N°1.5 se muestra un gráfico donde se obtiene por mezcla de suelos un material mejorado.

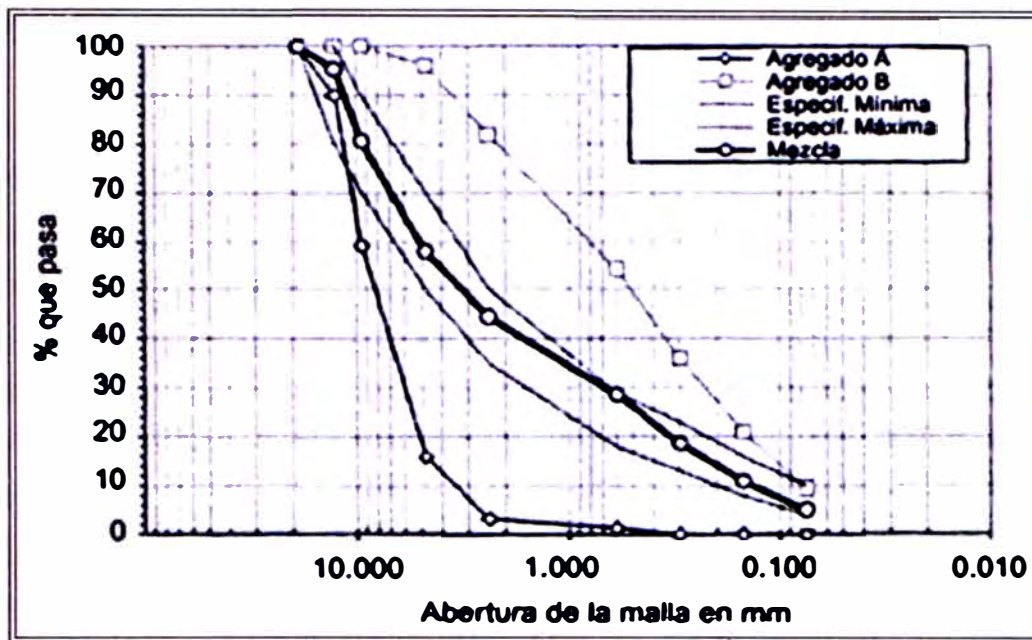


Figura N°1.5: Estabilización por mezcla de suelos

ESTABILIZACIÓN POR SUSTITUCIÓN DE SUELOS

En esta alternativa una cierta profundidad del suelo de fundación es retirado y reemplazado por material de préstamo. La determinación de la profundidad de reemplazo ha sido detallada en el capítulo de suelo de fundación. Este tipo de tratamiento es común en aquellos lugares donde se dispone de material de préstamo en zonas aledañas al lugar o cuando el tipo de suelo presenta condiciones que dificultan su estabilización mediante otros medios (turba, pantano, etc.)

ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON CAL

El uso de la cal en la estabilización de suelos es para mejorar las características naturales del suelo de modo que aumente su capacidad para

resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos en diferentes condiciones de clima. La incorporación de cal mejora en muchos casos las características plásticas de los suelos, haciéndolos más friables y por sobre todo, aumentando considerablemente el valor de soporte, acción que se ha demostrado continua en función del tiempo. Así mismo la cal elimina la susceptibilidad al agua de los suelos cohesivos reduciendo la tendencia al hinchamiento de los mismos.

La incorporación previa de cal puede ser ventajosa en el tratamiento de suelos plásticos (arcillas pesadas) con cemento. La cal reduce la plasticidad, facilita la posterior pulverización del suelo y por consiguiente el mezclado con el cemento portland, así como reduce las cantidades de este material (Little 2000).

En general casi todos los tipos de suelos son susceptibles de estabilizar con cal, tanto los suelos de granulometría fina (100% pasando Tamiz N° 10) como aquellos más gruesos con algún contenido de fino, pueden mejorar sus características con la incorporación de cal. Se recomienda que la cal se utilice para estabilizar aquellos suelos que tengan índices de plasticidad menores de 15 y porcentajes pasantes del tamiz N° 200 no mayor del 25%.

El grado al cual la cal reacciona con el suelo depende de ciertas variables tales como cantidad de cal, clase de suelo y periodo de tiempo del curado de la mezcla suelo-cal.

A continuación en la figura N°1.6 muestra la estabilización con cal.



Figura N°1.6: Estabilización con cal

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO

La acción estabilizadora del cemento consta de varias etapas, la primera de las cuales es la acción de la naturaleza fibrosa del silicato de calcio que se forma cuando los granos del cemento entran en contacto con el agua. Debido a esta reacción se forman masas de fibras minúsculas que se traban fuertemente unas con otras y con otros cuerpos. La solución formada por la mezcla cemento y agua reacciona con las partículas del suelo, reacción en la que los iones de calcio tienden a agrupar las partículas de suelo cargada negativamente produciéndose su floculación por acción de la gravedad, por último, si se compacta la mezcla, se produce una reacción del calcio con la sílice y alúmina de tamaños coloidales produciéndose complejos compuestos de silicatos y aluminatos que aumentan lentamente la resistencia de la mezcla con el tiempo. A esa acción se la llama puzolánica.

La reacción favorable suelo-cemento se ve muy impedida o nulificada cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan, dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas (Guthrie et al. 2002).

Por esta razón, las especificaciones de casi todos los países exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo no sobrepase 1 a 2%, en peso, si ha de ser considerado apropiado para ser estabilizado con cemento. Es también nociva la presencia de sulfatos u otras materias que requieran de agua por cuanto privan al cemento de la humedad necesaria para el cumplimiento de sus funciones. Pero salvo estos dos inconvenientes, los demás suelos pueden tratarse con cemento para mejorar su comportamiento mecánico, siendo la principal limitación la dificultad que puede presentarse para obtener un buen mezclado con las arcillas, motivo por el cual, en este caso, algunos recomiendan añadir previamente al suelo una pequeña cantidad de cal que facilite su manejo y pulverización y permita la posterior incorporación del cemento sin dificultad.

La dosificación del cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, tal como se indica en la Tabla N° 1.7 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú 2012):

Tabla N°1.7 Dosificación de cemento por tipo de suelo

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de suelos
A-1-a	3 – 5
A-1-b	5 – 8
A-2	5 – 9
A-3	7 – 11
A-4	7 – 12
A-5	8 – 13
A-6	9 – 15
A-7	10 - 15

Fuente: Federal Highway Administración (FHWA)

A continuación en la figura N°1.7 muestra la aplicación del cemento para estabilizar el suelo.



Figura N°1.7: Estabilización de suelo con cemento.

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ASFALTO

Es la estabilización con productos bituminosos tales como asfaltos líquidos, emulsiones asfálticas y alquitrán. La estabilización con estos productos persigue uno o ambos de los siguientes fines:

- En suelos no plásticos o arenosos, se trata de que ejerza una acción ligante que unida a la fricción propia del suelo, evite deformaciones de la capa mejorada bajo la acción del tránsito.
- En suelos cohesivos, se busca que el estabilizante aglomere las partículas de arcilla y obture los vacíos, impermeabilizando al suelo y protegiéndolo contra la acción del agua.

Uno de los requisitos más importantes de este tipo de estabilización, es la necesidad de que las condiciones meteorológicas sean adecuadas. En zonas húmedas, por ejemplo, la cantidad de agua de un suelo fino es bastante alta durante la mayor parte del año y la adición de más fluidos (asfaltos líquidos o emulsiones), puede dar lugar no solo a una pérdida de resistencia, sino que el suelo puede alcanzar una consistencia que hace muy difícil la comparación.

Por último, el tiempo de curado de las mezclas, la temperatura a la que se realice, es muy influyente en la resistencia obtenida. A mayor temperatura de curado, más resistencia y si la temperatura es alta, tanto mejor, porque más rápidamente se evaporan los solventes y se ha encontrado que la resistencia es inversamente proporcional al contenido del solvente en el momento del ensayo.

La temperatura en el momento del ensayo produce, en cambio, un efecto contrario. Entre más alta sea, menor será la resistencia, a causa del reblandamiento del asfalto por el calor.

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO

La sal como estabilizante es apropiada en todos los suelos, salvo aquellos que contienen materia orgánica. La sal puede agregarse al suelo seco, en cristales o en forma de salmuera y produce una capa con superficie lisa y uniforme.

Aunque no se conoce completamente el mecanismo por medio del cual se produce la estabilización, se cree que se producen reacciones coloidales a través de las cuales el ión sodio del aditivo desplaza los iones naturales de los minerales arcillosos del suelo. La principal desventaja que se presenta es la solubilidad de la sal, lo que hace que pueda ser fácilmente lavada por el agua de percolación, lo que se traduce en una escasa durabilidad de la capa estabilizada.

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.

Los suelos que se usen para la construcción de Suelo-Sal deben estar limpios y no deben tener más de tres por ciento (3%) de su peso de materia orgánica. El índice de plasticidad del suelo debe ser mayor a 8%, pero para la fracción de suelos que para la malla N° 200 el requerimiento mínimo es de 12%. No obstante, para mayores índices de plasticidad del suelo, se permite aceptar para la fracción de suelos que pasa la malla N° 200, menores valores de IP hasta un límite no menor a 9%.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de Suelo-Sal. El espesor total de la capa de suelo estabilizado con sal será de 150 mm o 200 mm, según se especifique en el Proyecto.

Normalmente la cantidad de sal está comprendida entre 50 y 80 kg/m³ de suelo a estabilizar. No obstante, la cantidad adecuada de sal depende de los resultados que se obtengan del tramo de prueba.

ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DEL CALCIO

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo.

Las características higroscópicas de este producto ayudan a mantener la humedad en la superficie del camino.

Se puede utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I
- En hojuelas o pelotillas o Tipo II

Las dosificaciones son de 1%-2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio; generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al comienzo de la temporada seca.

El suelo a estabilizar deberá presentar las siguientes características:

- Agregado grueso retenido entre las mallas (1" – N° 4) de 10 – 60%
- Agregado fino menor que la malla N° 200 de 10 – 30%
- Índice plástico IP = 4 – 15%
- Sulfatos 0.01% máximo

ESTABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS

El uso combinado de suelo (bueno en la compresión y pobre en tensión) y un geotextil (bueno de la tensión y pobre en compresión) sugiere una serie de situaciones en las que geotextiles han hecho que los diseños existentes funcionen mejor, o desarrollado aplicaciones totalmente nuevas.

Los geosintéticos son una clase de geomateriales que se utilizan para mejorar las condiciones del suelo para una serie de aplicaciones. Se componen de materiales poliméricos.

Las aplicaciones más comunes de uso general en los sistemas de pavimentos para carreteras pavimentadas y sin pavimentar, son para el refuerzo de terraplenes y la base, para la creación de obstáculos al flujo de agua, y para mejorar el drenaje.

Los geotextiles cumplen principalmente las siguientes funciones:

- Función de separación que evita que la sub base se contamine con la subrasante, ya sea durante el proceso constructivo o por ascenso del nivel freático.
- Función de filtrado evitando que los materiales finos ingresen hacia los materiales granulares.

Mientras que las geomallas se emplean principalmente como refuerzo por debajo del nivel de la base proporcionando un cierto nivel de refuerzo lateral de restricción incrementando la capacidad de carga del sistema, reduciendo así las tensiones tangenciales en el subsuelo. Ambos pueden ser empleados en forma conjunta. A continuación en la Tabla N°1.8 se muestra las condiciones adecuadas para la estabilización de subrasantes con geosintéticos.

Tabla N°1.8 Condiciones adecuadas para la estabilización de la subrasante con Geosintéticos

Condición	Medidas Relacionadas
Suelos de baja capacidad de soporte	Clasificación SUCS: SC, CL, CH, MH ML, OL, OH, PT o AASHTO: A-5, A-6, A-7, A-7-6
Resistencia	$C_u < 13$ psi o $CBR < 3$ o $M_R < 4500$ psi.
Nivel freático alto	Dentro de la zona de influencia de las cargas superficiales.
Alta sensibilidad	Para arcilla sensible al remoldeo.

Fuente: Holtz et al. 1995

Nota: Los geotextiles utilizados en suelos con CBR superior a 10% tendrán un aporte poco significativo de refuerzo, y en tales casos la función principal será la separación.

Cuando se propone el empleo de geosintéticos el diseño estructural del pavimento no se modifica como si los geosintéticos no estuvieran presentes. El aporte estructural del geosintético se traducirá en la reducción del espesor de los materiales de mejoramiento de subsuelo o en el caso de geomallas como una reducción en el espesor de la base dependiente de las características de la geomallas tanto geométricas como de resistencia.



Figura N°1.8: Estabilización de suelo con Geotextil

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

2.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Para el desarrollo del presente informe, se ha elaborado un programa de investigación geotécnica del subsuelo para el diseño de pavimento y la construcción, con la finalidad de conocer los parámetros de diseño de la subrasante. El vista del terreno sobre el cual se va a realizar la exploración geotécnica se muestra en el Anexo A.

La investigación del subsuelo nos define la profundidad, el espesor y la extensión de los suelos que afectarán a la construcción y funcionamiento a largo plazo de la estructura del pavimento, la información obtenida del subsuelo está directamente relacionada a la confiabilidad y calidad del diseño.

Se ha programado las siguientes actividades de investigación geotécnica:

Trabajos de Campo

De acuerdo a la Norma Técnica de Edificaciones CE-010 Pavimentos Urbanos, en el presente caso se requirieron tres sondajes. Estas perforaciones fueron realizadas mediante el sistema de calicatas excavadas con herramientas manuales, hasta una profundidad máxima de 1.50m con respecto al nivel actual del terreno. Las calicatas se numeraron del C-1 al C-3. El Plano de ubicación de las calicatas se muestra en el Anexo C. La ubicación referenciada de todas las perforaciones se muestran en la Tabla N°2.1.

Tabla N°2.1: Ubicación de calicatas

Calicata	Profundidad (m)	Ubicación
C-1	1.50	Ingreso-lado izquierdo
C-2	1.50	Parte central-lado derecho
C-3	1.50	Posterior-lado izquierdo

Fuente: Estudio de Suelos Ingevias. 2012

En las perforaciones se registró el perfil del suelo cuidadosamente y se clasificaron visualmente los estratos de acuerdo a la Norma Técnica de edificaciones CE-010 (ANEXO D) y las normas NTP 339.162, NTP 339.134 y NTP 339.150, y se extrajeron muestras representativas en los suelos, las que debidamente protegidas fueron remitidas al laboratorio para su análisis.

En el Anexo B se encuentran los perfiles de suelos correspondientes a las perforaciones.

Registro de excavaciones

Se efectuó el registro de excavaciones en concordancia con las Normas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones anotándose las principales características de los estratos, tales como: humedad, compacidad, consistencia, N. F., plasticidad, clasificación, color, forma de las partículas, etc.

Ensayos de Laboratorio

En el laboratorio se verificó la clasificación visual de las muestras y se procedió a ejecutar con ellas:

- Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D-422
- Límites de Attemberg
- Humedad
- Ensayo California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-3080

Después de realizados los ensayos de laboratorio se procedió a comparar sus resultados con las características de los suelos obtenidos en el campo, efectuándose las compatibilizaciones correspondientes en los casos que fue necesario. Así se obtuvieron los perfiles definitivos, que son los que se presentan en el Anexo B.

Clasificación de Suelos

La clasificación de los suelos se ha realizado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y American Association of State Highway and

Transportation Officials (AASHTO), mostrándose los resultados en la Tabla N°2.2. .

Tabla N°2.2: Clasificación de Suelos

Calicata	C-1	C-2	C-3
Profundidad	0.40 - 1.50 m	0.35 - 1.50 m	0.37 - 1.50 m
% Pasa N° 4	100	100	100
% Pasa N° 200	54.5	55.2	56.9
L.L. (%)	27.2	27.8	28
I.P. (%)	11.3	11.8	12
SUCS	CL	CL	CL
AASHTO	A-6(5)	A-6(5)	A-6(5)

Fuente: Estudio de Suelos Ingevias. 2012

Perfil del Suelo

De la evaluación de los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio, se han determinado que la conformación del subsuelo es:

El perfil del suelo es homogéneo y está formado por un depósito fluvio-aluvial de origen cuaternario, compuesto por suelos finos.

Los suelos encontrados están conformados superficialmente por una capa de material de relleno de matriz limo arenoso, con presencia de raíces y restos de plásticos y ladrillos, con una profundidad variable entre 0.35 m y 0.40 m.

El siguiente estrato natural está conformado por arcilla de plasticidad media, medianamente compacta, ligeramente húmeda, color marrón claro (CL), Este estrato se encuentra bajo el relleno no ingenieril y llega más allá de la máxima profundidad investigada de 1.50m.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO A NIVEL DE SUBRASANTE

En base al estudio de mecánica de suelos y ensayos de laboratorio realizados para el presente informe, se ha podido verificar que el terreno de fundación del

área de interés está formado superficialmente por una capa de material de relleno de matriz limo arenoso, con presencia de raíces y restos de plásticos y ladrillos, con una profundidad variable entre 0.35 m a 0.40 m. Debajo del material de relleno se encuentra una capa de arcilla CL medianamente compacta, color marrón claro, ligeramente húmeda hasta una profundidad de 1.50 m. de investigación.

De acuerdo a lo anterior y debido a que no se recomienda fundar o apoyar cualquier estructura (el pavimento es considerado una estructura) sobre un material de relleno no controlado o de un tipo de suelo arcilloso, se debe entonces evaluar geotécnicamente la capa subrasante y determinar soluciones de mejoramiento de ser el caso.

Es preciso indicar que debido a la necesidad de eliminar el material superficial (relleno no ingenieril) hasta una profundidad mínima de 0.55 m y mantener el nivel de la rasante actual, se tendrá por lo general un espesor de pavimento igual o superior a 0.55 m (incluido el espesor de la carpeta asfáltica), lo cual de antemano puede decirse que representa un pavimento bastante robusto y resistente.

2.3 EVALUACIÓN DE SUBRASANTE PARA MEJORAMIENTO

La evaluación de la Subrasante se realiza a través de los criterios geotécnicos, que se indican a continuación:

Capacidad de Soporte

En la etapa de Exploración Geotécnica se realizó el Ensayo California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-3080, cuyo resultado es el siguiente:

CBR (al 95% de MDS) = 5%

Este valor nos indica que la calidad del terreno de fundación con respecto a su capacidad de soporte es muy bajo.

Índice de Consistencia

Los límites de consistencia están relacionados con la humedad en el índice de consistencia (Arquí, 1972), mediante la siguiente expresión:

$$Ic = \frac{Ll - W}{Ip}$$

Donde:

Ll: 28%

W: 12.5%

Ip: 12%

Reemplazando se obtiene: $Ic = 1.29$

De acuerdo a la Tabla N° 1.3 se considera que el material se puede compactar.

Índice de Liquidez

El Índice de Liquidez se calcula de la siguiente manera:

$$Ll = \frac{W - Lp}{Ip}$$

Donde:

W: 12.5%

Lp: 16%

Ip: 12%

Reemplazando se obtiene: $Ll = -0.29$

Como la Humedad es menor que el límite plástico el valor resultante es negativo, indicativo que la consistencia del suelo es bastante seca y no se pueda compactar ni es trabajable.

Suelos Expansivos

El Potencial de Expansión se determina a partir de los índices de consistencia, humedad o clasificación del suelo, se evalúa de acuerdo a la Tabla N° 1.4

Ip: 12%

LI: 28%

Potencial de Expansión: **Medio a Bajo (no hay problema de expansión).**

Suelos compresibles

El Índice de Compresibilidad se determina en función al límite líquido, la expresión es la siguiente:

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

Donde:

LI:28%

$$C_c = 0.009 (28 - 10) = 0.162$$

Indica Baja compresibilidad por lo tanto es un suelo adecuado.

De acuerdo a los criterios geotécnicos aplicados se recomienda evaluar el terreno de fundación y diseñar el mejoramiento de la subrasante.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE PAVIMENTO

3.1 DETERMINACIÓN DE LA SUBRASANTE DE DISEÑO

Para la determinación de la Subrasante de diseño se está considerando el **Método de la Norma Peruana del MTC de Diseño de Pavimentos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú 2012)**.

En este caso la norma peruana del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú 2012) considera un material apto para ser considerado como subrasante cuando su **CBR es mayor o igual a 6%**. Si tiene un CBR menor se debe plantear el mejoramiento o reemplazo de dicho suelo. El CBR de diseño se calcula de acuerdo a los siguientes pasos:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño en base al promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelos representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño en base a lo siguiente:
 - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - Si los valores no son parecidos o no son similares tomar el valor crítico (más bajo).
3. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de

subrasante pertenece el sector o subtramo, según el cuadro siguiente:

TablaN°3.1: Categorías de Subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	De CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC

Adicionalmente se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos antes de definir la categoría de la subrasante:

- Los suelos de la explanación debajo del nivel superior de la subrasante, deberán tener un espesor mínimo de un metro (1.0 m) del material correspondiente a la categoría asignada, caso contrario se asignará a la categoría inmediata inferior.
- El nivel superior de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante excelente - muy buena (CBR ≥ 30%); a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena – regular (6% ≤ CBR < 20%); a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre (3% ≤ CBR < 6%); y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada (CBR < 3%). En caso necesario se colocaran sub drenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevara la rasante hasta el nivel necesario.
- Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material filtrante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geosintético.

De acuerdo a lo expuesto la subrasante pertenece a:

CBR	Categoría
5 %	S1: Subrasante Pobre

3.2 DISEÑO DE PAVIMENTO CON MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado o estabilización con cemento, cal o aditivos químicos) o podrá ser una nueva capa construida sobre la subrasante existente. La alternativa a elegir será determinada de acuerdo al análisis técnico económico comparativo.

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

Análisis del Tránsito

De acuerdo al tipo de cargas que van a transitar se considera las camionetas y camiones tipo C2, C3, C4 o 8x4 cuyas cargas se encuentran indicadas en el Reglamento Nacional de Vehículos y que transitan a baja velocidad en el estacionamiento, asimismo es preciso considerar los viajes de montacargas típicos de 4,630 kg de peso y con capacidad máxima de carga de 2,830 kg.

El tránsito típico para el estacionamiento de Omnibuses puede clasificarse como medio, con un valor estimado ESAL de 5×10^5 ejes de 18 Kips.

3.2.1 Diseño de Mejoramiento de Subrasante por Método MTC.

De acuerdo lo indicado en el Capítulo 4 “Diseño Estructural de Pavimentos Urbanos”, Artículo 4.1.1 de la NTE CE.010, el diseño se ha realizado siguiendo el procedimiento AASHTO-93. En este método el espesor de la estructura del pavimento depende entre otros de los siguientes parámetros: el tránsito; el nivel de servicio inicial y final; el valor de soporte de la subrasante (CBR), la calidad de los materiales disponibles, y los procedimientos previstos para la construcción.

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 en el ítem 5.7 Mejoramiento de Subrasante (Ver Anexo E), 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 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.

La ecuación que las relaciona es la siguiente:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left[\frac{\Delta\text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(\text{MR}) - 8.07$$

.....(1)

Dónde:

- W_{18} (ESAL)** : Número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 tn en el periodo de diseño
- R** : Confiabilidad
- Z_r** : Desviación estándar normal (depende de la confiabilidad de diseño)
- S_o** : Error estándar por efecto del tráfico y comportamiento proyectado
- ΔPSI** : Diferencia entre el Índice de Serviciabilidad inicial (P_o), y el Índice de Serviciabilidad terminal (P_t)
- MR** : Módulo resiliente de la subrasante (psi)
- $\text{MR} = 2555(\text{CBR})^{0.64}$**
- SN** : Número estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido

Cálculo del Número Estructural Requerido del Pavimento con Subrasante Pobre (CBR=5%)

W18 : 500,000

R : 90%

Zr : -1.282

So : 0.35

Po : 4.20

Pt : 2.00

$\Delta\text{PSI} : P_0 - P_t = 2.20$

CBR (subrasante) : 5% (al 95% de la MDS del ensayo Proctor Modificado, según el ensayo de laboratorio realizado)

Mr : 7, 157 psi (Mr=2555*(CBR)^0.64)

Empleando la expresión (1), se tiene:

SNo = 2.91

Cálculo del Número Estructural Requerido del Pavimento con Subrasante Muy Buena (CBR=20%)

W18 : 500,000

R : 90%

Zr : -1.282

So : 0.35

Po : 4.20

Pt : 2.00

$\Delta\text{PSI} : P_0 - P_t = 2.20$

CBR (subrasante mejorada) : 20% (al 95% de la MDS del ensayo Proctor Modificado, según el ensayo de laboratorio realizado)

Mr : 17, 380 psi (Mr=2555*(CBR)^0.64)

Empleando la expresión (1), se tiene:

SNr = 2.11

Cálculo del espesor mínimo de Subrasante Mejorada

Ecuación

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

SNo : 2.91

SNr : 2.11

a4 : 0.094

m4 : 1.00

Entonces: D4 = 8.51 pulgada

D4 = 21.62 cm

D4 = 22.5 cm (espesor adoptado)

Como:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 + a_4 * D_4 * m_4 \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

SN: Número estructural

a_i : Coeficiente de la capa "i" (1/pulg.)

D_i : Espesor de la capa "i" (pulg.)

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa "i" (adimensional)

Los subíndices 1, 2 y 3 se refieren a las capas de carpeta asfáltica, base y sub base respectivamente. Los coeficientes de capa usados en la pista de prueba AASHTO son:

Concreto asfáltico superficial (a_1)	0.40 – 0.44
Base granular (a_2)	0.10 – 0.14
Sub base de grava arenosa (a_3)	0.060 – 0.10

El método AASHTO asume que la resistencia de la subrasante y base permanecerá constante durante la vida de servicio del pavimento. Para que esto sea cierto, la estructura de pavimento debe tener un drenaje apropiado. La calidad de drenaje se incorpora al diseño, modificando los coeficientes de capa. El posible efecto del drenaje en el concreto asfáltico no se considera. La Tabla N°3.2 presenta las definiciones generales correspondientes a los diferentes niveles de drenaje y la Tabla N°3.3 muestra los coeficientes recomendados dependiendo de la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento podría ser expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

TablaN°3.2: Condiciones de Drenaje

Calidad de drenaje	Retiro del agua dentro de :
Excelente	2 Horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO 93

Tabla N°3.3: Coeficientes de drenaje recomendados, m

Calidad De drenaje	% de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos que 1%	1-5%	5-25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40–1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35–1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25–1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15–1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05–0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO 93

De esta manera se establecen los siguientes coeficientes de capa y drenaje:

- Coeficientes de capa:

Carpeta asfáltica a_1 : 0.42 1/pulg.

Base a_2 : 0.12 1/pulg.

Sub Base a_3 : 0.08 1/pulg.

- Coeficientes de drenaje:

Base m_2 : 1.20

Sub Base m_3 : 1.15

Empleando la ecuación (2), se recomienda la siguiente estructura de pavimento (Figura N°3.1):

Carpeta asfáltica:	5 cm (2")
Base Granular:	20 cm (8")
Sub Base:	25 cm (10")
Mejoramiento:	22.5 cm (9") (Reemplazo de material CBR=>20%)

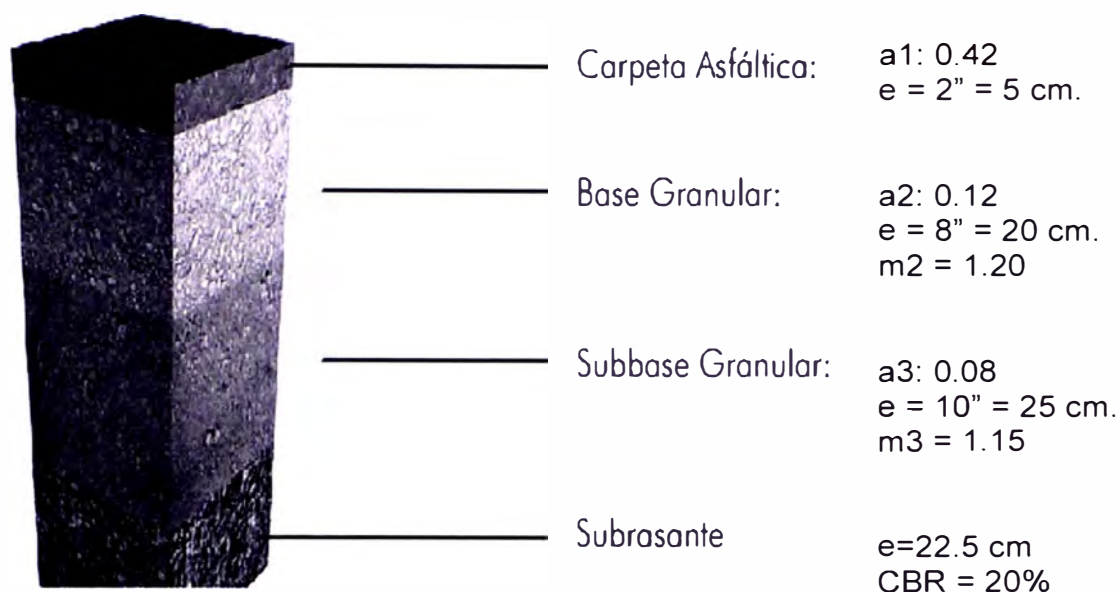


Figura N°3.1: Estructura de pavimento por método del MTC

3.2.2 Diseño de Mejoramiento de Subrasante con Geosintéticos

Introducción

Con frecuencia encontramos suelos poco competentes para soportar cargas debido al tráfico, por lo cual el refuerzo con geosintéticos permite mejorar el desempeño de un pavimento, disminuyendo los esfuerzos aplicados sobre la subrasante. Como resultado, se tiene una sección reforzada que permite una mayor aplicación de cargas y menores deformaciones que una sección sin refuerzo.

Beneficio del Geosintético

El diseño de una estructura de pavimento depende de varios factores que afectarán la vía durante su vida útil, tales como el tránsito, las condiciones ambientales, las características del suelo de subrasante y de los materiales que conforman la estructura de pavimento, entre otros.

Las diferentes alternativas en el diseño de pavimentos normalmente resultan al evaluar varias posibilidades con los siguientes parámetros:

- Espesores de las capas granulares.
- Propiedades mecánicas de los materiales granulares.
- Capacidad portante de la subrasante.

En el diseño, el tránsito es un parámetro fijo y las características de los materiales como el concreto asfáltico o el concreto rígido se modifican como una última alternativa, tratando siempre de encontrar una solución definitiva al cambiar las características de los suelos y los materiales que conforman las capas de subrasante y granulares respectivamente.

Los materiales que conforman la capa estructural de los pavimentos flexibles o la capa de apoyo de los pavimentos rígidos deben cumplir unas especificaciones establecidas para soportar las capas superiores y los esfuerzos a los que es sometido el sistema. Sin embargo, son muchos los casos en donde el material no tiene las resistencias apropiadas y debe mejorarse o reemplazarse por otro que se encuentra a mayor distancia y con mayor costo.

Otro caso que se presenta con frecuencia es la baja capacidad portante de los suelos de subrasante y sus deficientes propiedades mecánicas, que influye en la degradación de las capas granulares y en el comportamiento de la estructura de pavimento, lo que conlleva a una disminución de la vida útil que inicialmente se determinó en el diseño.

Por todo lo anterior, se han estudiado los efectos del uso de geosintéticos en la estructura de pavimento, en particular su utilización sobre la capa de subrasante o en la interface de la misma - capa granular.

El geosintético de refuerzo permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforma la estructura de pavimento, lo que se puede traducir, en un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que hacen parte de la capa granular o en un incremento de la vida útil de la vía.

De igual manera, al mejorar las condiciones mecánicas de la estructura de pavimento se puede obtener un aumento del tránsito de diseño, evaluado con

la cantidad de ejes equivalentes que van a pasar durante el periodo de operación de la vía. En resumen, los efectos de la utilización de un geosintético de refuerzo sobre la capa de subrasante de una estructura de pavimento son los siguientes:

- Incremento de la capacidad portante del sistema.
- Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura de pavimento.
- Incremento de la vida útil de la vía.
- Aumento de los ejes equivalentes del diseño de la vía.

Funciones del Geotextil

Son varias las funciones de los geotextiles y varían según el campo de aplicación en que se utilicen. En el caso de las estructuras de pavimento, los geotextiles cumplen dos funciones esenciales: separación y refuerzo.

Separación

La función de separación que cumple un geotextil es mantener la integridad y el buen funcionamiento de dos suelos adyacentes con propiedades y características diferentes.

En el caso de las estructuras de pavimento, donde se coloca suelo granular (base, sub base, relleno) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

- Migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje.
- Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

El geotextil se traduce en una barrera para la migración de partículas entre los dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo y evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido bajo concentraciones de esfuerzos locales causada por irregularidades en el suelo de fundación.

A continuación se presenta la figura N°3.2 donde se aprecia la separación de la capa granular con la subrasante.

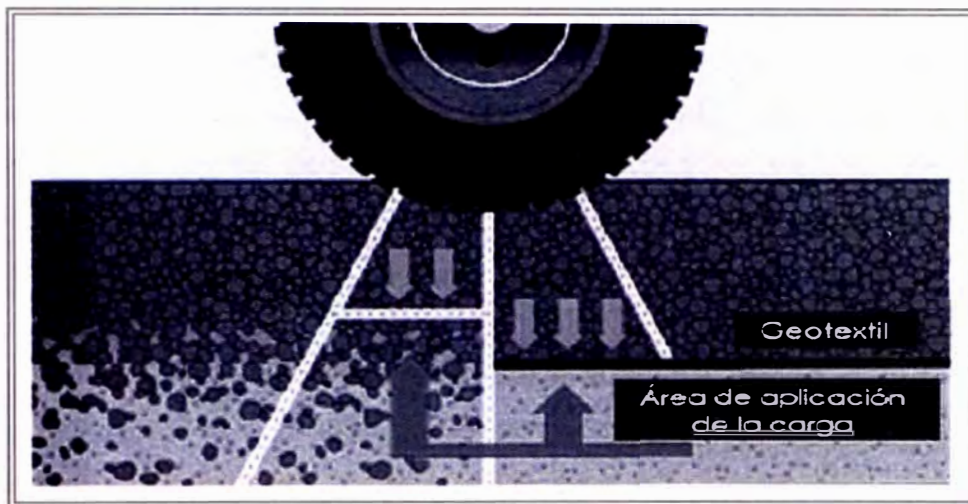


Figura 3.2: Separación de capas granulares y subrasante

Refuerzo

La función de refuerzo de los geotextiles consiste en el complemento y por ende en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo. Los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y son un buen complemento de aquellos materiales con alta resistencia a la compresión pero con poca resistencia a la tensión, como ocurre en general con los suelos finos y granulares.

Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por el peso propio del suelo, como en el caso de taludes o terraplenes sobre suelos de fundación muy blandos, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la construcción de taludes o terraplenes con mayor inclinación. Cuando las fuerzas perturbadoras

son causadas por cargas externas, caso de las vías, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de la estructura de pavimento.

Para que un geotextil cumpla de manera óptima con la función de refuerzo se debe cumplir con la condición de que el CBR de la subrasante sea menor a 6%.

El refuerzo con geotextiles permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión.

Cuando se aplica una carga en la superficie de la estructura, una parte de los esfuerzos normales de la fibra inferior de esa capa (parte cóncava) son soportados por la fuerza de tensión de la membrana de geotextil, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el geotextil (parte convexa del geotextil).

Este mecanismo tipo membrana se desarrolla cuando se aplican cargas localizadas y se presentan deformaciones considerables. En el caso particular de las vías, la acción de membrana es muy importante para controlar el ahuellamiento en las vías y para prevenir el colapso de un relleno en un hueco o cavidad que se presente en el suelo de fundación.

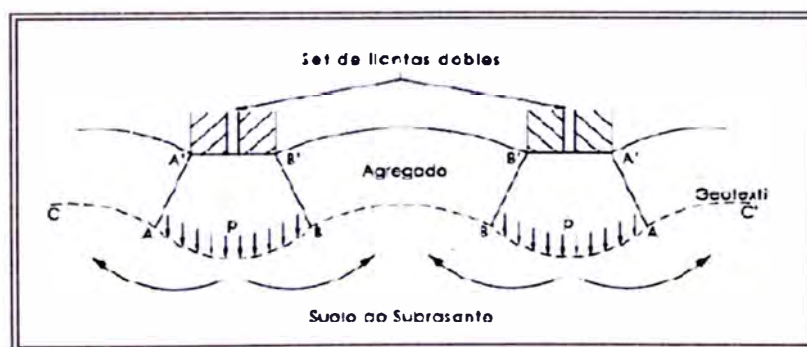


Figura 3.3: Efecto membrana.

Diseño de Mejoramiento de subrasante con Geotextil

Introducción

El diseño permite escoger el tipo de geosintético adecuado para ser instalado en conjunto con un espesor de material granular, de manera tal que se logre estabilizar una subrasante, logrando una plataforma de trabajo que permita el inicio de las actividades propias de la construcción de una vía.

El método que se presenta a continuación fue desarrollado por los profesores J. P. Giroudy JieHan, publicado en la edición de agosto de 2004 de la Sociedad de Ingenieros Civiles de los Estados Unidos (ASCE, por su sigla en inglés). Dicho método se basa en la teoría de capacidad portante a través de verificaciones en campo y pruebas de laboratorio permitiendo predecir con mayor precisión el desempeño de una vía. Este método puede ser usado para dimensionar vías no pavimentadas y estabilización de subrasantes con geosintéticos.

De acuerdo con Giroud y Han (2004), es posible determinar el espesor de material granular compactado requerido para estabilizar un terreno blando, con la utilización de un refuerzo con geosintéticos, teniendo en cuenta las condiciones de la subrasante.

El diseño y uso de los geosintéticos está orientado a obtener una plataforma de compactación lo suficientemente estable sobre el terreno blando, que permita empezar los trabajos de conformación de estructuras de relleno o capas granulares de pavimento sin sufrir ahuellamiento o deformaciones severas. En el Anexo F se presenta la metodología de diseño con geosintéticos para la estabilización de subrasantes.

Para nuestro caso realizaremos los siguientes datos de entrada para el diseño:

J: Se asume como 0 en el caso de Geotextil.

N: 2000

P: 40kN (eje de 80kN)

r: Radio del área de contacto de la llanta

De acuerdo con la ecuación tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

$$r = \sqrt{\frac{40}{\pi 550}} = 0.15m$$

CBRsr = 5%; CBRbg = 30%

La relación de módulos, según la ecuación, se estima como:

$$Re = \frac{Emg}{Esr} = \frac{3.48 CBRmg^{0.3}}{CBRsr}$$

$$Re = \frac{3.48 \times 30^{0.3}}{5} = 1.93$$

En este caso se adopta un Re=5.0 (mínimo entre Re calculado y 5.0)

S : 40mm
fs : 75mm
fc : 30 kPa
Nc : 5.14 (geotextil)

Reemplazo en la ecuación... y por medio de un proceso iterativo tenemos para un h=0.5 m

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006x0^2)^{\frac{3}{2}}}{1 + 0.204(5.0 - 1)} \left(\sqrt{\frac{\frac{40}{\pi 0.15^2}}{\frac{40}{75} (1 - 0.9 \epsilon^{\frac{0.15}{0.5}})^2} - 1} \right) 0.15$$

Iterando obtenemos los siguientes resultados en la Tabla N°3.4.

TablaN°3.4: Calculo del espesor de material granular requerido con geotextil.

h asumido (m)	h calculado (m)
0.50	0.48
0.48	0.45
0.45	0.45

Fuente: Propia

Tabla N°3.5: Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de Geotextil.

Condicion	Espesor (m)	Ahorro
Con Reemplazo	0.675	
Con Geotextil	0.45	33%

Fuente: Propia

El ahorro en material granular en el caso de las estructuras reforzadas con geotextil, presenta un beneficio económico tangible respecto a la estructura convencional sin refuerzo, y un beneficio en el impacto ambiental al minimizar las excavaciones y en general los movimientos de tierra.

Cálculo de Incremento de CBR con Geotextil

CBR suelo natural = 5%

CBR suelo natural con Geotextil = 20%

Incremento de CBR con geotextil: 15%.

3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE AMBOS DISEÑOS

COSTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOTEXTIL

ITEM	CAPA	Und	Cantidad	PU (S/.)	Parcial (S/.)
1	CARPETA ASFÁLTICA (e=2")	m2	2,800.00	31.00	86,800.00
2	CAPA DE BASE, e=20 cm	m2	2,800.00	12.50	35,000.00
3	CAPA DE SUBBASE, e=25 cm	m2	2,800.00	13.50	37,800.00
4	CAPA MEJORAMIENTO (REEMPLAZO) e=22.5 cm	m2	2,800.00	11.50	32,200.00
TOTAL (S/.)					191,800.00

COSTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOTEXTIL

ITEM	CAPA	Und	Cantidad	PU (S/.)	Parcial (S/.)
1	CARPETA ASFÁLTICA (e=2")	m2	2,800.00	31.00	86,800.00
2	CAPA DE BASE, e=20 cm	m2	2,800.00	12.50	35,000.00
3	CAPA DE SUBBASE, e=25 cm	m2	2,800.00	13.50	37,800.00
4	GEOTEXTIL	m2	2,800.00	5.80	16,240.00
TOTAL (S/.)					175,840.00

Los precios de las capas del pavimento incluyen los costos directos (material, mano de obra y equipos), sin tomar en cuenta los costos indirectos.

Costo de pavimento sin Geotextil: S/. 191,800.00.-

Costo de pavimento con Geotextil: S/. 175,840.00.-

Ahorro por costos directos: S/. 15,960.00.- (8.32%)

CAPÍTULO IV:**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES****4.1 CONCLUSIONES**

- El presente informe tiene como objetivo realizar el diseño del pavimento de Estacionamiento y mantenimiento de Ómnibus, ubicado en el Distrito de San Juan de Lurigancho, provincia y departamento de Lima.
- Se ha podido verificar que el terreno de fundación del área de interés está formado superficialmente por una capa de material de relleno de matriz limo arenoso, con presencia de raíces y restos de plásticos y ladrillos, con una profundidad variable entre 0.35 m y 0.40 m. El siguiente estrato natural está conformado por arcilla de plasticidad media, medianamente rígida, ligeramente húmeda, color marrón claro (CL), Este estrato se encuentra bajo el relleno no ingenieril y llega más allá de la máxima profundidad investigada de 1.50m.
- De acuerdo a la evaluación geotécnica realizada a nivel de subrasante ésta presenta un CBR de 5% el cual nos indica que se debe realizar un mejoramiento o estabilización para lo cual se han planteado 2 alternativas de diseño, los cuales nos dan los siguientes resultados:

Estructura del Pavimento	Método AASHTO aplicado por MTC	Método de Diseño con Geosintéticos PAVCO
Capa de Rodadura	5 cm	5 cm
Base Granular	20 cm	20 cm
Sub Base Granular	25 cm	25 cm
Mejoramiento Subrasante	22.5 cm	0 cm

- La utilización de subrasantes mejoradas con geosintéticos ocasiona un aumento en la resistencia del pavimento flexible, puesto que aumenta el Número Estructural (SN).
- Un pavimento en el cual interviene un geosintético reduce los espesores de las capas del pavimento garantizando ahorro en material, mano de obra y equipos.
- El costo – beneficio queda maximizado con esta técnica ya que al existir menor movimiento de tierra significa una reducción del tiempo de transporte, tendido y compactado del material de las capas del pavimento flexible; esto produce un periodo de construcción de pavimento más corto.
- El costo comparativo de ambos diseños es:

Costo de pavimento sin Geotextil: S/. 191,800.00.-

Costo de pavimento con Geotextil: S/. 175,840.00.-

La aplicación del diseño con geotextil nos da un ahorro de S/. 15,960.00.- el que representa un 8.32%.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el material de reemplazo en el caso del diseño por el método AASHTO aplicado por el MTC sea material granular y se compacte convenientemente a una densidad no menor de 95% de la máxima densidad obtenida mediante el ensayo Proctor Modificado Tipo C.
- El geotextil estructural tiene óptimos resultados de resistencia para subrasantes con CBR menores al 6% ya que con CBR mayores el costo – beneficio ya no es significativo y puede ser ineficiente el uso del mismo.

- Asumir una responsabilidad social. Las obras de pavimentos son necesarias para alcanzar una malla vial de cobertura y calidad adecuadas, que propicien el desarrollo económico en el país. En este sentido, los productores y compradores de geosintéticos deben asumir la responsabilidad que les exige la profesión de la ingeniería civil y debe ser consciente de los efectos sociales y económicos que implican el uso inapropiado de estos materiales

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington D. C.1993.
- Sección de Suelos y Pavimentos del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima 2012.
- Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Resolución Ministerial N°262-2007 MTC/02.
- Norma Técnica CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Decreto Supremo 017-2012-VIVIENDA, Perú 2012.
- Menéndez Acurio José Rafael, Ingeniería de Pavimentos, Instituto de Construcción y Gerencia 3ra Edición, 2012.
- Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones Reglamento Nacional de Edificaciones, Decreto Supremo N° 001-2010 - VIVIENDA, Perú 2010.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, Título III Edificaciones, III.2 Estructuras, E.050. Suelos y Cimentaciones, Decreto Supremo N° 011-2006 - VIVIENDA, Perú 2006.
- Rico Rodríguez Alonso y Ing. Del Castillo Hermilo, La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 1, Editorial Limusa, 2002.
- Carlos Crespo Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentación, 5ta Edic. México, Limusa 2004.
- Manual de Diseño con Geosintéticos, Departamento de ingeniería Geosistemas, 9na. Edic. Bogotá D.C., Junio 2012

ANEXOS

ANEXO A

Vista Panorámica del Área del Proyecto de Pavimentación

VISTA PANORAMICA

AREA DE PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN

CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ESTACIONAMIENTO DE OMNIBUSES





ANEXO B

Perfiles Estratigráficos

Obras Civiles, Movimiento de Tierras, Asfaltos, Emulsiones, Señalización Vial y Estudios de Ingeniería

PERFIL DEL SUELO



SOLICITANTE : OLTURSA
PROYECTO : MANTENIMIENTO OLTURSA
UBICACIÓN : LUR GANCHO - LAS GAVIOTAS
CALCATA : C-1

Método de excavación : Calcata		Fecha : 15/07/2012		
Cotas Referencia : Nive de terreno		Fondo : 1.50 m		
Superficie : +/- 0.00m		Nivel freático : ----		
Largo: 0.40m Ancho: 0.40m		Profundidad : 1.50 m		
Profundidad (m)	Simbolo	SUCS	AASHTO	Descripción del Estrato
0.00		RE	NF	Releño conformado de suelo de la zona, de matriz limo arenoso, con presencia de raíces, restos de plásticos y aditivos.
0.40		CL	A - E : 5	Arcilla de plasticidad media, medianamente compacta, generalmente húmeda, color marrón claro.
1.50				

**Obras Civiles, Movimiento de Tierras, Asfaltos, Emulsiones,
Señalización Vial y Estudios de Ingeniería**

PERFIL DEL SUELO

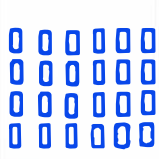

SOLICITANTE : OLTURSA
PROYECTO : MANTENIMIENTO OLTURSA
UBICACION : LUR GANCHO - LAS GAVIOTAS
CALICATA : C-2

Método de excavación : Calicata		Fecha : 15/07/2012		
Cotas Referencia : Nivel de terreno		Fondo : 1.50 m		
Superficie : +/- 0.00m		Nivel freático : ----		
Largo: 0.40m Ancho: 0.40m		Profundidad : 1.50 m		
Profundidad (m)	Simbolo	SUCS	AASHTO	Descripción del Estrato
0.00		RE	NF	Repleno conformado de suelo de la zona, de matriz limosa arenosa, con presencia de raíces, restos de pastos y ladrillos. Presencia de tubería de plástico diámetro 1 1/2" pugnada en una profundidad de 0.35 mt.
0.35		CL	A-6 (5)	Arcilla de plasticidad media, medianamente compacta, germinete húmeda, color marrón oscuro.
1.50				

Obras Civiles, Movimiento de Tierras, Asfaltos, Emulsiones, Señalización Vial y Estudios de Ingeniería

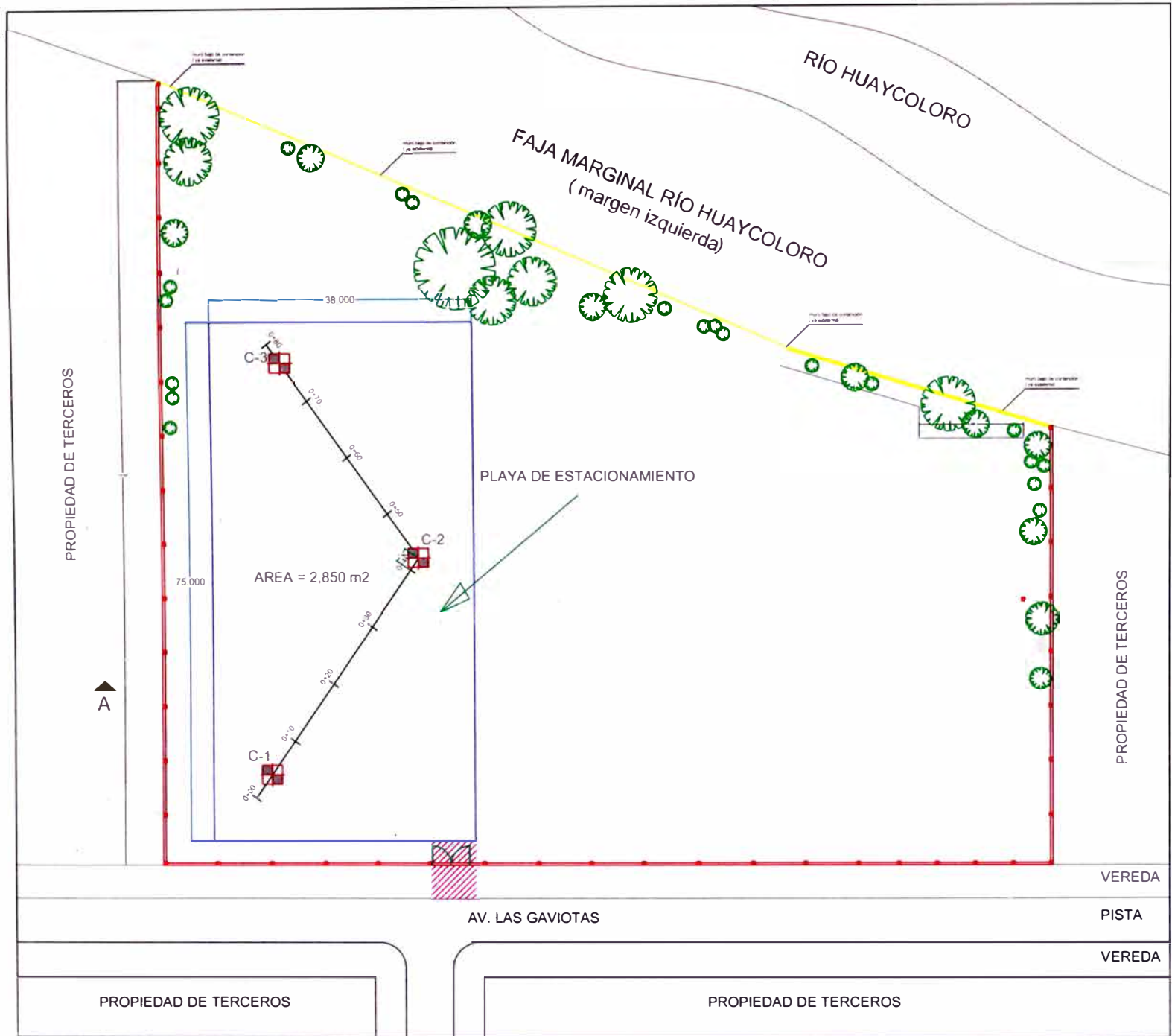
PERFIL DEL SUELO

SOLICITANTE : OLTURSA
PROYECTO : MANTENIMIENTO OLTURSA
UBICACIÓN : LUR GANCHO - LAS GAVIOTAS
CALCATA : C-3

Método de excavación : Calcata		Fecha : 15/07/2012		
Cotas: Referencia : Nivel de terreno		Fondo : 1.50 m		
Superficie : +/- 0.00m		Nivel freático : -----		
Largo: 0.40m Ancho: 0.40m		Profundidad : 1.50 m		
Profundidad (m)	Simbolo	SUCS	AASHTO	Descripción del Estrato
0.00		RE	NP	Repleno conformado de suelo de la zona, de matriz limo arenoso, con presencia de raíces, restos de plásticos y ladrillos. Presencia de tubería de plástico diámetro 1 1/2 pulgadas en una profundidad de 0.45 mt.
0.37		CL	A1-6 (SI)	Arcilla de plasticidad media, medianamente compacta, generalmente húmeda, color marrón claro.
1.50				

ANEXO C

Ubicación de Calicatas



PROYECTO	UBICACION CALICATAS	PLANO	CONSULTOR	ESCALA	PLANO Nº
CENTRO DE MANTENIMIENTO		PLANTA	INGEVIAS SAC	S/E	S01
				FECHA	
				AGOSTO 2012	

ANEXO D

Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Capitulo 4. Diseño Estructural de Pavimentos Urbanos



PERÚ

Ministerio de Vivienda
Construcción y Saneamiento



SENCICO
SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA
LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

NORMA CE.010

PAVIMENTOS URBANOS

LIMA – PERU
2010

PUBLICACIÓN OFICIAL

CAPÍTULO 4
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS URBANOS

4.1 MÉTODO DE DISEÑO

- 4.1.1 Se podrá utilizar cualquier método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías del Instituto del Asfalto, de la AASHTO-93 y de la PCA, comúnmente empleadas en el Perú, siempre que se utilice la última versión vigente en su país de origen y que al criterio del **PR**, sea aplicable a la realidad nacional. El uso de cualquier otra metodología de diseño obliga a incluirla como anexo a la Memoria Descriptiva.
- 4.1.2 Alternativamente se podrán emplear las metodologías sugeridas en los Anexos B, D y F de esta Norma.

4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

- 4.2.1 En cualquier caso se efectuará el diseño estructural considerando los siguientes factores:
- a) Calidad y valor portante del suelo de fundación y de la sub-rasante.
 - b) Características y volumen del tránsito durante el periodo de diseño.
 - c) Vida útil del pavimento.
 - d) Condiciones climáticas y de drenaje.
 - e) Características geométricas de la vía.
 - f) Tipo de pavimento a usarse.

4.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

- 4.3.1 El **PR** deberá elaborar las especificaciones técnicas que tomen en cuenta las condiciones particulares de su proyecto. En los Anexos C, E y G se acompañan los lineamientos generales para las especificaciones constructivas de pavimentos asfálticos, de concreto de cemento Portland y con adoquines, respectivamente.
- 4.3.2 Los requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos, son los indicados en la Tabla 30.

TABLA 30

Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Elemento				
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40 % 100% Compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 % 100% compactación Proctor Modificado	
Base		CBR ≥ 80 % 100% Compactación Proctor Modificado	N.A.*	CBR ≥ 80% 100% compactación Proctor Modificado
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**

Material	Vías locales	Concreto asfáltico ***	MR ≥ 3,4 MPa (34 kg/cm ²)	f _c ≥ 38 MPa (380 kg/cm ²)
	Vías colectoras			
	Vías arteriales			
	Vías expresas			

Notas: * N.A.: No aplicable; ** N.R.: No Recomendable; *** El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

- En ningún caso la capa de rodadura será la base granular o el afirmado, a menos que sea tratada. Bajo la responsabilidad de la Entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras y del **PR**, se podrá considerar otras soluciones tales como: Bases tratadas con cemento, con asfalto o cualquier producto químico.
- En el caso de los pavimentos flexibles y bajo responsabilidad de la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras, se podrá considerar otras soluciones tales como: micropavimentos, lechadas bituminosas (slurry seal), tratamientos asfálticos superficiales, etc.
- En el caso de los pavimentos rígidos y bajo responsabilidad de la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras, se podrá considerar otras soluciones tales como: concreto con refuerzo secundario, concreto con refuerzo principal, concreto con fibras, concreto compactado con rodillo, etc.
- Los estacionamientos adyacentes a las vías de circulación tendrán de preferencia, las mismas características estructurales de estas. Alternativamente se podrán usar otros tipos de pavimentos sustentados con un diseño

TABLA 31

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	EAL < 10 ⁴	10 ⁴ ≤ EAL < 10 ⁶	EAL ≥ 10 ⁶
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, kN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0,25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 -14
Porcentaje de vacíos llenos de aire**, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos, en el agregado mineral***, VMA (min - max)	Ver Tabla 32		
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min - max)	70 - 80	65 -78	65 -75

Notas:

- * Se debe considerar todos los criterios en el diseño de mezclas de pavimentación.
- ** Por encima de los 3000 m.s.n.m.m., se recomienda un valor de 2%.
- *** El porcentaje de vacíos en el agregado mineral se calcula sobre la base de las gravedades específicas bulk ASTM de los agregados.

TABLA 32

MALLA	VMA mínimo, porcentaje		
	Porcentaje de vacíos de diseño *		
	3,0	4,0	5,0
1,18 mm (N° 16)	21,5	22,5	23,5
2,36 mm (N° 8)	19,0	20,0	21,0
4,75 mm (N° 4)	16,0	17,0	18,0
9,50 mm (3/8")	14,0	15,0	16,0
12,5 mm (1/2")	13,0	14,0	15,0
19,0 mm (3/4")	12,0	13,0	14,0
25,0 mm (1.0")	11,0	12,0	13,0
37,5 mm (1.5")	10,0	11,0	12,0
50,0 mm (2.0")	9,50	10,5	11,5
63,0 mm (2.5")	9,00	10,0	11,0

* Interpolarse para valores de vacíos llenos de aire comprendidos entre los indicados.

4.4 PAVIMENTOS ESPECIALES

4.4.1 Se consideran como pavimentos especiales a los siguientes:

- a) Aceras o Veredas.
- b) Pasajes Peatonales.
- c) Ciclovías.

4.4.2 Estos pavimentos deberán cumplir los siguientes requisitos:

TABLA 33

Elemento		Tipo de Pavimento	
		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar	
		Espesor compactado: ≥ 150 mm	
Base		CBR ≥ 30 %	CBR ≥ 60 %
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm	
	Concreto de cemento Portland	≥ 100 mm	
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)	
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*	
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 17,5$ MPa (175 kg/cm ²)	
	Adoquines	$f_c \geq 32$ MPa (320 kg/cm ²)	N.R. **

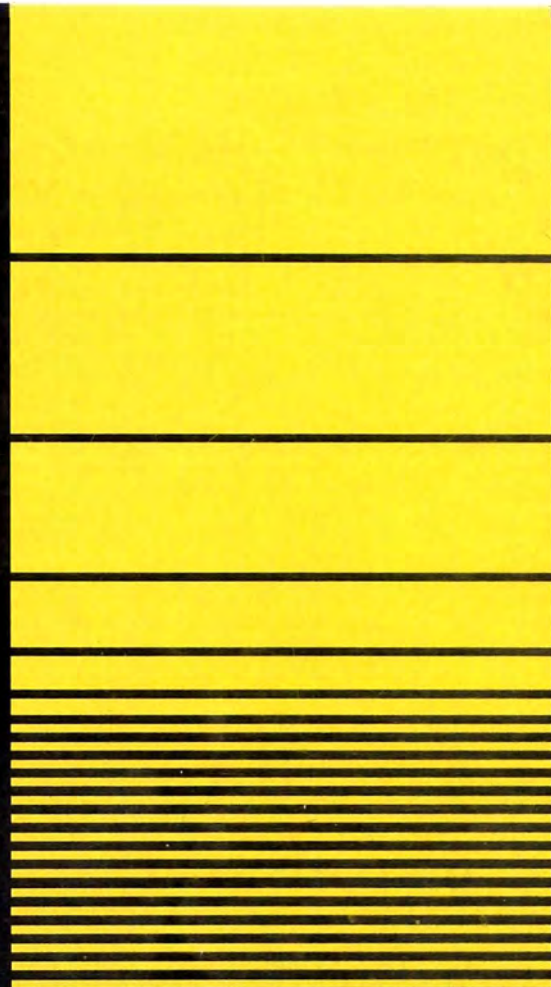
* El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

** N.R.: No Recomendable.

ANEXO E

Manual de Diseño de Carreteras de Bajo Volumen de Transito 5.7 Mejoramiento de Subrasante

MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO



Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

MTC 
Ministerio de Transportes y Comunicaciones

A black and white photograph showing a road cut through a rocky, vegetated hillside. The road surface is light-colored and appears to be made of gravel or crushed stone. The cut reveals a steep, rocky embankment with sparse vegetation. The sky is overcast.

Capítulo 5

**GEOLOGÍA, SUELOS
Y PAVIMENTOS**

5.7 Mejoramiento de subrasante

La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado o estabilización con cemento, cal o aditivos químicos) o podrá ser una nueva capa construida sobre la subrasante existente. La alternativa a elegir será determinada de acuerdo al análisis técnico-económico comparativo.

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

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

- i) Tal como se indicó el Número Estructural (SN), según AASHTO está dado por la siguiente ecuación:

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

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

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

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

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

m_4 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 4, según el cuadro 5.7.1 se determina el valor de m_4 .

Cuadro 5.7.1

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

Nueva ecuación:

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

o

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

- iii) Con los valores determinados a_4 y m_4 , se puede calcular el espesor efectivo D_4 de la subrasante mejorada, con la siguiente expresión:

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

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

SN_o = Número estructural del pavimento con subrasante muy pobre o pobre

- iv) En los cuadros 5.7.2 (a), (b), (c) y (d), se presentan como ejemplo la aplicación de la metodología citada, considerando un coeficiente estructural $a_4 = 0.024$ y coeficiente de drenaje $m_4 = 1.00$.

Cuadro 5.7.2 (a)

CLASE DE TRÁFICO	T1	T1
Número de repeticiones de EE	5.0 x 10 ⁴ - 1.5 x 10 ⁵	5.0 x 10 ⁴ - 1.5 x 10 ⁵
Período de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	1,715	1,715
SN SUBRASANTE INADECUADA	2,889	2,510
Diferencial SN requerido	1,174	0,795
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	49,0	33,0
Espesor adoptado	50,0	35,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura	Tratamiento superficial bicapa	Tratamiento superficial bicapa
Base granular (cm)	20,0	20,0
Sub base granular (cm)	15,0	15,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	50,0	35,0
Total (cm)	85,0	70,0

Cuadro 5.7.2 (b)

CLASE DE TRÁFICO	T2	T2
Número de repeticiones de EE	1.5 x 10 ⁵ - 3.0 x 10 ⁵	1.5 x 10 ⁵ - 3.0 x 10 ⁵
Periodo de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	2,015	2,015
SN SUBRASANTE INADECUADA	3,326	2,903
Diferencial SN requerido	1,311	0,888
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	55,0	37,0
Espesor adoptado	55,0	40,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en frío de conglomerado asfáltico con asfalto emulsionado (cm)	5,0	5,0
Base granular (cm)	20,0	20,0
Sub base granular (cm)	20,0	20,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	55,0	40,0
Total (cm)	95,0	80,0

Cuadro 5.7.2 (c)

CLASE DE TRÁFICO	T3	T3
Número de repeticiones de EE	3.0 x 10 ⁵ - 6.0 x 10 ⁵	3.0 x 10 ⁵ - 6.0 x 10 ⁵
Período de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	2,305	2,305
SN SUBRASANTE INADECUADA	3,748	3,282
Diferencial SN requerido	1,443	0,978
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	60,0	41,0
Espesor adoptado	60,0	45,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en caliente (cm)	6,0	6,0
Base granular (cm)	15,0	15,0
Sub base granular (cm)	20,0	20,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	60,0	45,0
Total (cm)	95,0	80,0

Cuadro 5.7.2 (d)

CLASE DE TRÁFICO	T4	T4
Número de repeticiones de EE	6.0 x 10 ⁵ - 1.0 x 10 ⁶	6.0 x 10 ⁵ - 1.0 x 10 ⁶
Período de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	2,562	2,562
SN SUBRASANTE INADECUADA	4,122	3,620
Diferencial SN requerido	1,560	1,058
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	65,0	44,0
Espesor adoptado	65,0	45,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en caliente (cm)	7,5	7,5
Base granular (cm)	20,0	20,0
Sub base granular (cm)	15,0	15,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	65,0	45,0
Total (cm)	100,0	80,0

ANEXO F

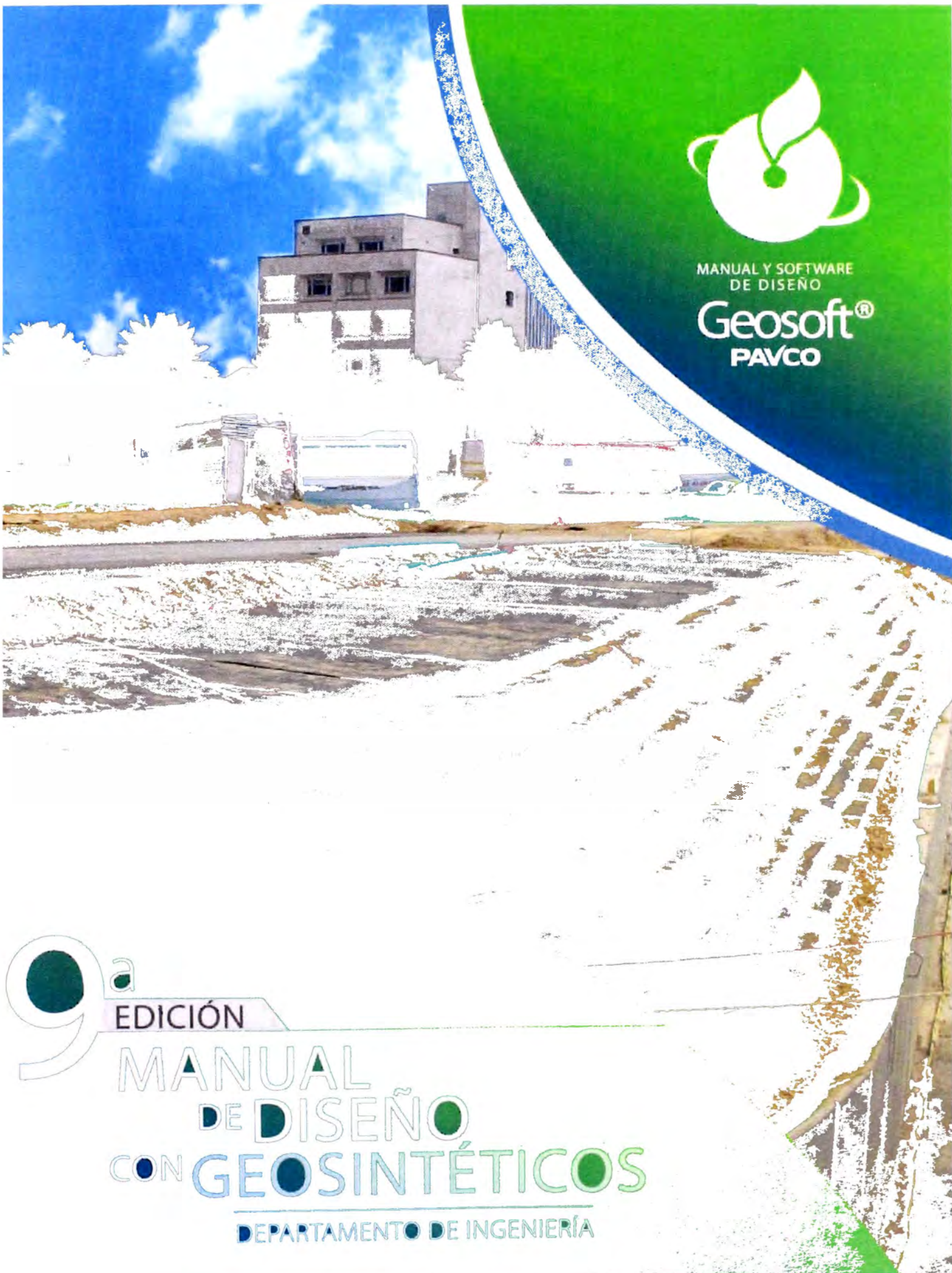
Manual de Diseño de Geosintéticos

Capítulo 5. Estabilización de Subrasantes con Geosintéticos



MANUAL Y SOFTWARE
DE DISEÑO

Geosoft®
PAVCO



9^a

EDICIÓN

MANUAL
DE DISEÑO
CON GEOSINTÉTICOS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

MANUAL DE SOFTWARE
DE DISEÑO
Geosoft[®]
PAVCO

5

CAPÍTULO
ESTABILIZACIÓN DE
SUBRASANTES CON
GEOSINTÉTICOS



Volver al índice

5.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO

5.5.1 Introducción

Este diseño permite escoger el tipo de geosintético adecuado para ser instalado en conjunto con un espesor de material granular, de manera tal que se logre estabilizar una subrasante, logrando una plataforma de trabajo que permita el inicio de las actividades propias de la construcción de una vía.

El método que se presenta a continuación fue desarrollado por los profesores J. P. Giroud y Jie Han, publicado en la edición de agosto de 2004 de la Sociedad de Ingenieros Civiles de los Estados Unidos (ASCE, por su sigla en inglés). Dicho método se basa en la teoría de capacidad portante a través de verificaciones en campo y pruebas de laboratorio, permitiendo predecir con mayor precisión el desempeño de una vía.

Este método puede ser usado para dimensionar vías no pavimentadas y estabilización de subrasantes con y sin geosintéticos. De acuerdo con Giroud y Han (2004), es posible determinar el espesor de material granular compactado requerido para estabilizar un terreno blando, con y sin la utilización de un refuerzo con geosintéticos, teniendo en cuenta las condiciones de la subrasante.



Figura 5.6 Ahuellamiento en una vía no pavimentada

Lo anterior, orientado a obtener una plataforma de compactación lo suficientemente estable sobre el terreno blando, que permita empezar los trabajos de conformación de estructuras de relleno o capas granulares de pavimento sin sufrir ahuellamiento o deformaciones severas.



5.5.2 Evaluación de cargas

La carga por rueda, P , es la carga aplicada por una de las cargas en un eje simple y la carga aplicada por un set de ruedas en un eje tándem. La relación entre la carga por rueda y la presión de contacto:

$$P = pA \quad (5.1)$$

Donde:

P :	=	Carga por rueda (kN)
A :	=	Area de contacto de la rueda (m^2)
p :	=	Presión de contacto de la rueda (kPa), para fines prácticos se considera igual a la presión de inflado de los neumáticos.

Suponiendo que la presión se aplica en un área circular de radio r , tenemos:

$$A = \pi r^2 \quad (5.2)$$

A partir de las ecuaciones (5.1) y (5.2) tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} \quad (5.3)$$

5.5.3 Relación de módulos material granular y subrasante

La relación de módulos $R_c = E_{MG}/E_{SR}$ para efectos de esta metodología se puede estimar mediante las siguientes correlaciones con el CBR:

$$E_{MG} = 36 CBR_{MG}^{0.3} \text{ AA5HTO (1993)} \quad (5.4)$$

Donde:

E_{MG} : Módulo del material granular (MPa); CBR_{MG} : CBR del material granular.

Para la subrasante se asume una condición no drenada, el valor de c_u se puede obtener ($CBR < 5$) usando la siguiente correlación (Giroud and Noray 1981):

$$c_u = f_c CBR_{SR} \quad (5.5)$$

Donde:

c_u : Cohesión no drenada del suelo de subrasante (kPa); CBR_{SR} : CBR de la subrasante;

f_c : Factor igual a 30kPa.

Heukelom y Klomp (1962) desarrollaron la siguiente correlación lineal entre el CBR de la subrasante y el modulo resiliente (para $CBR < 10$) en suelos finos con base en mediciones en campo:

$$E_{SR} = 10.35 CBR_{SR} \quad (5.6)$$

Donde:

E_{SR} : Módulo de la subrasante (MPa); CBR_{SR} : CBR de la subrasante

De esta manera R_E se expresa como:

$$R_E = \frac{E_{MG}}{E_{SR}} = \frac{3.48 CBR_{MG}^{0.3}}{CBR_{SR}} \quad (5.7)$$

En el caso del refuerzo con geomallas y geotextiles para la relación de módulos, R_E , los autores recomiendan limitarla a un valor de 5.0. Para el caso de sistemas de confinamiento celular tipo Neoweb, es posible incrementar dicho valor por las mejoras en las propiedades del material granular.

5.5.4 Esfuerzos sobre el suelo de subrasante

Se asume que la carga aplicada por una rueda en el caso de ejes simples o un set de llantas en un eje tándem se distribuye de manera uniforme en un área circular de radio r . Así mismo, los esfuerzos se distribuyen de acuerdo con el ángulo de distribución de esfuerzos, α .

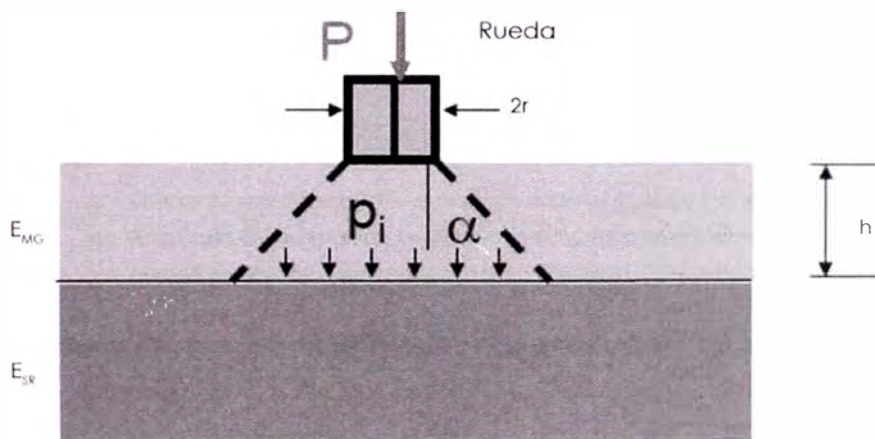


Figura 5.7 Esfuerzos sobre el suelo de subrasante

De esta manera el esfuerzo normal (presión), p_i , en la interfaz material granular/subrasante está dada por la siguiente ecuación:

$$p_i = \frac{P}{\pi (r + h \tan \alpha)^2} \quad (5.8)$$

Despejando h :

$$h = \frac{r}{\tan \alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi r^2 p_i} - 1} \right) \quad (5.9)$$

Para prevenir la falla de la subrasante se debe cumplir que:

$$p_i \leq m N_c c_u \quad (5.10)$$

Donde:

m: coeficiente de movilización de capacidad portante.

Con lo que se obtiene:

$$h \geq r \frac{1}{\tan \alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi r^2 m N c_u}} - 1 \right) \quad (5.11)$$

Empíricamente el método relaciona el ángulo inicial de distribución de carga, α_1 , a través de un espesor de material granular sobre un suelo blando, como se muestra a continuación:

$$\tan \alpha_1 = \tan \alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{E_{MG}}{E_{SR}} - 1 \right) \right] = \tan \alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{MG}^{0.3}}{CBR_{SR}} - 1 \right) \right] \quad (5.12)$$

El ángulo de distribución de carga decrece conforme aumenta el número de repeticiones de carga. Este fenómeno fue medido en laboratorio por medio de pruebas de placa dinámicas Gabr (2001), por lo que $1/\tan \alpha$ es una función lineal de $\log N$:

$$\frac{1}{\tan \alpha} = \frac{1 + k \log N}{\tan \alpha_1} \quad (5.13)$$

Donde:

k: Constante que depende del espesor de material granular y el refuerzo

α : Angulo de distribución de carga cuando el número de repeticiones de carga es N

α_1 : Angulo de distribución de carga cuando el número de repeticiones es uno (1).

Finalmente y basados en ensayos de campo y laboratorio se obtiene que el espesor de material granular, h, es:

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006 \cdot J^2) r \left(\frac{\log N}{h} \right)^{\frac{3}{2}}}{1 + 0.204 \left(\frac{3.48 \cdot CBR_{BG}^{0.3}}{CBR_{SR}} - 1 \right)} \left[\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{N}{N_0} \right)^2} \right] N_c f_c CBR_{SR}} - 1} \right] r \quad (5.14)$$

Donde:

h [m]: Espesor de la capa de material granular requerido. Se recomienda como mínimo un espesor de 0.1m.

J [m-N^{0.5}]: Módulo de rigidez torsional del geosintético.

N: Número de repeticiones de carga.

P [kN]: Carga por rueda kN, 2P es igual a la carga del eje.

r [m]: Radio del área de contacto de la llanta.

CBR_{SR} [%]: CBR de la subrasante.

CBR_{MG} [%]: CBR del material granular.

s [mm]: Ahuellamiento permitido, es un criterio de serviciabilidad que generalmente se encuentra entre 25-100mm. Un criterio de falla de 75mm se ha usado ampliamente para esta aplicación. Para bajos volúmenes de tráfico (AASHTO 1993) considera ahuellamientos permitidos entre 13-75mm.

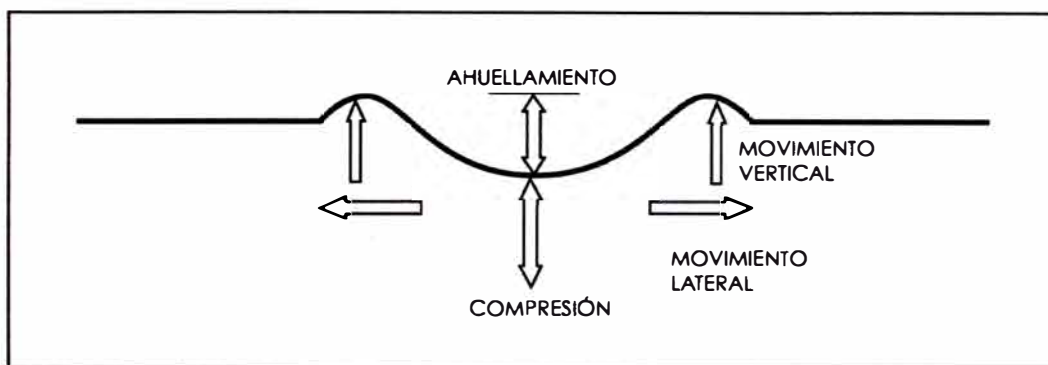


Figura 5.8 Ahuellamiento vía no pavimentada

f_s : Factor igual a 75mm

f_c : Factor igual a 30kPa

N_c : Factor de capacidad portante. $N_c=3.14$ y $J=0$ en el caso sin refuerzo, $N_c=5.14$ para el refuerzo con geotextiles y $N_c=5.71$ en el caso de geomallas biaxiales coextruidas.

5.6 EJEMPLO DE DISEÑO

Para la construcción de una vía en la Sabana de Bogotá y dadas las pobres condiciones de soporte de la subrasante natural, los diseñadores han contemplado la estabilización mecánica del suelo de soporte. El CBR promedio y definido como de diseño es de 1.5%. La estructura se diseñará para soportar un tráfico de diseño de 1.5×10^6 ejes equivalentes de 8.20Ton.

El material disponible para el reemplazo consiste en un material granular tipo subbase granular que, considerando que se apoyará sobre un suelo blando, se estima que el CBR sea $\approx 30\%$ (Valor menor al registrado en laboratorio y que tiene en cuenta las dificultades de compactación sobre un suelo blando).

Para la evaluación del espesor necesario para estabilizar la subrasante y que permita la construcción de las capas de pavimento se debe estimar el número de repeticiones de carga que ésta soportará, asumiendo que circularán alrededor de 660 vehículos de 3 ejes durante la construcción de la vía, se estima un número de repeticiones (N) ≈ 2000 . La presión de inflado de los vehículos es de 80psi (550kPa).

Se realizará la estimación del espesor requerido en las siguientes condiciones:

- Sin refuerzo.
- Con geotextil de refuerzo.
- Con geomalla biaxial de refuerzo.

Datos de entrada:

J: Se asume como 0 en el caso sin refuerzo y con geotextil; 0.65 para geomalla P-BX12 (Ver Apéndice A)

N: 2000

P: 40kN (Eje de 80kN)

r: Radio del área de contacto de la llanta.