

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



APLICACIÓN DE LOS GEOTEXILES EN LA INGENIERÍA VIAL:
CARRETERA ILO-DESAGUADERO TRAMO VI KM 235+000 - 275+000

TESIS

Para optar el Título Profesional de :
INGENIERO CIVIL

DENI CHIPANA HUACLES

Lima - Perú
2000

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

A mis queridos padres

Gregorio & Remigia

Un afectuoso reconocimiento por que a base del aliento constante, abnegada ayuda e inspiración pude llegar a este momento que es la culminación de mi más grande aspiración.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mi Asesor **Ing° Samuel Mora Quiñones** por que bajo su dirección, consejos, sugerencias y su permanente buena disposición para el desarrollo del Programa Amospec y la preparación de mi Tesis, ha sido ayuda clave para la culminación de la misma.

Debo dar las gracias también al **Ing° Germán Vivar Romero** por su contribución profesional en la lectura preliminar, sus comentarios y valiosas sugerencias para la culminación de mi tesis.

Así mismo doy gracias al **Ing° Manuel Madrid Sosa** Asesor en Suelos y Pavimentos de la Empresa Consultora Badallsa por su incondicional colaboración como Asesor de la construcción de la Carretera Ilo-Desaguadero. Quiero agradecer también al **Ing° Carlos Virgilio de Queiroz Lobato** de la Asociación Hidroservice-HOB como Jefe de Proyecto del Tramo VI, quien me proporcionó la bibliografía, ideas y sugerencias sobre el Programa de Mantenimiento del tramo VI de la Carretera Ilo-Desaguadero.

En todo momento, he tenido consigo la ayuda de diversos profesionales, compañeros de trabajo, y en especial de mi amigo **Deni Daniel Ch. V.** que pacientemente me brindaron constante estímulo y apoyo, sin los cuales la presente tesis no hubiera salido a luz.

Mi grato reconocimiento a mi Alma Mater la **Universidad Nacional de Ingeniería** y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y sus abnegados profesores que me involucraron sus valiosas enseñanzas.

Y a todas aquellas personas que de otra manera colaboraron en mi formación.

Deni Chipana Huacles

SUMARIO

La presente tesis se refiere a la utilización de los geotextiles como una alternativa comprobada para una variedad de retos en la Ingeniería Vial en el análisis técnico, económico del diseño y del sistema constructivo de la estructura de una carretera usando geotextiles en lugares bajo condiciones de terrenos difíciles y donde sea necesario su utilización, basándose en los conocimientos de Ingeniería Civil.

La selección del tema de tesis se ha tomado en cuenta, el interés a la solución de los problemas viales por que creemos que nuestro país necesita contar con mayor información sobre las técnicas actuales empleadas en la construcción de carreteras. Este estudio es oportuno, si tenemos en cuenta los problemas que se presentan en las obras viales de nuestro país, por lo que los resultados serán de mucha utilidad en un futuro próximo, como también se generaran interés por desarrollar otros temas de investigación. También se puede perfeccionar la técnica constructiva en nuestro país con el uso de los geotextiles con gran ventaja sobre los métodos tradicionales. Debido a la falta de apoyo de los Organismos del Estado a la Investigación, el presente trabajo realizado será desarrollado usando el método inductivo, la técnica de observación y la entrevista a profesionales con experiencia, perfeccionándolo cada vez más y ampliándolo su campo de utilización, así como de incentivar el inicio de otros estudios.

En el capítulo 1 indica el contenido de la tesis que comprende los conceptos básicos, generalidades y propiedades de los geosintéticos. El capítulo 2 comprende los principios de diseño y beneficios utilizando geotextiles en carreteras en estabilización de terrenos de fundación de suelos blandos y la utilización de los geotextiles en rehabilitación y mantenimiento de pavimentos. El capítulo 3 proporciona el programa Amospec que ejecuta análisis de diseño de Ingeniería Vial utilizando métodos aceptados y aprobados, incluyendo aquellos desarrollados por FHWA y AASHTO. Con el programa se puede generar un diseño completo para caminos pavimentados y caminos sin pavimentar. En el capítulo 4 indica la aplicación de los geotextiles en la carretera Ilo-Desaguadero tramo VI km 235+000-275+000 para ello es necesario realizar los estudios de campo y seleccionar parámetros de entrada para el diseño de pavimentos en el programa Amospec. El capítulo 5 realiza un análisis comparativo sobre la utilización de los geotextiles con sus respectivos resultados y un programa de mantenimiento vial para prolongar la vida útil de la carretera.

OBJETIVO:

El objetivo es proporcionarle al Ingeniero Civil una fuente metodológica de diseños fiables para emplear los geotextiles en una gran variedad de aplicaciones dentro de la rama de Ingeniería Vial. El programa siguiente se presenta como una alternativa para ayudar a los Ingenieros Especialistas a seleccionar los geotextiles para las soluciones rentables en los sistemas viales en el diseño de: (i) Caminos y Aeropuertos Particularmente en Pavimentos Asfálticos y Pavimento de Concreto Hidráulico; (ii) Caminos sin Revestimiento.

INTRODUCCION:

Los Ingenieros Civiles han utilizado los geosintéticos dentro de una amplia variedad de aplicaciones desde su introducción a principios de los años 1970. Los geosintéticos son utilizados ampliamente para reforzar o reemplazar materiales de construcción tradicionales y para mejorar la función estructural mientras se mantienen los costos de construcción bajos. Debido a sus capacidades, los geosintéticos son ahora una herramienta esencial para la solución de problemas difíciles en el desarrollo de la practica de la Ingeniería Vial y/o Aeroportuaria. Ningún producto o grupo de productos de los geosintéticos que se han inventado resolverá la gran cantidad de problemas Geotécnicos enfrentados por los Ingenieros Civiles. No hay ningún sustituyente seguro para el diseño de estructuras en Ingeniería. Por consiguiente, el diseño en Ingeniería Civil no será un proceso completamente automatizado.

Los Ingenieros peruanos quizás, debido a nuestra formación, siempre hemos sido muy conservadores, para adoptar el empleo de nuevos productos, que reemplacen a los tradicionalmente usados, y en especial en el campo de refuerzo de suelos blandos. La información siguiente para el diseño vial empleando geotextiles para su función específica de refuerzo y filtración en la carretera ILO-DESAGUADERO tramo VI km. 235+000 – 275+000 a mas de 4000 msnm. en el departamento de Puno, me ha llevado a plantear este trabajo, con un sustento técnico y con el convencimiento de la bondad del producto en lo que respecta a eficiencia, durabilidad y economía, con relación a las soluciones tradicionales.

INDICE

CAPITULO 1 ANTECEDENTES.....	11
1.0.0.0 GEOTEXTILES.....	12
1.1.0.0 Historia.....	12
1.2.0.0 Fabricación.....	12
1.3.0.0 Usos de los Geosintéticos.....	18
1.4.0.0 Definición de los Geosintéticos.....	21
1.5.0.0 Tipos de Diseño.....	22
1.6.0.0 Propiedades de los Geotextiles.....	23
1.6.1.0 Propiedades Físicas.....	24
1.6.2.0 Propiedades Químicas.....	24
1.6.3.0 Propiedades Mecánicas.....	25
1.6.4.0 Propiedades Hidráulicas.....	25
1.7.0.0 Función de los Geosintéticos.....	29
1.7.1.0 Separación	30
1.7.2.0 Filtración	30
1.7.3.0 Refuerzo	31
1.7.4.0 Transmisión.....	32
1.7.5.0 Cushion/Colchón.....	32
1.7.6.0 Barrera.....	33
1.8.0.0 Flujo en Geotextil.....	33
1.8.1.0 Flujo Normal.....	34
1.8.2.0 Flujo en el Plano.....	34
CAPITULO 2 PRINCIPIOS DE DISEÑO Y BENEFICIOS UTILIZANDO GEOTEXTILES EN CARRETERAS.....	55
2.1.0.0 ESTABILIZACIÓN DE TERRENOS DE FUNDACIÓN.....	56
2.1.1.0 Historia.....	56
2.1.2.0 Introducción.....	57
2.1.3.0 Desempeño Estructural.....	57
2.1.4.0 Principios de Diseño Utilizando Geotextiles en Carreteras.....	60

2.1.5.0	Selección del Geotextil.....	62
2.1.6.0	Colocación del Geotextil.....	64
2.1.7.0	Consideraciones de Costos.....	66
2.2.0.0	UTILIZACIÓN DE LOS GEOTEXILES EN REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS.....	68
2.2.1.0	Sistema.....	68
2.2.2.0	Antecedentes.....	68
2.2.3.0	Funciones del Geotextil.....	69
2.2.3.1	Barrera Impermeabilizadora.....	70
2.2.3.2	Membrana Amortiguadora de Esfuerzos.....	71
2.2.4.0	Efectos del Agrietamiento.....	72
2.3.0.0	MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA INSTALACIÓN.....	74
2.3.1.0	Materiales.....	74
2.3.2.0	Almacenamiento y Manejo.....	74
2.3.3.0	Trafico Temporal.....	75
2.3.4.0	Materiales del Riego de Liga.....	75
2.3.5.0	Camión Distribuidor.....	76
2.3.6.0	Equipo de Instalación.....	77
2.3.7.0	Equipos Misceláneos.....	77
2.4.0.0	INSTALACIÓN DEL REVESTIMIENTO DE MEZCLA EN CALIENTE DE CONCRETO ASFÁLTICO.....	78
2.4.1.0	Aplicaciones.....	78
2.4.2.0	Preparación de la Superficie del Pavimento Asfáltico.....	78
2.4.3.0	Tratamiento de la Grieta.....	79
2.4.4.0	Preparación de la Superficie del Pavimento de Concreto Hidráulico.....	81
2.4.5.0	Pavimentos Nuevos.....	82
2.4.6.0	Cantidad y Temperatura del Riego de Liga.....	83
2.4.7.0	Colocación y Fijación de la Tela de Pavimentación.....	86
2.4.8.0	Juntas y Recubrimientos.....	88
2.4.9.0	Drenajes, Uniones de Expansión	89
2.4.10.0	Colocación del Revestimiento.....	89
2.5.0.0	INSTALACIÓN DEL SISTEMA: CHIP SEAL/TELA DE PAVIMENTACIÓN (sellado de ripios).....	90

2.5.1.0	Aplicación.....	90
2.5.2.0	Preparación de la Superficie.....	90
2.5.3.0	Colocación del Riego de Liga.....	90
2.5.4.0	Lijadura y Laminado.....	92
2.5.5.0	Colocación Chip Seal.....	92
2.6.0.0	CONSIDERACIONES ESPECIALES.....	93
2.6.1.0	Asfalto Emulsificado.....	93
2.6.2.0	Temperatura	94
2.6.3.0	Condiciones de Humedad.....	94
2.6.4.0	Reciclaje de Pavimentos.....	95
 CAPITULO 3 PROGRAMA DE APLICACIÓN.....		111
3.1.0.0	PROGRAMA AMOSPEC.....	112
3.1.1.0	Propósito.....	113
3.1.2.0	Hojas de Cálculo.....	113
3.2.0.0	DISEÑO CAMINO PAVIMENTADO.....	113
3.2.1.0	CONCEPTO DE DISEÑO.....	114
3.2.1.1	Estructura Pavimento de Carretera.....	114
3.2.1.2	Geotextil de Estabilización.....	115
3.2.2.0	DISEÑO APROXIMADO.....	117
3.2.2.1	Bases.....	117
3.2.2.2	Diseño de la Capa Estabilizadora.....	117
3.2.2.3	Diseño del Camino Pavimentado.....	118
3.2.2.4	Diseño Aproximado del Amospec.....	119
3.2.2.5	Diseño Mínimo de Espesores.....	119
3.2.2.6	Asentamiento de la Subrasante.....	120
3.2.3.0	DISEÑO CARGA DE TRÁFICO.....	120
3.2.3.1	Período de Diseño.....	120
3.2.3.2	Diseño de Fiabilidad.....	121
3.2.3.3	Análisis de Tráfico.....	122
3.2.3.4	Serviciabilidad de la Carretera.....	126

3.2.4.0	DISEÑO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO.....	128
3.2.4.1	Numero Estructural Requerido de una Carretera.....	128
3.2.4.2	Diseño Sección Transversal de un Pavimento.....	131
3.2.4.3	Aplicación del Catalogo Peruano para el Diseño Estructural de Pavimento del Ing° Samuel Mora Quiñones.....	134
3.2.5.0	DISEÑO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	136
3.2.5.1	Coefficiente Drenaje.....	137
3.2.5.2	Modulo Efectivo Reacción del Terreno de Fundación.....	138
3.2.5.3	Modulo de Ruptura del Concreto Cemento Portland.....	140
3.2.5.4	Modulo Elástico del Concreto Cemento Portland.....	141
3.2.5.5	Coefficiente de Carga de Transferencia.....	141
3.2.5.6	Aplicación del Catalogo Peruano para el Diseño Estructural de Pavimento del Ing° Samuel Mora Quiñones	143
3.2.6.0	DISEÑO DE GEOTEXILES.....	145
3.2.6.1	Durabilidad del Geotextil.....	145
3.2.6.2	Función.....	146
3.2.6.3	Factor de Degradación.....	147
3.2.6.4	Costo de Comparación.....	148
3.2.7.0	HOJAS DE CÁLCULO DE DISEÑO.....	149
3.2.7.1	Hoja de Cálculo de Evaluación de Tráfico	150
3.2.7.2	Hoja de Cálculo de Diseño del Pavimento Asfáltico	152
3.2.7.3	Hoja de Cálculo de Diseño del Pavimento de Concreto Hidráulico	157
3.2.7.4	Hoja de Cálculo de Durabilidad del Geotextil del Camino Pavimentado	161
3.3.0.0	DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO.....	164
3.3.1.0	CONCEPTO DE DISEÑO.....	164
3.3.1.1	Revestimiento.....	164
3.3.1.2	Geotextil de Revestimiento.....	165
3.3.2.0	DISEÑO APROXIMADO.....	167
3.3.2.1	Diseño de Aproximación de Amospec.....	167
3.3.2.2	Espesor Mínimo de Diseño.....	168
3.3.2.3	Selección del Geotextil de Revestimiento.....	170

3.3.3.0	NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA UNA CARRETERA.....	170
3.3.3.1	Diseño Fiabilidad.....	171
3.3.3.2	Análisis de Trafico del Revestimiento.....	172
3.3.3.3	Serviciabilidad del Revestimiento.....	172
3.3.3.4	Modulo Resiliente del Terreno de Fundación.....	172
3.3.4.0	EVALUACIÓN DE CONDICIÓN DE LA CARRETERA EXISTENTE.....	173
3.3.4.1	Observación Visual.....	173
3.3.4.2	Comprobación Destructiva.....	174
3.3.4.3	Comprobación no Destructiva.....	176
3.3.4.4	Datos Históricos	177
3.3.5.0	CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA EXISTENTE.....	177
3.3.5.1	Carretera Pavimento Asfáltico.....	178
3.3.5.2	Carretera Pavimento de Concreto Hidráulico.....	181
3.3.6.0	DISEÑO DEL ESPESOR DE REVESTIMIENTO.....	183
3.3.6.1	Factor de Vida Restante.....	184
3.3.6.2	Pavimento Existente.....	185
3.3.6.3	Revestimiento.....	186
3.3.6.4	Coficiente Estructural de Revestimiento.....	187
3.3.7.0	HOJAS DE CÁLCULO DE DISEÑO.....	188
3.3.7.1	Hoja de Cálculo de Evaluación de la Condición del Pavimento Asfáltico.....	189
3.3.7.2	Hoja de Cálculo de Diseño del Revestimiento para el Pavimento Asfáltico.....	190
3.3.7.3	Hoja de Cálculo de Diseño del Revestimiento para el Pavimento de Concreto Hidráulico.....	194
3.4.0.0	DISEÑO DEL CAMINO NO PAVIMENTADO.....	197
3.4.1.0	CONCEPTO DE DISEÑO.....	197
3.4.1.1	Espesor del Agregado.....	197
3.4.1.2	Geotextil de Estabilización.....	198
3.4.2.0	DISEÑO APROXIMADO.....	199
3.4.2.1	General.....	199

3.4.2.2	Diseño Aproximado Amospec.....	200
3.4.2.3	Requerimientos de Diseño Mínimo.....	200
3.4.3.0	MÉTODO DE CAPACIDAD RESISTENCIA MODIFICADO CBR	202
3.4.3.1	Hipótesis.....	202
3.4.3.2	Diseño del Espesor del Agregado.....	203
3.4.3.3	Diseño del Geotextil.....	205
3.4.3.4	Recomendaciones de Parámetros de Entrada de Diseño.....	205
3.4.4.0	MÉTODO DE GIROUD NOIRAY	208
3.4.4.1	Hipótesis.....	208
3.4.4.2	Ecuación de Diseño.....	209
3.4.4.3	Diseño Aproximado de Amospec.....	211
3.4.4.4	Consideraciones de Diseño de los Geotextiles.....	212
3.4.4.5	Recomendaciones de los Parámetros de Entrada de Diseño..	212
3.4.5.0	HOJAS DE CÁLCULO DE DISEÑO.....	216
3.4.5.1	Hoja de Cálculo de Durabilidad Geotextil de Camino no Pavimentado.....	217
3.4.5.2	Hoja de Cálculo de Diseño Camino no Pavimentado Método Capacidad de Resistencia Modificada.....	220
3.4.5.3	Hoja de Cálculo de Diseño Camino no Pavimentado Método Giroud Noiray.....	222

**CAPITULO 4 APLICACIÓN DE LOS GEOTEXILES EN LA CARRETERA
ILO-DESAGUADERO TRAMO VI KM 235+000-275+000.....**

4.1.0.0	UBICACIÓN.....	274
4.2.0.0	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	274
4.3.0.0	EVALUACIÓN DEL TRAMO VI KM 235+000 – 275+000.....	275
4.3.1.0	Evaluación de Campo.....	275
4.3.2.0	Características del Terreno de Fundación.....	275
4.3.3.0	Capacidad de Soporte de los Suelos del Terreno de Fundación.....	276
4.3.4.0	Subtramos en Roca.....	277
4.3.5.0	Subtramos Críticos.....	277

4.4.0.0	MATERIALES.....	278
4.4.1.0	Introducción.....	278
4.4.2.0	Mejoramiento del Terreno de Fundación.....	278
4.4.3.0	Cimiento Granular.....	279
4.4.4.0	Firme Granular.....	280
4.4.5.0	Mezcla Asfáltica en Caliente.....	280
4.5.0.0	DISEÑO DEL PAVIMENTO.....	281
4.5.1.0	Introducción.....	281
4.5.2.0	Análisis de Tránsito con Fines de Diseño del Pavimento.....	282
4.5.3.0	Cálculo del Eal.....	283
4.5.4.0	Distribución de Valores de Capacidad de Soporte del Terreno de Fundación por Subtramos con Fines de Diseño del Pavimento	283
4.5.5.0	Cálculo de los Espesores de la Estructura del Pavimento.....	284
4.6.0.0	USO DE LOS GEOTEXILES.....	288
4.6.1.0	Resumen.....	288
4.6.2.0	Geotextil Tipo A.....	289
4.6.3.0	Geotextil Tipo B.....	290
4.7.0.0	IMPRIMACIÓN.....	291
4.8.0.0	RIEGO DE LIGA.....	292
4.9.0.0	TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA.....	292
4.10.0.0	EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD.....	293

**CAPITULO 5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS CON
RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL EN: 300**

5.1.0.0	LOS RESULTADOS DE PLANIFICACION DE LA OBRA RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL.....	301
5.2.0.0	LOS COSTOS RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL.....	309
5.2.1.0	Hoja de Cálculo de Diseño del Camino Pavimentado Asfáltico	310
5.2.2.0	Hoja de Cálculo de Durabilidad del Geotextil Camino Pavimentado..	314
5.2.3.0	Resultados de Diseño del Programa de Cómputo Amospec.....	316
5.3.0.0	LA VIDA UTIL Y RESULTADOS DE COSTO DE MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA.....	326
5.3.1.0	Introducción.....	326

5.3.2.0 Bases del Programa.....	326
5.3.3.0 Contenido del Programa.....	327
5.3.3.1 Mantenimiento Rutinario.....	327
5.3.3.2 Mantenimiento Periódico.....	328
5.3.4.0 Costos del Programa.....	329
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	332
ANEXOS	
A. GUIA PARA ESPECIFICAR TELAS DE PAVIMENTACIÓN TIPO A.....	337
B. ENSAYO A LA TRACCIÓN PARA GEOTEXILES.....	345
C. GUIA PARA DETECTAR FALLAS EN LOS GEOTEXILES.....	349
D. FOTOS.....	353
BIBLIOGRAFIA.....	366

CAPÍTULO 01 ANTECEDENTES

CAPÍTULO 01 ANTECEDENTES

1.0.0.0 GEOTEXTILES

1.1.0.0 HISTORIA.

Los geosintéticos son uno de los últimos productos de la ingeniería de materiales y van tomando siempre más importancia en el desarrollo de las obras de infraestructura hidráulica y saneamiento, lo mismo que en Ingeniería Vial y medio ambiente. Desde 1980 se ha dado un gran avance en el campo de los geosintéticos. Son derivados de hidrocarburos como el polipropileno y el poliéster, en forma de fibras, monofilamento y multifilamentos, bandas y otras. La combinación o arreglo de estas origina varias clases de productos, con funciones diversas, como los geotextiles, geomallas (geoparrillas o geotramados) geomembranas y georedes; al combinar algunos de estos se obtiene los geocompuestos.

Su mayor aplicación se encuentra en la Ingeniería Geotécnica, la Construcción y la Ingeniería Ambiental. Son de la mayor utilidad para el mejoramiento de suelos y para el control de la contaminación en la deposición de desechos sólidos y líquidos. Sirven para separar, reforzar, filtrar, drenar, aislar o impermeabilizar. Su instalación es fácil, permiten reemplazar materiales naturales, y en general presentan buena durabilidad y uniformidad.

1.2.0.0 FABRICACIÓN.

Hace unos años se contaba solo con los geotextiles. Estos son básicamente textiles formados con fibras sintéticas tales como polipropileno, poliéster, nylon, polietileno y poliamidas. Algunos geotextiles especiales están conformados por fibras de vidrio, cables y alambres de acero en conjunto con materiales sintéticos. En general las fibras sintéticas, que pueden ser de diferentes tipos, flexibles y porosas con máquinas de tejido de una manera estándar o de manera aleatoria.

En el proceso de manufactura se destacan tres aspectos: tipo de polímero empleado, tipo de fibra (monofilamento, multifilamento, filigrana, fibrillas, etc.) y estilo de fábrica. Dentro del objetivo trazado en el presente trabajo nos limitaremos a sus aplicaciones a la Ingeniería Vial, pero es conveniente que se conozca los elementos de fabricación que sigue la industria de los geotextiles en el cuadro 1-1, figura 1-1.

Los geotextiles convencionales se clasifican en tejidos, no tejidos y enmallados.

- **Geotextil Tejido:** Los geotextiles tejidos son confeccionados en máquinas tejedoras convencionales de la industria textil con una amplia variedad de tejidos, teniendo influencia directa sobre sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas. Se compone de dos grupos de fibras, denominadas comúnmente urdimbre y trama, intercaladas de manera sistemática para formar una estructura planar. El patrón de tejido está determinado por la manera en que se intercalan estos dos grupos de fibras. Se pueden obtener diferentes variedades de geotextiles tejidos, combinando tres formas básicas de tejido: plano, cruzado o raso. Figura 1-2(a).
- **Geotextil No Tejido:** En los geotextiles no tejidos la orientación de las fibras es aleatoria. Se confeccionan con filamentos continuos y/o fibras elementales unidas por diferentes métodos como son: punzonado por agujas, unión por calor, unión con resinas o combinación de técnicas. Este tipo de geotextil se usa ampliamente como material de filtro, para separar o como refuerzo ligero. Sus propiedades están controladas principalmente por la relación geométrica de las fibras y por el método empleado para su unión. Figura 1-2(b).
- **Geotextil Enmallado:** Se forman por entrecruzamiento de una serie de lazos, de una o más filas, para formar una estructura planar. Se fabrican con fibras de monofilamento, multifilamento, hilos trenzados o membranas rasgadas.

Hay también otros tipos de geotextiles diseñados y fabricados para cumplir funciones específicas. Las geomembranas representan el segundo grupo en tamaño dentro de los geosintéticos. Debido a su muy baja permeabilidad ($10E-10$ a $10E-13$ cm/s), su función primaria es actuar como barrera de líquidos o vapores y proteger al suelo de sustancias contaminantes.

La mayoría de las geomembranas son láminas delgadas y flexibles de materiales poliméricos termoplásticos o termoestables. En algunos casos pueden reforzarse con mallas tejidas. Sus espesores varían entre 0.5 mm y 2.5 mm.

Desde 1980 se han introducido tres grandes categorías de geosintéticos, las geomallas (que alguien nombra geoparrillas), las georedes y los geocompuestos, que han contribuido a la especialización funcional de los productos.

Con respecto a los geotextiles, las geomallas son productos plásticos de menor flexibilidad, presentan como su nombre lo indica una apariencia de malla o rejilla con espacios abiertos de gran tamaño, siendo su función principal el refuerzo.

Existen diferentes tipos de geomallas orientadas uniaxial o biaxialmente. En general se fabrican a partir de láminas o de hilos extruidos de polietileno, polipropileno o de fibras gruesas usualmente de poliéster de alta tenacidad, tejidas o unidas entre sí mediante diferentes procesos como por ejemplo ultrasonido.

La fabricación se puede realizar perforando sobre una lámina o geomembrana pequeños orificios siguiendo un patrón uniforme o estruyendo hilos en forma de malla. La malla obtenida es luego esforzada en una o dos direcciones. En los productos deformados uniaxialmente, la malla usualmente de polietileno, es esforzada en una dirección de diferentes maneras.

Por ejemplo, la malla es colocada sobre una serie de rodillos cada uno girando a una velocidad mayor que la del precedente, de tal manera que se inducen sobre estos esfuerzos longitudinales que causan la deformación del orificio y su elongación en la dirección del movimiento. La estructura molecular del polímero es altamente elongada en un estado preferencial donde la resistencia, el módulo, y la resistencia a la fluencia se han incrementado sustancialmente con respecto al material original no deformado.

Debido a su alto módulo de tensión las geomallas están reemplazando a los geotextiles en todas las aplicaciones con función de refuerzo. La razón es evidente si pone atención a la formulación teórica del concepto de suelo reforzado.

El concepto básico de suelo reforzado puede apreciarse en la figura 1-3. Este material resulta de la asociación de dos componentes que tienen diferentes módulos de elasticidad. Un esfuerzo aplicado a la masa producirá deformaciones en el suelo que transmitirá esfuerzos en forma de tensiones a los elementos de refuerzo embebidos en él. Los desplazamientos tenderán a ser restringidos en la dirección de los esfuerzos, haciendo que la masa se comporte como un material cohesivo anisotrópico. Por consiguiente, para describir su comportamiento bajo cargas se requiere aplicar un concepto de interacción friccional suelo-refuerzo.

El material reforzado tendrá capacidad de asumir esfuerzos como el representado por el círculo de Mohr grande de la figura 1-3. Los esfuerzos de relleno sin esfuerzo, pueden ser como los representados por círculo pequeños a trazos. En falla, a lo sumo el estado de esfuerzos corresponderá a un círculo tangente a la envolvente mostrada. Una envolvente de falla correspondiente al círculo grande (material reforzado), exhibirá un desplazamiento hacia arriba respecto a la envolvente del material sin refuerzo. No obstante que se requieren ensayos especiales de laboratorio sobre el material compuesto, para caracterizar el verdadero ángulo de resistencia al corte de esta envolvente, cualitativamente este desplazamiento es similar al impartido por una componente cohesiva en el suelo.

La figura 1-4. Permite visualizar otros aspectos de interés. Se considera un relleno de extensión horizontal infinita de un suelo friccionante sin cohesión, caracterizado por envolventes de falla, con un ángulo C de resistencia al corte. La condición de esfuerzos, identificada por círculo grande de la figura 1-4(a), significa que en un estado activo de equilibrio límite (tangencial a la envolvente), a un esfuerzo vertical (principal mayor) p_1 , corresponde un esfuerzo lateral $p_3 = Kp_1$.

Un elemento convencional de contención lateral de tierras, con un esfuerzo lateral p_3 , reproduce la condición indicada de esfuerzos, y puede obviar la necesidad de continuidad lateral del relleno. Por otro lado, un sistema de elementos embebidos de refuerzo, a través de un mecanismo de interacción friccional suelo-refuerzo, mencionado arriba, puede cumplir función similar a la de un mecanismo de interacción friccional suelo-refuerzo, mencionado arriba, puede cumplir función similar a la del elemento convencional de contención. El círculo pequeño, tangente a la envolvente de falla, de la misma figura, representa similar condición de esfuerzos para un p_1 cualquiera.

Si el esfuerzo es relativamente inextensible, como bandas metálica de acero, usadas en “tierra reforzada”, la deformación lateral del suelo ϵ_3 , es muy pequeña, y el confinamiento lateral corresponderá a un esfuerzo del orden de $K_0 p_1$, como en la figura 1-4(b). Este círculo está alejado de una condición límite. Si existe cierta extensibilidad del refuerzo, los esfuerzos pueden llegar a la situación indicada en el párrafo anterior. Las anteriores ilustraciones del concepto básico, ofrecen apenas una imagen general cualitativa del modelo de comportamiento real, complejo, de un sistema reforzado. En efecto, en un estado activo de Rankine, para un relleno granular sin cohesión con superficie horizontal, los esfuerzos verticales y horizontales, bajo condiciones ideales, pueden ser esfuerzos principales, lo cual implica que los esfuerzos de corte sobre planos verticales y horizontales, son nulos. Esta condición puede existir cuando hay un elemento de contención, que por desplazamiento relativo elemento relleno, no genere esfuerzos verticales de corte, o no existan interferencias para que se forme una zona en equilibrio local Rankine.

Es poco probable que ocurra esta condición ideal en un relleno reforzado, por cuanto el mecanismo de transmisión de esfuerzos entre el relleno y el refuerzo, para que el refuerzo “TRABAJE” en forma efectiva, implica la generación de esfuerzos de corte en la interfase, asociados a las necesarias deformaciones. Es decir, para que la tracción sea inducida en los refuerzos, se requiere que ellos están ligados al suelo, y esto sólo puede suceder si se desarrollan esfuerzos horizontales de corte en los refuerzos y por consiguiente dentro del suelo.

Se puede así apreciar que la masa del suelo reforzado queda sometido a un sistema de esfuerzos de corte y deformaciones horizontales. La deformación horizontal restringida por el esfuerzo implica un estado modificado de esfuerzos respecto a la condición no reforzada. Por ejemplo, no es posible una condición de reposo con esfuerzos horizontales de corte nulos. Realmente, si dichos esfuerzos de corte son suficientemente grandes se puede llegar a una condición de falla.

Por otro lado, por motivo de los mencionados esfuerzos de corte, el estado de esfuerzos no corresponde a una zona plástica ideal de Rankine, asociada a una red de superficies planas potenciales de falla. El comportamiento del sistema resulta complejo en razón de que el elemento relleno-esfuerzo, en sentido estricto, constituye “OTRO MATERIAL” desde el punto de vista de la Geomécanica, por lo tanto su caracterización no consiste simplemente en acoplar los comportamientos separados de relleno y del refuerzo.

Lo anterior ha conducido a la búsqueda de mejores modelos de comportamiento mecánico del sistema reforzado, y ha motivado un extenso esfuerzo de investigación, que continua en la actualidad, con el auxilio de las teorías elásticas, plásticas, y elasto-plásticas de la Geomécánica, como también, con la elaboración y análisis de modelo instrumentados de laboratorio, y la medición in-situ de esfuerzos y deformaciones en estructuras reales. La elaboración de modelos numéricos de elementos finitos ha ayudado notablemente a estudiar, interpretar la validez de modelos físicos y métodos de diseño.

El concepto básico ilustrado arriba, aplicado al diseño, significa que los elementos de refuerzo embebidos en el relleno, complementados con revestimientos ligeros de la cara, deben “REEMPLAZAR” un elemento alternativo convencional de contención, para garantizar un estado de esfuerzos compatible con un desplazamiento no excesivo del sistema y que no involucre el riesgo de fallas por inestabilidad.

Diversamente del geotextil la geomalla puede desarrollar una acción de zuncho; si además se consideran las problemáticas relacionadas a las deformaciones de largo plazo bajo carga (creep), la superioridad de la geomallas sobre los geotextiles, en el caso de uso como refuerzo, queda indiscutible.

En las figuras 1-5, 1-6 son ejemplificadas algunas aplicaciones de geomallas con refuerzo. Otra importante aplicación en la cual los geotextiles van a ceder el paso a los geosintéticos de la nueva generación es el drenaje. En este caso se habla de georedes. Estas también son estructuras bidimensionales, de espesor limitado, pero bastante resistentes a las cargas normales al plano en el cual los líquidos pueden correr; son estructuras de malla romboidal, compuestas de series superpuestas y cruzadas de hilos paralelos que forman canales con una elevada capacidad de drenaje. Las georedes están normalmente fabricadas por extrusión de Polietileno de Elevada Densidad (HDPE), de color negro; entonces son resistentes a los agentes químicos y biológicos normalmente presentes en el terreno, además están tratadas con aditivos especiales que les permiten resistir a la acción degradante de los rayos U.V. La propiedad principal es la transmisividad hidráulica (caudal por unidad de anchura del geosintético y por unidad de gradiente hidráulico). Puede medirse montando el geosintético en un aparato de laboratorio derivado del originariamente utilizado por Darcy para el estudio de los modos de filtración del agua en el terreno.

La ventaja más grande de este aparato es que el geosintético está en contacto con los mismos materiales y bajo las mismas cargas que se esperan en la obra. El esquema simplificado del sistema para la medida de la capacidad drenante está ilustrado en las figuras 1-7,1-8. El aparato consiente de aplicar diversos valores del gradiente hidráulico y de la presión aplicada, para poder simular las diferentes situaciones de trabajo que puedan existir, especialmente en las escombreras controladas (diversas inclinaciones de las paredes, diversos espesores de desechos, etc.). Los resultados de las pruebas llevadas a cabo en los geosintéticos, pueden representarse bajo la forma de diagramas, las cuales muestran la variación del caudal específico en función de la presión aplicada, mediante una serie de curvas para cada valor del gradiente hidráulico. Los valores que se obtienen para los georedes resultan altos en comparación con los de los suelos y en general con los de los geotextiles porque estos, especialmente por su estructura, no pueden mantener el espesor cuando cargados perpendicularmente al plano.

Las georedes son utilizadas en la realización de depósitos impermeables de residuos sólidos y líquidos (escombreras controladas) y en los otros proyectos de Ingeniería Civil en los cuales se requiere el drenaje de amplias superficies. Gracias a su capacidad drenante y a la notable resistencia a la compresión, las georedes se están utilizando en cantidades crecientes para reemplazar los materiales convencionales de drenaje, arena y grava. El costo final de la obra puede resultar más económico, con la ventaja adicional de la facilidad de construcción y la uniformidad de sus propiedades.

1.3.0.0 USOS DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos entonces están especializando en las siguientes condiciones, pero siguen apareciendo nuevos usos de sus funciones.

Muy esquemáticamente podríamos distinguirlos así:

Geotextiles	Separación, filtración
Geomembranas	Impermeabilización
Georedes	Drenaje
Geomallas	Refuerzo
Geocompuestos	Transmisión, Filtración

Los geocompuestos son combinaciones que consienten la reunificación en un único producto de las diferentes funciones. Por ejemplo capas de productos diferentes para lograr la doble función de drenaje y filtro.

Las distintas aplicaciones en obras hidráulicas, deducibles de la literatura científica, pueden así resumirse: en las figuras 1-11, hasta 1-16 son ejemplificadas algunas aplicaciones de geocompuestos para las cuales las georedes y los otros geosintéticos pueden también usarse separadamente.

El uso de los geosintéticos es considerado hoy en día práctica standard en las siguientes aplicaciones:

- Filtros en drenes franceses y en trincheras drenantes.
- Impermeabilización y acolchonamiento en capas de refuerzos asfálticos.
- Separadores y refuerzos en carreteras temporales.
- Separadores Filtros, medios de transmisión, filtros, colchones y refuerzo en sistemas de revestimiento de rellenos (incluso exigidos por regulaciones oficiales en muchos casos) figuras 1-9,1-10.

No todos los diseñadores han llegado a familiarizarse lo suficiente con los métodos de diseño con geosintéticos, y como consecuencia ha ocurrido algunas fallas. Entre las causas de estas se ha encontrado el diseño inadecuado que lleva a la escogencia equivocada del geosintético o a su exposición en condiciones desfavorables.

Puede ser instructivo mencionar aquí algunos de los errores de los diseños más comunes:

1. En diseño de libros, omitir la determinación (o hacerla en forma incorrecta) de las propiedades de filtración requeridas (retención, permeabilidad y porosidad) de los geotextiles usados.
2. En el diseño de refuerzos, uso impropio de los resultados de ensayos de tensión. Debe tenerse en cuenta que para diseñar funciones de refuerzo solo son aplicables los resultados de ensayos de tensión sobre fajas anchas.

3. En el diseño de refuerzo, el uso de las propiedades de carga de rotura de tensión; las estructuras de refuerzo deben diseñarse basadas en cargas de trabajo, o sea con la resistencia a la deformación del trabajo.
4. En el diseño de aplicaciones de transmisividad, el uso de propiedades índice de transmisión; la transmisividad requerida debe diseñarse con valores basados en las condiciones esperadas, es decir, con cargas de diseño y en contactos con los filtros propuestos.
5. En el diseño de revestimientos con geomembranas, la suposición del valor de la deformación en la falla para el material virgen. Con materiales de polietileno, las deformaciones reales de campo son por lo general menor del 10% en lugar de hasta el 700% que puede presentar el material virgen.

A pesar de tales errores de diseño, las aplicaciones exitosas de los geosintéticos son cada vez mayores en número y el futuro aparece sumamente brillante.

En conclusión, la aparición de los geosintéticos ha empujado la búsqueda de nuevas técnicas de cálculo y el desarrollo de nuevas investigaciones. Los geosintéticos no son un campo especial aislado de la Ingeniería Geotécnica, sino que son simplemente materiales como la arena, la arcilla u otros.

En Ingeniería Civil no es sorprendente que materiales nuevos o mejorados pase por un período de uso empírico y valorización antes que investigaciones y análisis sistemáticos que puedan suministrar la información que se necesita como guía formal y racional para su uso.

Tal es el caso de los geosintéticos, los cuales durante los últimos años han tenido un tremendo impacto sobre varios aspectos, entre estos el mejoramiento del suelo, aportando soluciones técnicas y económicamente atractivas en campo de las obras civiles.

Aunque los geosintéticos, y dentro de estos los geotextiles, han tenido aplicaciones en Ingeniería Civil desde mucho tiempo atrás, es tan solo desde los años 70 que se ha venido realizando un trabajo intenso con el objeto de cuantificar y cualificar los beneficios obtenidos con su uso. De igual manera, se han incrementado los esfuerzos orientados a la elaboración de especificaciones que suministren al ingeniero un criterio adecuado para escoger, dentro de la gran variedad hoy en día disponible en el mercado.

El uso apropiado de los geosintéticos como cualquier material de Ingeniería Civil, requiere ante todo del entendimiento de su comportamiento ante diferentes solicitaciones, mediante el conocimiento y evaluación de sus características físicas, propiedades mecánicas e hidráulicas así como de durabilidad y degradabilidad, según sea la función que se espera en su desempeño.

La gran ventaja de uso apropiado de los geosintéticos, no solo en las obras hidráulicas, pero también en todas las obras civiles de infraestructura, está es la reducción de los costos finales, en el ahorro de materiales naturales con consiguiente reducción del impacto ambiental, y en la reducción de riesgos de fallas por errores ejecutivos.

1.4.0.0 DEFINICIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

Geosintéticos: son polímeros, productos planares que son usados con el suelo, roca u otro materiales relacionados con la Ingeniería Geotécnica como una parte integral de un proyecto, estructura o sistema echo por el hombre. Algunas definiciones de los tipos de geosintéticos se muestran a continuación.

Geotextil: cualquier material textil permeable usados con un suelo, roca o cualquier otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, para mejorar su rendimiento, como parte integral de una estructura o sistema artificial.

Geogrid: compuesto de materiales polímeros grid-like deformado o no-deformado integrado por la intersección de cordoncillos unidos y empalmados y usados para el refuerzo con suelos, roca o cualquier otro material relacionado con la Ingeniería Geotécnica para mejorar su rendimiento, como parte integral de una estructura o sistema artificial.

Geomembrana: membrana sintética de muy baja permeabilidad revestido o usado como barrera con cualquier material relacionado con la Ingeniería Geotécnica para controlar migración fluida en un proyecto estructura o sistema artificial.

Geocompuestos: un producto fabricado de cualquier combinación de geosintéticos.

1.5.0.0 TIPOS DE DISEÑO

Cada día crece su aplicación y también la diversidad de tipos y fabricantes, se sugiere los siguientes tipos de diseño, y también se sugiere que se debe elegir el tipo de diseño antes, que el proceso de diseño se inicie.

- a. **Diseño por Costo.-** Proceso muy difundido, pero casi con ningún sustento técnico ya que consiste en dividir el monto disponible entre el área a cubrir y calcular un precio unitario del geotextil, para luego seleccionar un producto cuyo precio este debajo del valor máximo calculado, muy usado en la década del 70 en U.S.A.
- b. **Diseño por Especificación.-** Es el más difundido y exigido por instituciones gubernamentales. En este método se forma una lista de diferentes posibilidades de uso juntos con las propiedades críticas del geotextil (usualmente son los valores mínimos). Los geotextiles disponibles son chequeados por sus propiedades contra los valores recomendados en las especificaciones. Si varios geotextiles cumplen, la selección se hará en función de la disponibilidad y el mínimo costo. Se debe tener cuidado cuando se use el método, ya que las especificaciones proporcionan el valor mínimo, mientras los fabricantes mediante sus publicaciones proporcionan el promedio de un lote o de un rollo, según Koerner, señala que se están mezclando “papas con camotes”, ya que son valores diferentes de comparación.

Cuando el fabricante proporciona el promedio de un lote, su valor para que sea confiable estadísticamente hablando, se recomienda que disminuya en 30%, y cuando se trata de un lote, se recomienda que sea 15% la reducción, y recién proceder a comparar. Aunque recientemente los fabricantes están dando los valores mínimos y no promedios.

- c. **Diseño por Función.-** Consiste en fijar la función primaria a la que el geotextil ha sido solicitado, y luego calcular, los valores numéricos requeridos de esa propiedad en particular; Luego dividir este valor con el valor de la propiedad del geotextil y de este modo obtener el factor de seguridad y si este es aceptable entonces el geotextil también es aceptable, se debe repetir con diferentes geotextiles y luego la elección resulta de aquel cuya disponibilidad y menor costo lo amerite.

Los pasos a seguir son:

1. Precise la aplicación en particular, considerando no solo al geotextil, sino también al material a ambos lados del sistema.
2. Dependiendo de la situación crítica (pregúntese: ¿Qué pasará si falla la estructura?), decídase por un factor de seguridad.
3. Decida la función básica del geotextil.
4. Calcule numéricamente el valor de la propiedad del geotextil requerido en base a su función primaria.
5. Obtenga el valor mínimo del geotextil elegido (ojo: no olvidar el promedio de lote y de rollo y sus disminuciones).
6. Calcule el actual factor de seguridad sobre la base de la mínima propiedad (paso 5) dividiendo entre la propiedad requerida (paso 4) para el actual factor de seguridad (FSA).
7. Compare este FSA al FSR (Factor de Seguridad Requerido) en el paso 2.
8. Si no es aceptable, vuelva a realizar los pasos anteriores con otros geotextiles.
9. Si es aceptable, compruebe si cualquier otra función del geotextil es mas crítica.
10. Si existen varios geotextiles que satisfacen el FSR, seleccione en base al precio.

Este método es el más técnico pero necesita una buena selección de la función primaria.

1.6.0.0 PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES

Como estamos orientando el libro a métodos de diseño, es básico obtener un valor de la propiedad requerido (resistencia del geotextil o su módulo, etc.). Este valor numérico debe ser entonces comparado con el actual valor que el geotextil seleccionado posee, por lo que es necesario, tener las propiedades de todos los geotextiles comercialmente disponibles a la mano. En otras palabras es necesario que el “dato base” del cual uno puede seleccionar un geotextil, juntos con sus propiedades relevantes para comparación a los valores requeridos.

Como se indico anteriormente, el factor de seguridad (F.S.) resulta de:

$$F.S. = \frac{\text{Propiedad del Potencial del Geotextil a elegir}}{\text{Propiedad Necesaria}}$$

En esta sección se dará énfasis al término “dato base” de cada geotextil.

1.6.1.0 Propiedades Físicas:

a. Gravedad Específica.- Por lo general es de acuerdo al polímero en uso.

Polipropileno	0.91
Poliéster	1.22 a 1.38
Nylon	1.05 a 1.14
Polietileno	0.92 a 0.95

Notar que algunos valores son menores que 1; Lo cual influye cuando trabajen en agua, ya que pueden flotar.

b. Peso (Masa por unidad de área)- Es una forma usual de indicar el peso de un geotextil, se le conoce más por peso base y se expresa en g/m^2 ó en onzas/yarda²
(1 onza/yarda² = 33.90 g/m^2)

c. Espesor.- está medido como la distribución de la parte superior a la inferior del geotextil, medido a una presión prefijada; se expresa en mm. o pulg.
(1 pulg = 25.4 mm)

1.6.2.0 Propiedades Químicas

Los geotextiles tejidos y no tejidos son fabricados de polipropileno, poliéster con aditivos estabilizadores de rayos ultravioleta. La resistencia química excelente de los geotextiles de polipropileno estabilizado es uno de las cualidades que han establecido los fabricantes como producto principal para el uso en la industria de desechos contaminantes. La resistencia química de polipropileno con un enfoque en recientes programas de comprobación ha demostrado la durabilidad de las telas claramente en una variedad de ambientes químicos.

En el cuadro 1-2 se muestra la resistencia del geotextil a los agentes químicos, tales como los ácidos, bases, oxidantes y reductores. Con relación a las soluciones salinas y solventes orgánicos comunes tales como el benceno, tricloroetileno, percloroetileno, tetraclorato de carbono, gasolina, alcoholes, cetonas, aldeidos, éteres, esterés, etc. el poliéster resiste perfectamente no siendo alterado sus características de resistencia.

1.6.3.0 Propiedades Mecánicas

- a. Compresibilidad de un Geotextil.- se define como la variación del espesor debido a una presión normal. Es importante tenerlo en cuenta cuando son usados para conducir agua a través de sus planos o secciones, y es el caso de los geotextiles no tejidos.
- b. Resistencia Tensional.- es una de las más importantes funciones, y se calcula estimando la muestra hasta que la elongación de ella cause su rotura.
- c. Resistencia a la Fatiga.- es la habilidad del geotextil de soportar una carga antes de sufrir una falla.
- d. Resistencia a la Deformación
- e. Ensayo a la Rasgadura
- f. Ensayo al Impacto
- g. Ensayo a la Punzadura
- h. Ensayo a la Fricción del Suelo (No Tejido)
- i. Ensayo al Anclaje.

1.6.4.0 Propiedades Hidráulicas:

- a. Porosidad.- Se define como la razón del volumen de vacíos al volumen total, está relacionado con la habilidad de fluir el agua a través del tejido.

$$n = 1 - \frac{m}{\rho T}$$

Donde:

n = Porosidad

m = Masa por unidad de área

ρ = Densidad del tejido total

T = Espesor del tejido

- b. Porcentaje del Área Abierta (POA).- Es aplicable a los tejidos y es una comparación del total de área abierta al total del área de la muestra.

- c. **Tamaño de la Abertura Aparente (AOS) o Tamaño Equivalente de Abertura (EOS).**- Se define como el número de malla que tiene la abertura más cercana a las aberturas del tejido. A veces se proporciona el tamaño de abertura de la malla en milímetros, es cuando está dado en esta forma como el 95% del tamaño de abertura o O_{95} . Entonces AOS y la EOS se dan el número de malla y O_{95} es la abertura en milímetros.
- d. **Permitividad (Permeabilidad de un plano transversal).**- Muy útil en casos de filtración, o sea cuando el agua fluye a través del tejido hacia el material granular, una tubería o cualquier sistema de drenaje.

Su valor es:

$$\Psi = \frac{k_n}{T} \quad (\text{seg}^{-1})$$

Donde:

Ψ = Permitividad

k_n = Coeficiente de permeabilidad (Conductividad Hidráulica) normal al tejido

T = Espesor del tejido.

Rangos:

$$\Psi = 0.02 - 2.2 \text{ seg}^{-1}$$

$$k_n = 0.0008 \text{ a } 0.23 \text{ cm/s.}$$

- e. **Transmisividad (θ).**- Flujo del agua dentro del plano del tejido.

$$\theta = k_p \cdot T$$

Donde:

k_p = Coeficiente de permeabilidad (Conductividad Hidráulica) en plano del tejido.

T = Espesor del tejido.

f. Ensayos de Retención de Suelos.- Se usa cuando el tejido actúa como una cortina anti-limos, arrastrados por el flujo. El objetivo de un geotextil diseñado para filtración es dejar pasar el máximo de agua, por los espacios vacíos que conforman su estructura, lógicamente al planificar esto, se piensa en diseñar los máximos espacios vacíos para permitir el máximo flujo, pero existe un límite, que resultan cuando las partículas finas del suelo comienzan a ser arrastradas por el flujo y pasan por los intersticios del tejido, esto conduce a una situación denominada tubificación del suelo, o sea cuando las partículas más finas de un suelo son arrastradas a través del tejido, dejando grandes vacíos detrás, cuando incrementa el flujo, la velocidad aumenta, acelerando el proceso del suelo, mediante un proceso tipo sumidero, que aumenta con el tiempo. Para reducir este proceso de tubificación del suelo, es necesario los espacios vacíos del geotextil, lo suficientemente, de modo que el suelo sea retenido en el tejido.

Usaremos los mismos criterios que se utilizan para filtros granulares, el cual se apoya en el tamaño de la partícula de suelo, en especial de los más finos y se compara con el AOS ó EOS del tejido. El más simple de los métodos analiza el porcentaje del suelo retenido al pasar la malla 200 (0.074mm), se recomienda adoptar el siguiente método del TASK FORCE 25.

i). MÉTODO DEL TASK FORCE 25

- a. Si la cantidad de suelo < 50% pasa la malla N° 200,
Entonces AOS del tejido malla N° 30 (0.59mm).
- b. Si la cantidad de suelo > 50% pasa la malla N° 200,
Entonces AOS del tejido malla N° 50 (0.291mm).

ii). MÉTODO DE CARROLL

Utiliza el AOS en mm (O_{95}) y señala que:

$$O_{95} < (2 \text{ o } 3)d_{85}$$

Donde d_{85} es el tamaño de la partícula en el 85% de la muestra más fina.

iii) MÉTODO DE GIRUOD

Este método presenta la tabla 1-1 para valores recomendados de O_{95} (tamaño de la abertura en mm correspondiente al valor de AOS), en términos de la densidad relativa (D_R), coeficiente de uniformidad (C.U.) y tamaño de la partícula promedio (d_{85}).

El orden de exigencia restrictiva es en el mismo orden descrito, es decir TASK FORCE 25, Carroll y Giroud.

g. Ensayos de Transmisión de Vapor.- Aplicado a geotextiles impregnados.

h. Propiedad de Duración.- es importante determinar el comportamiento del geotextil a través del tiempo.

- Ensayo de Creep.- Creep es el nombre de la elongación de un tejido bajo una carga constante.
- Ensayo de Abrasión.- Es el proceso de desgaste que sufre un geotextil, cuando está trabajando.
- Test para flujo de larga duración (Obstrucción).
- Test para determinar la razón de gradiente.

i. Propiedades Ambientales.- Determina la importancia en el sentido investigador de reconocer problemas potenciales y limitaciones por el uso de polímeros.

- Resistencia a los químicos.
- Resistencia a la temperatura
- Resistencia a la luz y el clima
- Resistencia a las bacterias

1.7.0.0 FUNCION DE LOS GEOSINTÉTICOS

Una de las funciones de los geosintéticos se refiere al papel específico que cumple un geosintético en una estructura de suelo/geosintético. La función es una tarea especificada o la capacidad esperada que el producto realice dentro de la instalación o en el proyecto en general.

Por Ejemplo, una aplicación es el control de la erosión u otro material riprap (revestimiento de talud) que puede ser colocado sobre un tejido a lo largo de un río que sirve de banco de apoyo como se muestra en la figura 1-17. El rol del sistema total es prevenir la erosión de los materiales del suelo a lo largo del cauce. El geotextil realiza la función específica de filtración, permitiendo pasar agua en el suelo a través del tejido mientras sean retenidas las partículas de suelo.

Los geosintéticos puede realizar más de una función en un determinado tiempo de aplicación. Típicamente, es determinada una sola función por ser más importante y es considerada la función primaria del geosintético, cualquier otra función simultaneo es considerado función secundaria. Un ejemplo puede ser un geotextil que ha sido reforzado con un muro de contención donde el tejido es enrollado alrededor del suelo para formar la cara del muro (wall face) como se muestra en la figura 1-18.

La función primaria del geotextil es el refuerzo de la masa del suelo que es retenida por el tejido. Al mismo tiempo, el tejido en la pared puede estar actuando como un filtro para permitir el drenaje de flujo de agua dentro del sistema del muro. En este caso, la filtración puede ser considerada como una función secundaria.

Los diferentes escritores e investigadores han desarrollado varias clasificaciones para las funciones de los geosintéticos, que son como cuatro a varios más. Diversos investigadores recientes han usado un sistema que contiene seis diferentes funciones de los geosintéticos: separación, filtración, refuerzo, transmisión, amortiguación y de barrera. No todas las funciones son proporcionadas para cada tipo de geosintético. Se muestran los diferentes geosintéticos y las posibles funciones que ellos efectúan en tabla 1-2.

1.7.1.0 Separación

La función de separación se refiere a la división de suelos disimiles o diferentes. La primera responsabilidad del geosintético es prevenir la mezcla de dos suelos a través de la vida útil de diseño de la estructura. Los geotextiles comúnmente usados para esta función es cuando se diseñan secciones de pavimento debajo de la carretera.

Los pavimentos de carretera son básicamente estructuras que toman presiones altas de contacto de los neumáticos del vehículo y que reducen la presión a través de la profundidad del pavimento a un nivel que puede ser manejado por el suelo subyacente.

La disipación de la presión ocurre debajo del pavimento a través de varias capas de materiales dentro del pavimento como se muestra en la figura 1-19. Con el tiempo, las aplicaciones de carga del vehículo causan que los finos del terreno de fundación emigren hacia la capa granular de la sección del pavimento. Contaminando de esta manera la capa granular por el terreno de fundación y que resulta la reducción del espesor efectivo de la capa con respecto al diseño original. Este concepto es ilustrado en la figura 1-20.

La reducción del espesor de la capa granular da como resultado una disminución en la capacidad de conducción de carga y una reducción en la vida útil del pavimento. Como se muestra en figura 1-21, los geotextiles previenen la migración de materiales finos del suelo de fundación hacia la capa granular, así de esta manera la vida útil del pavimento se incrementa.

1.7.2.0 Filtración

La filtración es uno de las funciones de los geosintéticos ampliamente usadas. Durante siglos, los ingenieros han construido sistemas de filtro usando agregados graduados convencionales. Un geotextil proporciona una función de filtración que cumple su rol en la misma estructura del suelo como las diversas gradaciones de agregados como se muestra en la figura 1-22.

La función de filtración tiene dos objetivos simultáneos. Éstos son retener las partículas del suelo mientras permite filtrar el agua a través del plano del geotextil desde el suelo filtrado. Estos dos roles paralelos son la clave para el diseño de filtración. La función de filtración está bajo continuo estudio para determinar el mecanismo exacto que ingresa en la obra. Muchos investigadores hablan de un pastel del filtro como el que se construye en la cara superior del geotextil mostrado en la figura 1-23. Es probable que en la mayoría de aplicaciones, particularmente aquéllos que involucran suelos de granos finos, esta capa de pastel de filtro son donde la filtración actual de las partículas de suelo ocurre.

Las funciones de filtración y separación, permite pasar el agua a través del plano del geotextil. Ocasionalmente se presentan algunas confusiones entre las funciones de separación y filtración. Una distinción puede ser contraída entre los dos con respecto a la cantidad de agua involucrada y el grado en qué influye la selección del geotextil.

En la función de filtración, el volumen de agua y la dirección que se mueve a través del geotextil es específicamente la clave importante de elemento de diseño en el proyecto para su posterior selección del geotextil.

Para la función de filtración, un geotextil debe ser capaz de transmitir cierta cantidad de agua a través del plano del geotextil a lo largo de la vida útil del diseño para prevenir el aumento de presión de agua. Éste no es el caso típico de un geotextil de separación. Mientras el agua puede pasar en cualquier dirección a través del plano del geotextil de separación, esto no es típicamente un elemento de diseño, como las cantidades de agua son relativamente pequeñas, incluso en estos casos de terrenos de aguas altas y terrenos de fundación saturados.

1.7.3.0 Refuerzo

En la función de refuerzo, el geosintético es sujetado a una carga o fuerza de tensión prolongado. Los materiales de suelos y rocas son conocidos por su capacidad de resistir las fuerzas compresivas y su baja capacidad relativa para sostener fuerzas de tensión. De la misma manera que las fuerzas de tensión son llevadas a través del acero en una viga concreta reforzada, el geosintético soporta las fuerzas de tensión que no pueden ser llevadas por el suelo en un sistema suelo/geosintético.

Como se muestra en la figura 1-24, un geosintético reforzado recepciona un dique de contención que se ha construido sobre suelos blandos, las capas de geosintéticos son colocadas en los posibles planos de falla rotacional para reforzar las fuerzas de tensión que no pueden ser soportadas por una masa de suelo sin refuerzo.

1.7.4.0 Transmisión

En la función de transmisión, son llevados líquidos o gases (o transmitir) dentro del mismo plano del geosintético. Esto es diferente de la función de filtración que involucra el flujo a través del plano del geosintético. Esta función es frecuentemente asociada con geosintéticos compuestos, particularmente aquéllos que incorpora una malla de drenaje o un centro permeable unido por uno o ambos lados por un geotextil como se muestra en la figura 1-25.

El fluido ingresa a través del conjunto de geotextiles y son conducidos en canales centrales con dirección deseada en la aplicación. Como se muestra en la figura 1-26, un compuesto con núcleo de un geotextil/drenaje puede proporcionar un drenaje adyacente a la cara del muro de contención.

1.7.5.0 Cushion/Colchón

La función del colchón se refiere al uso del geosintético para proteger otro componente dentro de la aplicación total. La función del colchón corresponde típicamente al uso de un geotextil para proteger a la geomembrana del daño debido a las partículas de rocas, escombros u otros materiales. Esta función es normalmente usado en aplicaciones de terraplenes como se muestra en la figura 1-27.

Podría ser afirmado que un tejido de geomembrana en esta aplicación es realmente “separación” de un material perjudicial. Sin embargo, una función distinta es usada para dirigir este rol del geosintético porque son usadas en aproximaciones diferentes para diseñar geotextiles para separación y las funciones de colchón.

1.7.6.0 Barrera

La función de barrera se refiere a la prevención de desbordes de fluidos a través del plano del geosintético. Las aplicaciones típicas incluyen el uso de geomembranas para alinear estanques y terraplenes. Un geotextil no tejido también proporciona una función de barrera cuando se satura con un material impermeable. La aplicación más común de esta función es para reafirmar pavimentos de carretera como se muestra en la figura 1-28.

En esta aplicación, el geotextil es saturado con un material basado de asfalto (riego de liga) y el pavimento nuevo es colocado directamente sobre el geotextil. La combinación de riego de liga/geotextil previene el movimiento de agua desde la superficie del revestimiento hacia las capas del terreno de fundación. El agua dentro de la sección del pavimento reduce la performance de la carretera. Usando un geotextil en esta aplicación se incrementa la vida útil de diseño de la carretera.

1.8.0.0 FLUJO EN GEOTEXTIL

Considerando la ecuación de Darcy, se obtienen las siguientes fórmulas para los dos casos:

$$V = Q/A = k \cdot i$$

Donde:

V = Velocidad m/s

Q = Gasto en m³/s

A = Área transversal al flujo

k = Coeficiente de permeabilidad en m/s

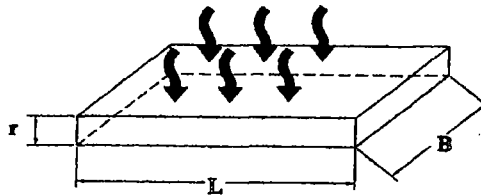
i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

$$i = \frac{\Delta h}{x}$$

Donde:

Δh = Pérdida de carga hidráulica en m.

x = Distancia en la dirección del flujo en m.

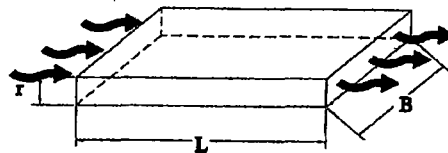
1.8.1.0 Para Flujo Normal:**FLUJO NORMAL AL PLANO**

$$A = L \cdot B$$

$$i = \frac{\Delta h}{T}$$

$$\frac{Q}{L \cdot B} = \frac{k_p \cdot \Delta h}{T}$$

$$Q_n = \frac{K_n \cdot LB}{T} \cdot \Delta h$$

1.8.2.0 Para el Flujo en el Plano:**FLUJO EN EL PLANO**

$$\frac{Q}{BT} = \frac{k_p \cdot \Delta h}{L}$$

$$A = B \cdot T$$

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$$q_p = \frac{k_p \cdot B \cdot T}{L} \cdot \Delta h$$

Donde:

K_n = Coeficiente de permeabilidad normal en m/s.

K_p = Coeficiente de permeabilidad en el plano m/s.

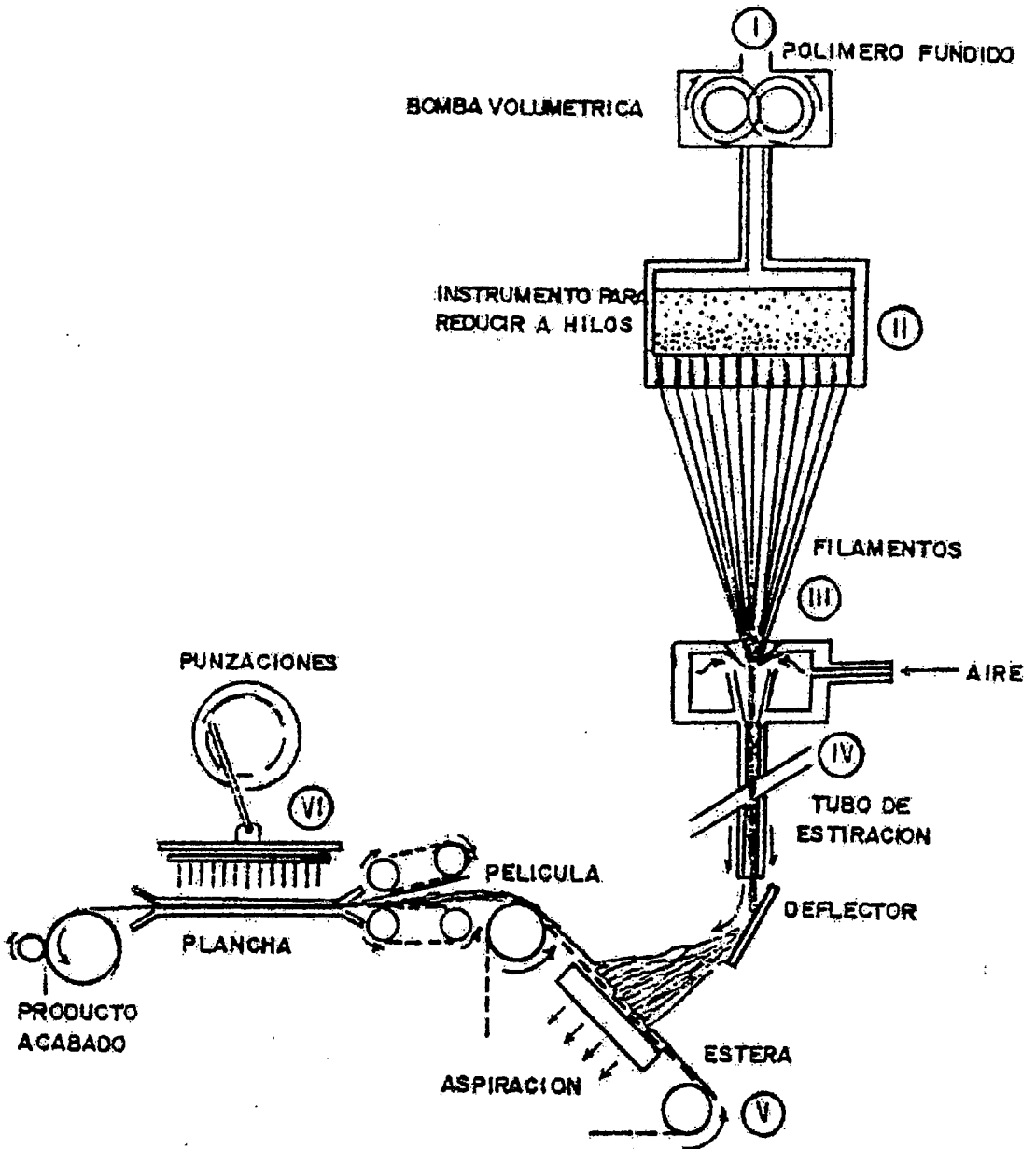
Se ha definido (GIROUD 1980)

$$\Psi = \frac{k_n}{T} \quad \text{Permisividad en s}^{-1}$$
$$\theta = k_p * T \quad \text{Transmisibilidad en m}^2/\text{s}$$
$$Q_n = \Psi * L * B * \Delta h \quad \text{m}^3/\text{s.}$$
$$Q_p = \theta * B * \Delta h / L \quad \text{m}^3/\text{s.}$$

Las ecuaciones anteriores permiten determinar el A a través del geotextil, en los sentidos normales y en el plano.

GRAFICOS Y TABLAS

FIGURA 1-1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA FABRICACIÓN (PROCESO) DEL GEOTEXTIL



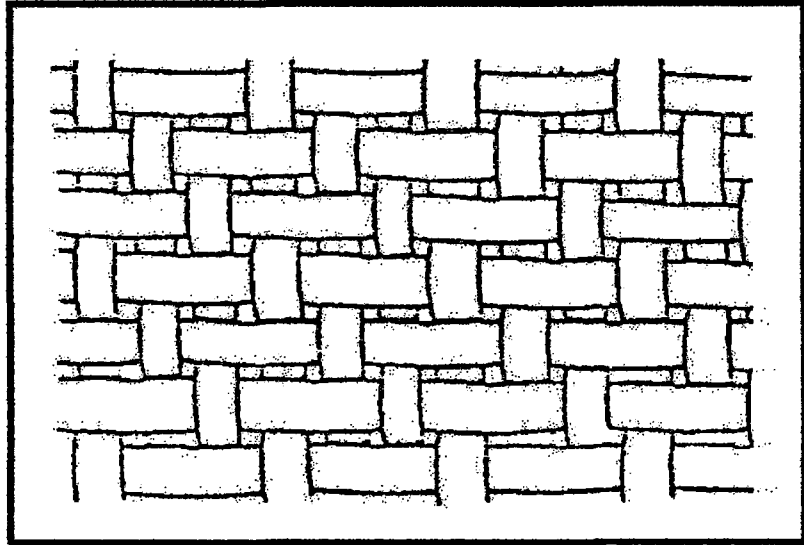


FIGURA 1-2(a) GEOTEXTIL TEJIDO

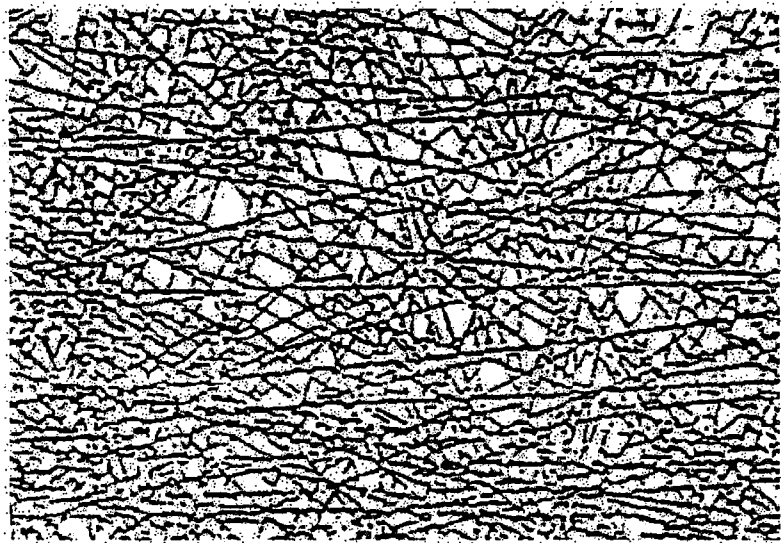


FIGURA 1-2(b) GEOTEXTIL NO TEJIDO

TABLA 1-1 CRITERIO DE RETENCIÓN

RELACIONES USADAS PARA OBTENER EL TAMAÑO DE LA ABERTURA DEL TEJIDO PARA PREDECIR LA EXCESIVA PÉRDIDA DE FINOS DURANTE LA FILTRACIÓN.		
SUELTO DR < 50%	$O_{95} (CU)(d_{50})$	$O_{95} < (9d_{50})/CU$
INTERMEDIO 50% < DR < 80%	$O_{95} < 1.5(CU)(d_{50})$	$O_{95} < (13.5d_{50})/CU$
DENSO DR > 80%	$O_{95} < 2.0(CU)(d_{50})$	$O_{95} < (18d_{50})/CU$

NOTA:

- d_{50} = Tamaño de partícula del suelo, correspondiente al 50% de material más fino.
- CU = Coeficiente de Uniformidad (d_{60}/d_{10}).
- d_{10} = Tamaño de partícula del suelo, correspondiente al 10% de material más fino.
- d_{60} = Tamaño de partícula del suelo, correspondiente al 60% de material más fino.
- O_{95} = Tamaño aparente de la abertura del geotextil. (Si este dato no es proporcionado por el fabricante, el valor es aproximadamente la malla o su valor de abertura AOS en mm).

TABLA 1-2 FUNCIONES DE LOS GEOSINTÉTICOS

	GEOTEXTILES	GEOCOMPUESTOS	GEOMEMBRANAS	GEOGRID
1. Aplicaciones de seguridad en terraplenes. 2. Cuando es saturado con una aplicación de capa ligante en el revestimiento.				
SEPARACIÓN	●			
FILTRACIÓN	●	●		
REFUERZO	●			●
TRANSMISIÓN	★ ¹	●		
COLCHÓN	●			
BARRERA	★ ²		●	

CUADRO 1-1 FABRICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES

Su fabricación está basada en tres puntos:

TIPO DE POLIMERO	TIPO DE FIBRAS	ESTILO FABRICACIÓN
<ul style="list-style-type: none">• Polipropileno.• Poliester.• Poliamida (Nylon).• Polietileno.	<ul style="list-style-type: none">• Monofilamento.• Multifilamento• Staple• Staple yarm• Slit film.• Filigrana• Fibrillas	<ul style="list-style-type: none">• Tejidos.• No Tejidos.• Enmallados.

De la combinación de estos tres puntos, resulta el producto conocido como geotextil.

CUADRO 1-2 Acción de los ácidos, bases, oxidantes y reductores sobre el poliéster. En las concentraciones normalmente encontradas en la naturaleza, el poliéster prácticamente no es afectado.

	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (%)	TEMPERATURA (°C)	DURACIÓN DEL ENSAYO (H)	PÉRDIDA DE RESISTENCIA
ACIDOS	Acido Clorhídrico	18	25	500	< 6%
	Acido Nítrico	40	25	72	< 6%
	Acido Sulfúrico	37	25	1000	< 6%
	Acido Acético	Concentrado	80	72	< 6%
	Acido Fórmico	Concentrado	80	72	< 6%
	Acido Oxalico	Concentrado	80	72	6 – 30%
	Acido Fluorídrico	Concentrado	25	168	< 6%
	Acido Fosfórico	Concentrado	80	72	< 6%
BASES	Hidróxido de Amonio	2	50	576	< 6%
	Hidróxido de Amonio	20	50	576	30 – 70%
	Hidróxido de Sodio	10	25	576	6 – 30%
OXIDANTES	Hipoclorito de Na	150 g/l (PH 11 y 12)	15	168	< 6%
	Agua Oxigenada	66 vol. Con 2/1000 silicato de Na	90	1	< 6%
	Clorito	0.2% (PH 2 a 3)	100	1/2	< 6%
	Bicromato de K	Saturado + 10 g de H ₂ SO ₄ / l	80	72	< 6%
	Hidrosulfito de Na	Saturado	80	72	< 6%

FIGURA 1-3 CONCEPTO BÁSICO DE SUELO REFORZADO

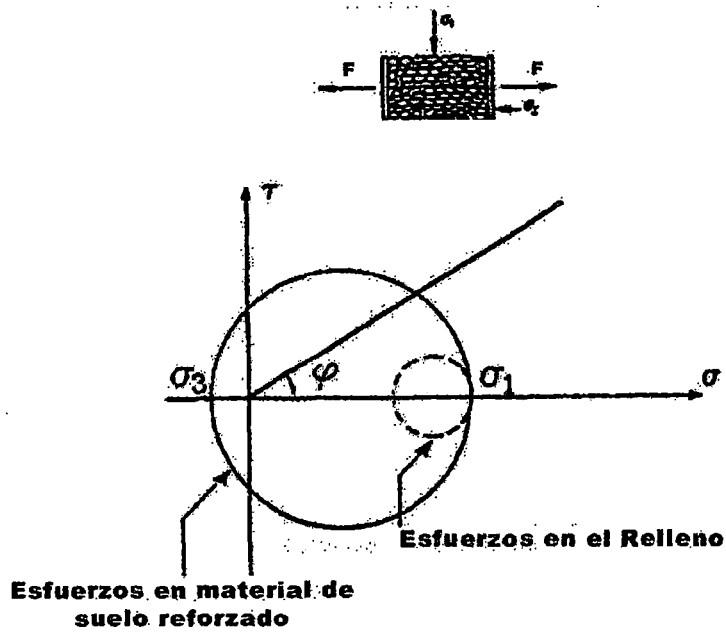


FIGURA 1-4 ESTADOS DE ESFUERZOS EN SUELOS REFORZADOS

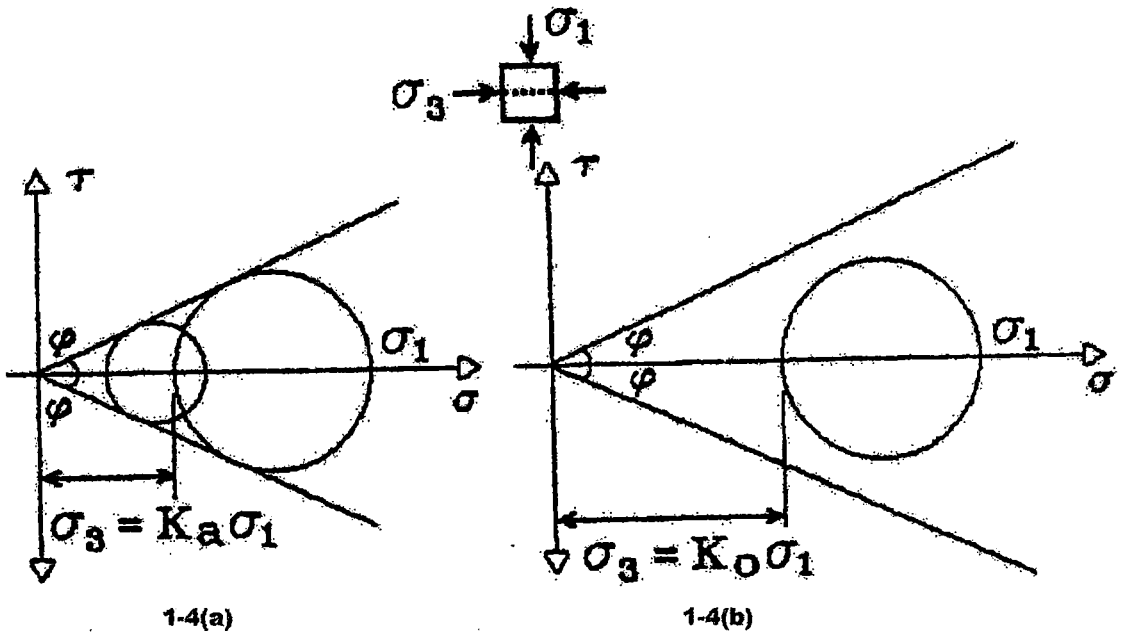


FIGURA 1-5 REMODELACION Y ESTABILIZACION DE TALUDES DESMORONADIZOS CON GEOMALLAS UNI-ORIENTADAS

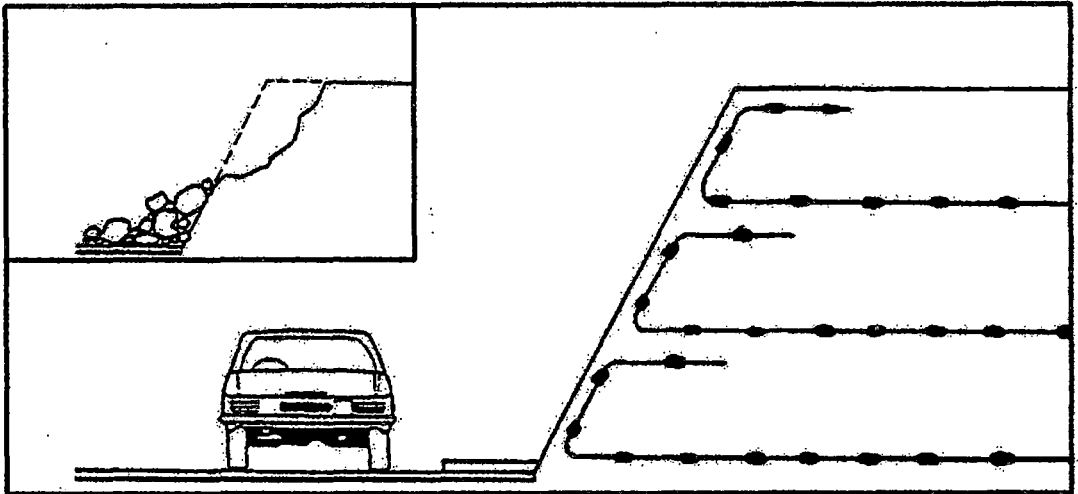


FIGURA 1-6 CONSTRUCCION DE TERRAPLENES (CARRETERAS, FERROCARRILES, etc.) CON GEOMALLAS UNI-ORIENTADAS

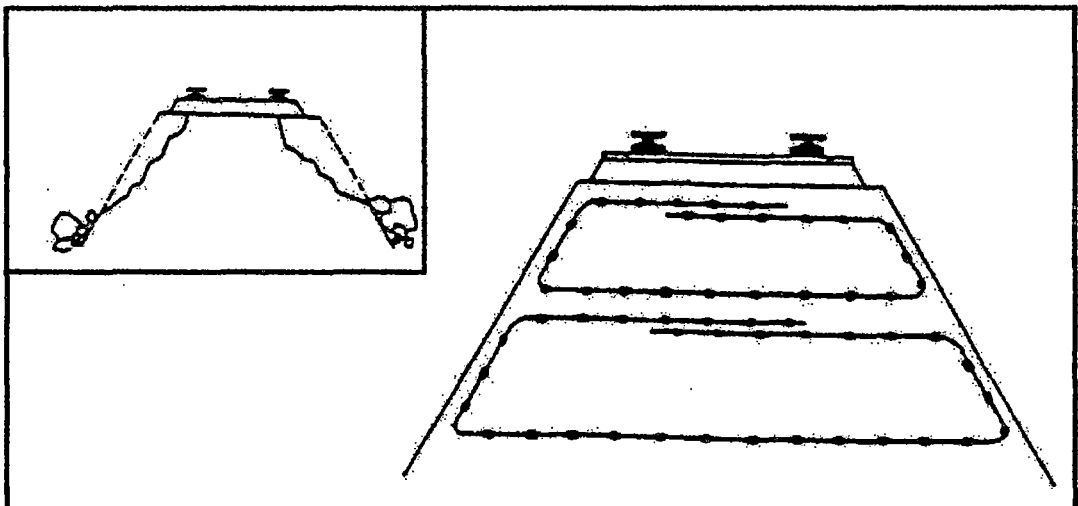


FIGURA 1-7 ESQUEMA DEL APARATO PARA MEDIR LA CAPACIDAD DRENANTE DE UN GEOSINTETICO

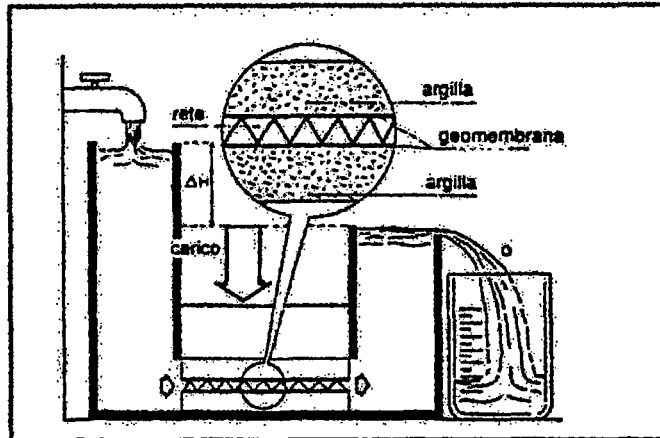
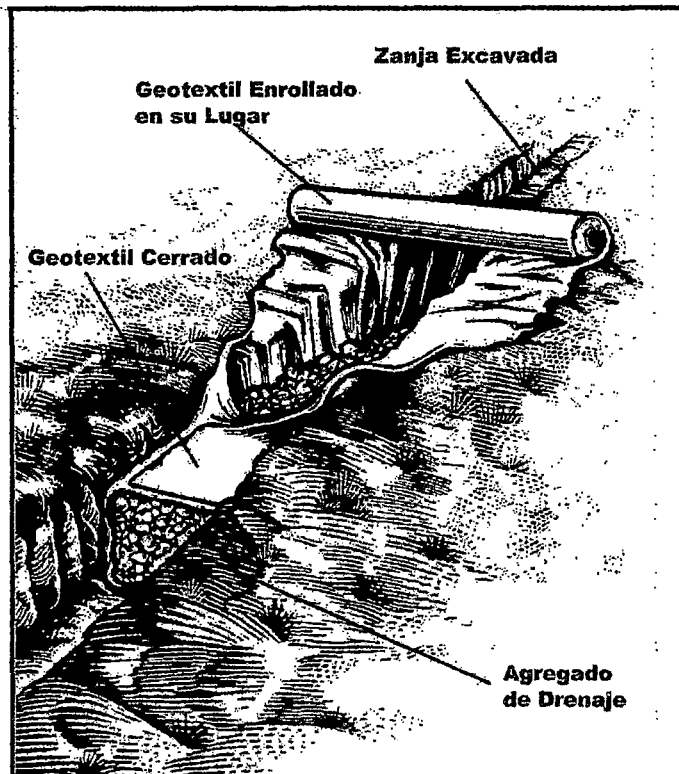


FIGURA 1-8 GEOTEXILES FILTRANTES PARA DRENAJES SUBTERRANEOS, NO BIODEGRADABLES, SIMPLES DE INSTALAR Y MANTIENEN LA ESTABILIDAD DEL SUELO QUE ES CRITICO PARA CARRETERAS Y PISTAS DE AEROPUERTOS.



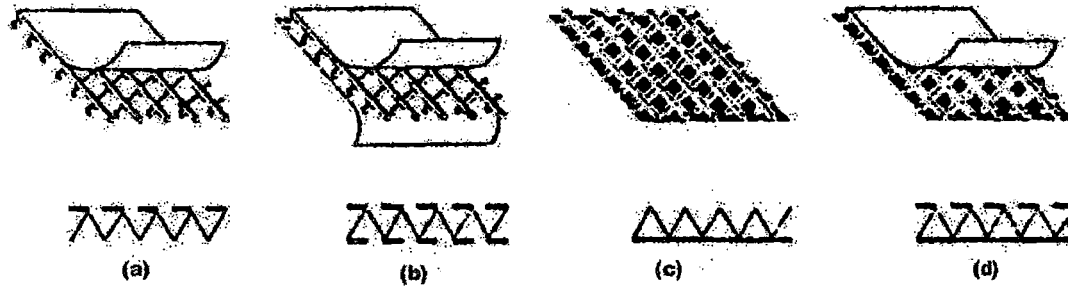
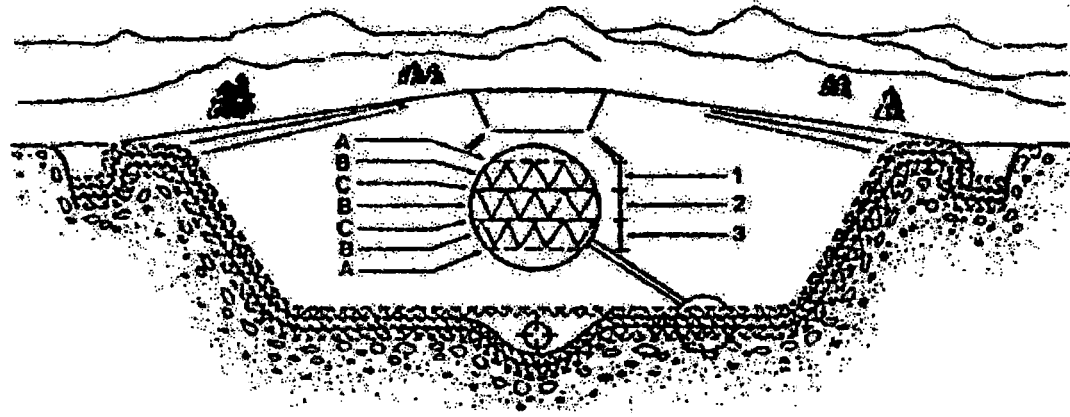


FIGURA 1-9 GEOCOMPUESTOS

- (a) textil + red
- (b) textil + red + textil
- (c) membrana + red
- (d) membrana + red + textil

FIGURA 1-10 ESCOMBRERAS DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS

- A) filtro B) drenaje C) impermeabilización
- 1) recolección percolado
- 2) monitoreaje de pérdidas accidentales
- 3) drenaje de aguas y gases subterráneos



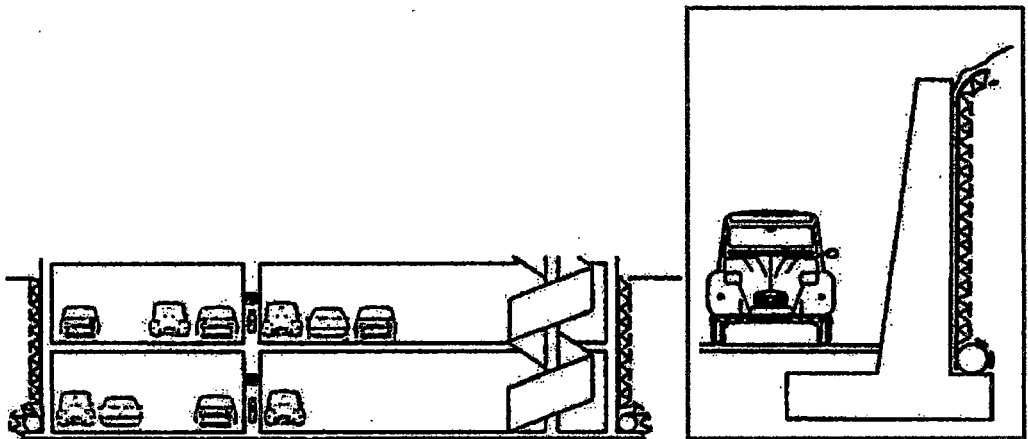


FIGURA 1-11 DRENAJE EN MUROS DE SOSTENIMIENTO

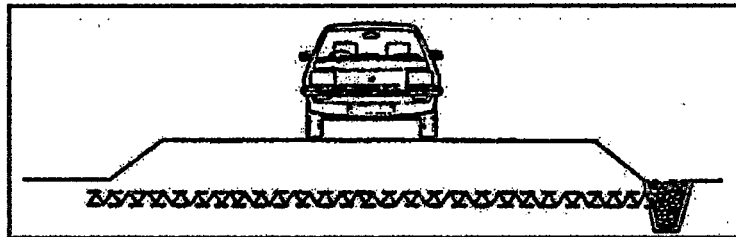


FIGURA 1-12 DRENAJES EN BASES DE CARRETERAS

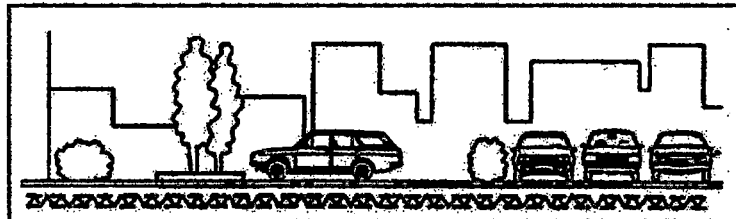


FIGURA 1-13 DRENAJES DE PLAZAS Y PARQUES

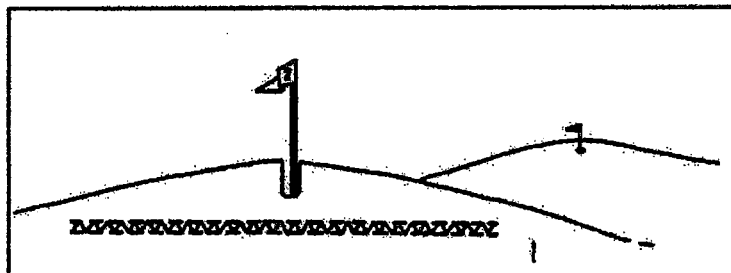


FIGURA 1-14 DRENAJE DE JARDINES Y CANCHAS DEPORTIVAS

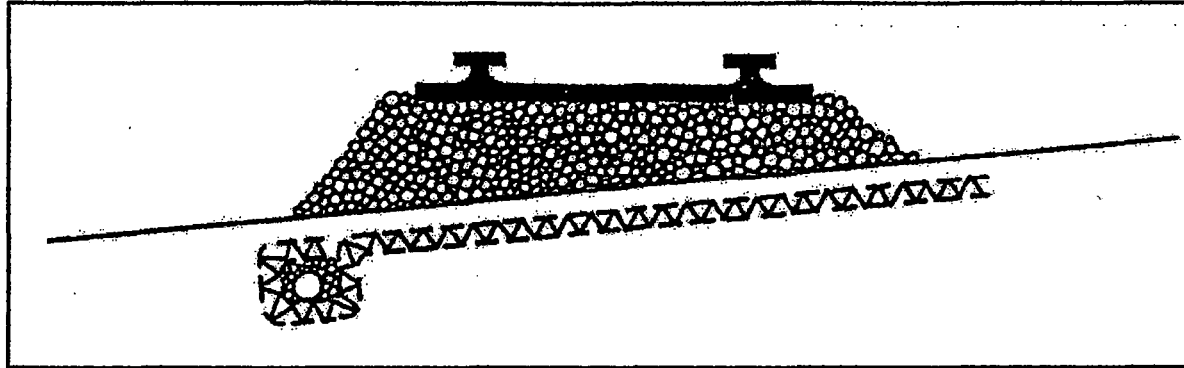


FIGURA 1-15 DRENAJE DE EMPEDRADOS FERROVIARIOS

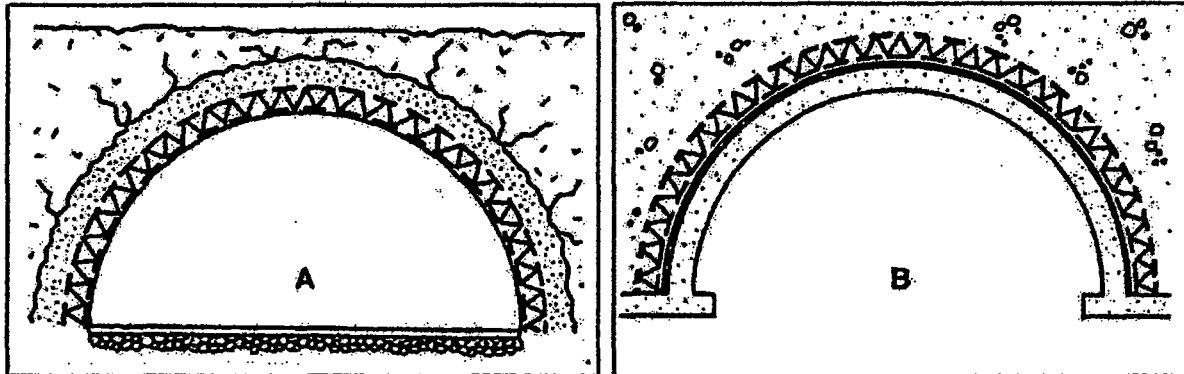


FIGURA 1-16 DRENAJE DE GALERIAS

FIGURA 1-17 GEOTEXTIL PARA EL CONTROL PERMANENTE DE LA EROSIÓN

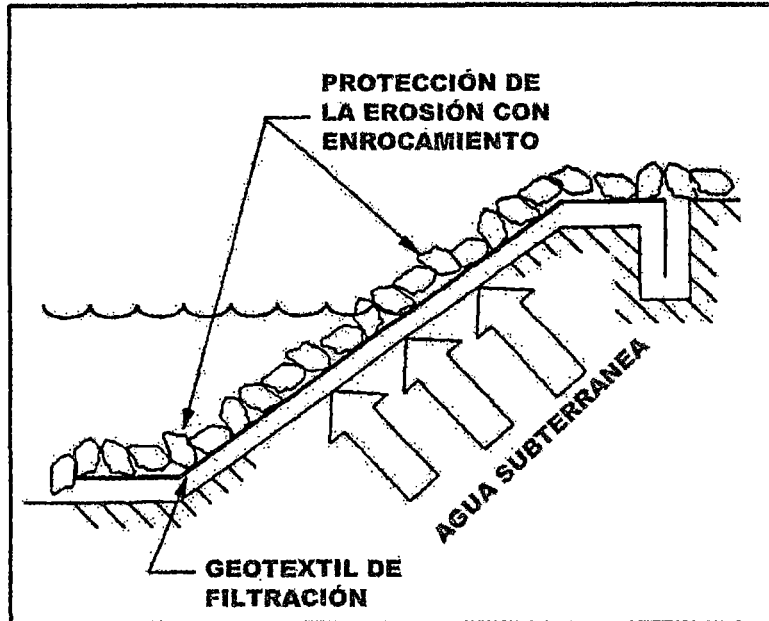
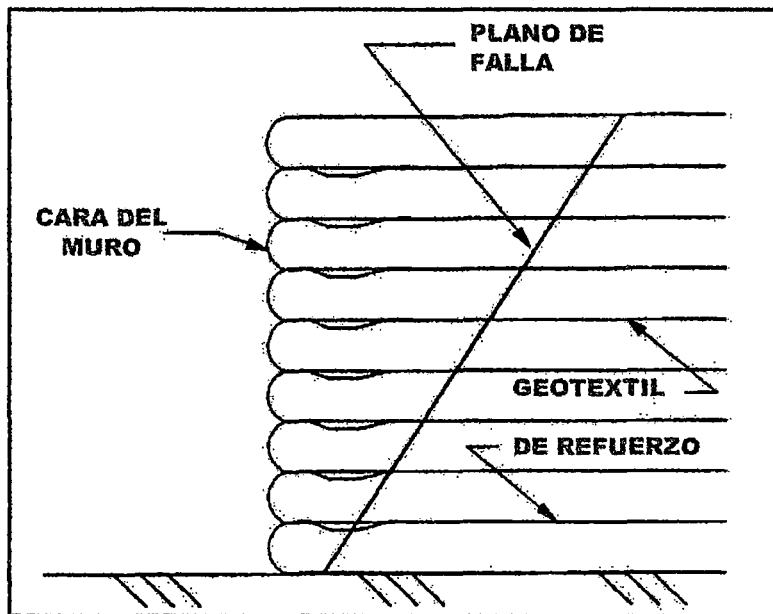


FIGURA 1-18 GEOTEXTILES DE REFUERZO PUEDEN SER INSTALADOS DE UNA MANERA RÁPIDA Y FÁCIL, REDUCIENDO EL TIEMPO Y EL COSTO TOTAL DE LA CONSTRUCCIÓN



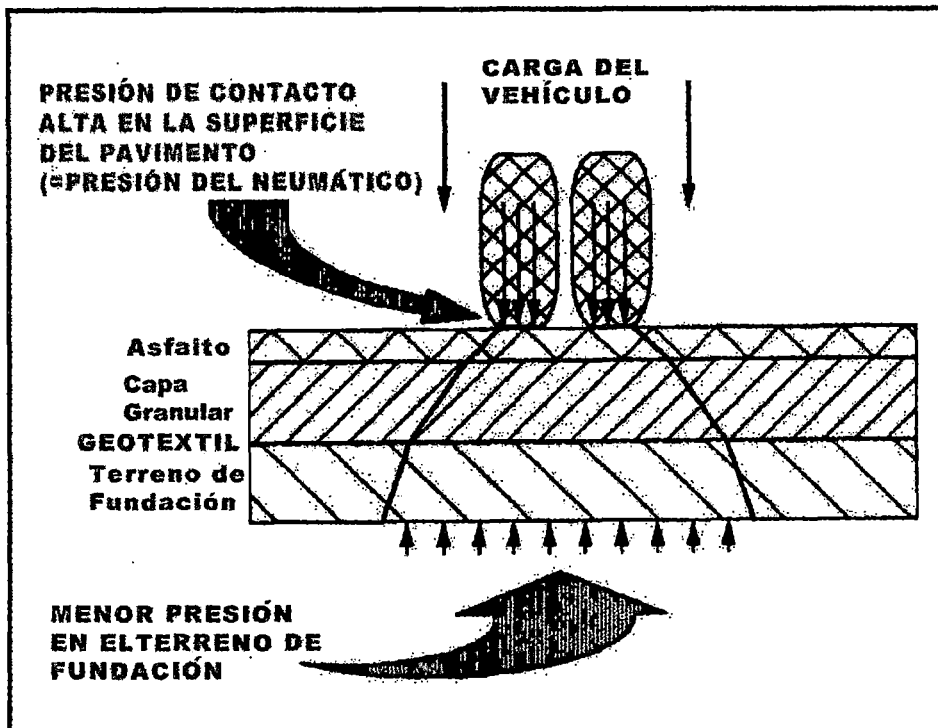


FIGURA 1-19 GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN A LARGO PLAZO ENTRE LA CAPA GRANULAR Y LOS FINOS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN, EXTENDIENDO LA VIDA DE SU CARRETERA POR UN FACTOR DE DOS A TRES.

FIGURA 1-20 SECCIÓN DE PAVIMENTO SIN GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN

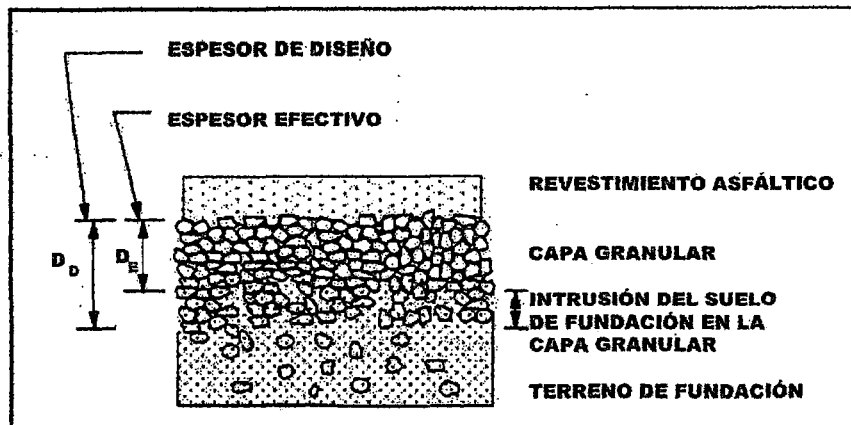
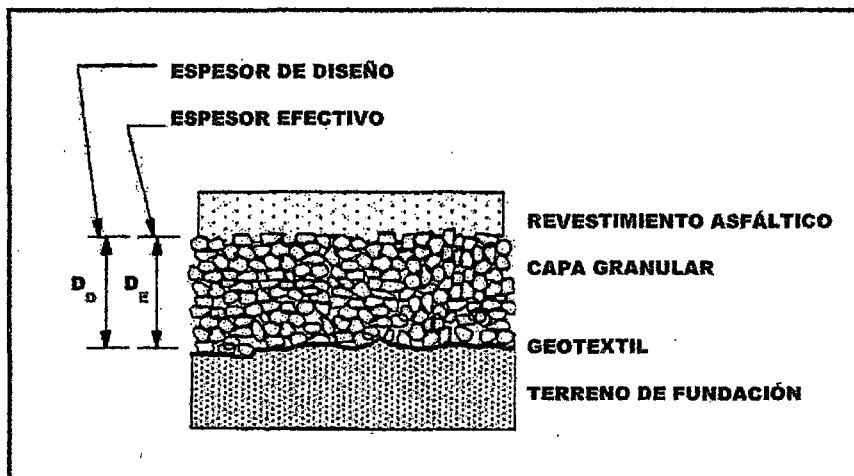


FIGURA 1-21 SECCIÓN DE PAVIMENTO CON GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN



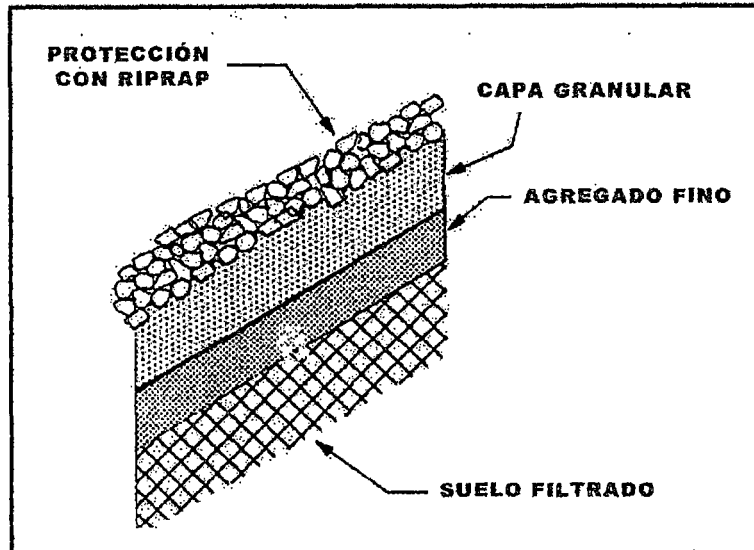


FIGURA 1-22(a) SISTEMA DE FILTRO CON AGREGADO CONVENCIONAL

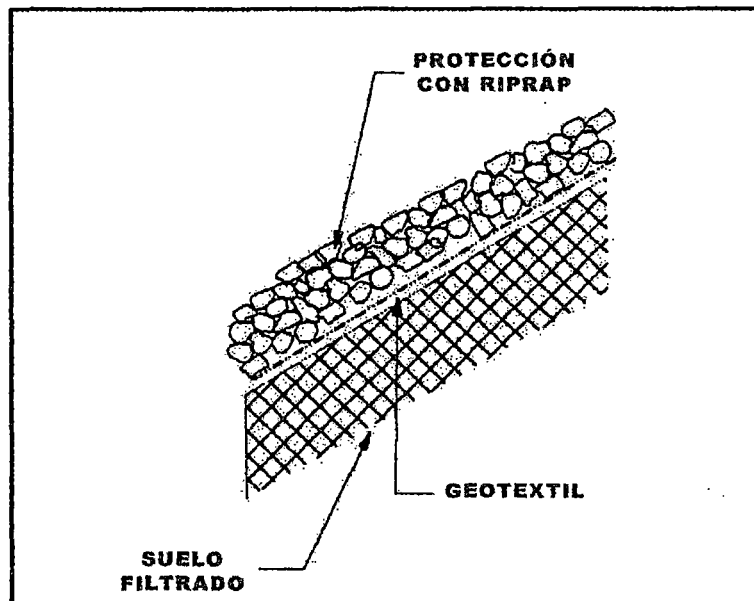


FIGURA 1-22 (b) SISTEMA DE FILTRO CON GEOTEXTIL

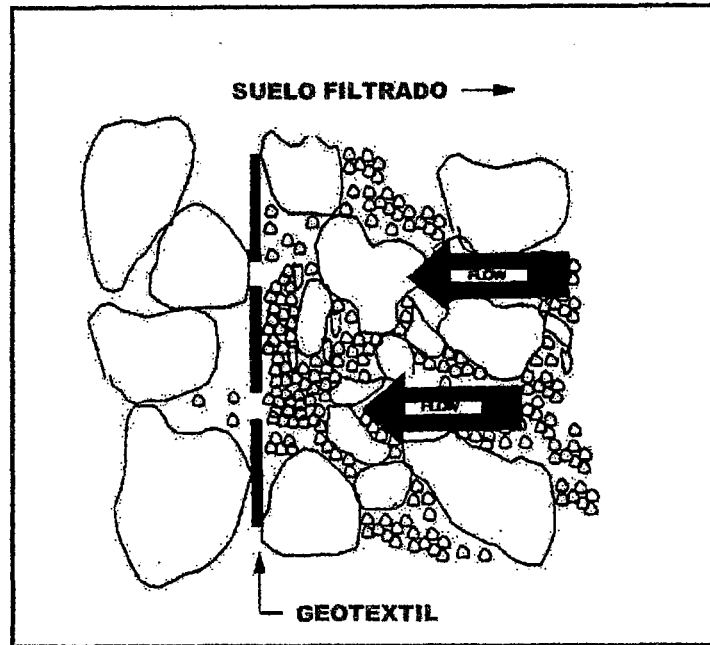


FIGURA 1-23 LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LOS GEOTEXTILES SON SELECCIONADAS PARA ASEGURAR QUE SOBREVIVAN LA CONSTRUCCIÓN Y QUE PERMANEZCAN INTACTOS PARA ACTUAR COMO UN FILTRO

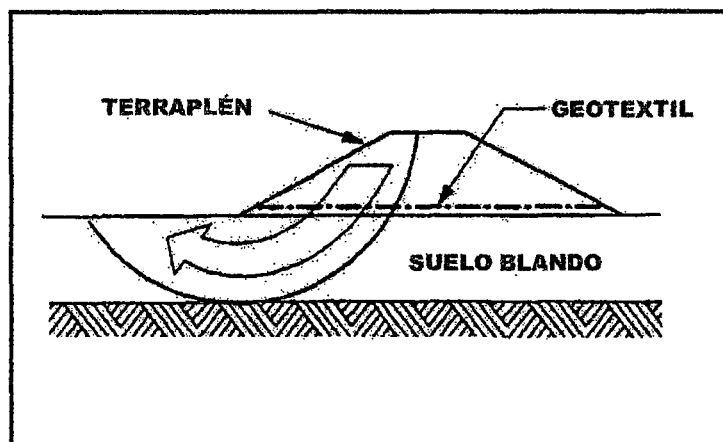


FIGURA 1-24 EL GEOTEXTIL REFORZADO RECEPCIONA UN DIQUE DE CONTENCIÓN QUE SE HA CONSTRUIDO SOBRE SUELOS BLANDOS.

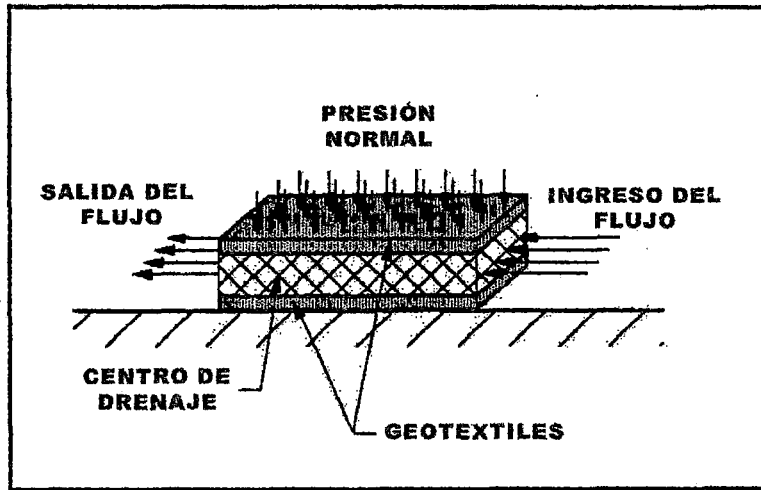


FIGURA 1-25 GEOTEXTIL DE TRANSMISIÓN, QUE INCORPORA UNA MALLA CENTRAL DE DRENAJE UNIDO POR AMBOS LADOS CON GEOTEXTILES.

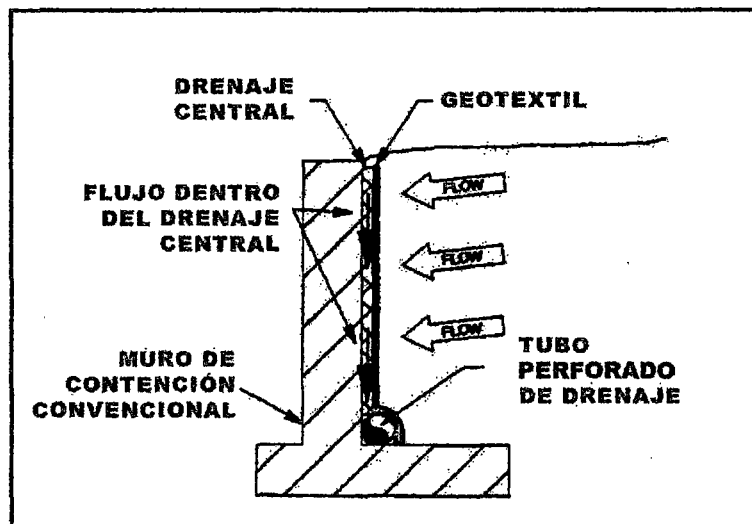


FIGURA 1-26 GEOTEXTIL DE TRANSMISIÓN, MATERIAL COMPUESTO CON NUCLEO GEOTEXTIL/DRENAJE ADYACENTE A LA CARA DEL MURO DE CONTENCIÓN

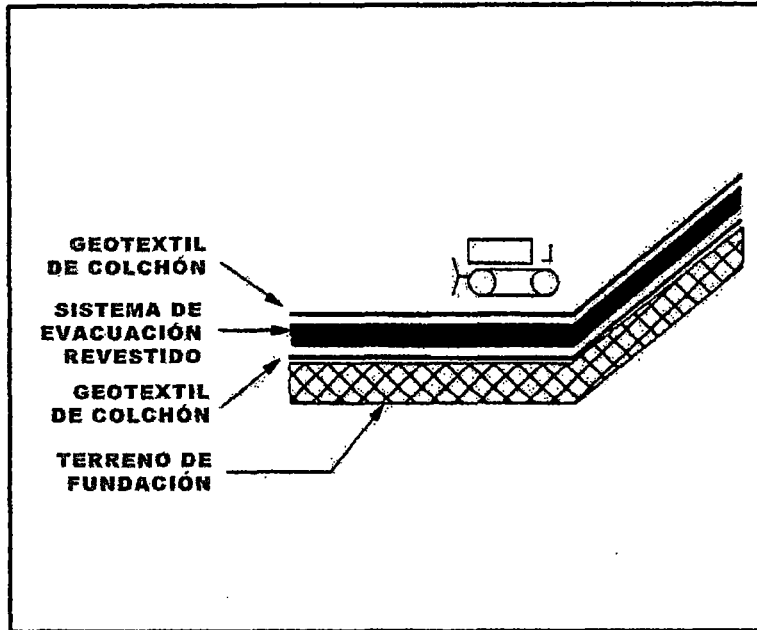


FIGURA 1-27 GEOTEXTIL DE COLCHÓN, QUE PROTEGE AL SISTEMA DE EVACUACIÓN DEL DAÑO DEBIDO A LAS ROCAS, ESCOMBROS U OTROS MATERIALES

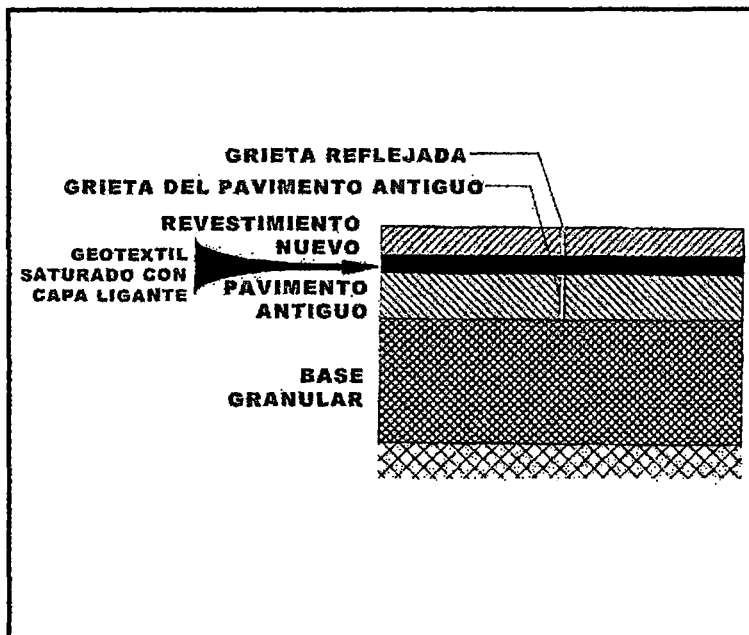


FIGURA 1-28 GEOTEXTIL DE BARRERA, PARA REAFIRMAR PAVIMENTOS DE CARRETERA

**CAPÍTULO 02 PRINCIPIOS DE DISEÑO Y BENEFICIOS UTILIZANDO
GEOTEXILES EN CARRETERAS**

CAPÍTULO 02 PRINCIPIOS DE DISEÑO Y BENEFICIOS UTILIZANDO GEOTEXILES EN CARRETERAS

2.1.0.0 ESTABILIZACIÓN DE TERRENOS DE FUNDACIÓN

2.1.1.0 Historia

Las capas granulares sin cohesión, cuando se colocan sobre terrenos de fundación blandas, pueden volverse altamente inestables bajo condiciones de tráfico. Comenzando la década de los años 1970, se realizaron unos esfuerzos iniciales para incorporar textiles sintéticos en estos sistemas, en un intento para estabilizarlos y de esta forma mejorar su desempeño. Un trabajo realizado por Barenberg. et. al., Demostró que la incorporación de un textil sintético podría mejorar considerablemente la estabilidad de estos sistemas, o alternativamente, permitir que el sistema fuera construido con capas granulares más delgadas y aún así alcanzar el mismo nivel de desempeño. Los procedimientos de diseño antiguos fueron toscos, por decirlo de la mejor manera, pues era muy poco lo conocido acerca de los mecanismos de falla de las capas granulares sobre suelos blandos, y mucho menos sobre como los geotextiles alterarían el comportamiento del sistema y su desempeño. Terminando los años 70, Kinney, en su tesis de doctorado, describió los mecanismos básicos, de cómo un textil sintético podría suministrar estabilidad a tales sistemas. Un corto período después de esto, Raad ofreció explicaciones adicionales basándose en análisis teóricos sobre estos sistemas. Fueron adquiriéndose conocimientos adicionales para sustentar el comportamiento y desempeño de estos sistemas, por parte de investigadores tales como Robnett, Lai, Barksdale, Webster, Wadkins y Thomson entre otros. La literatura contiene ahora una lista significativa de referencia en la que están documentados y explicados el comportamiento y los mecanismos de falla de estos sistemas. Han sido presentados procedimientos de diseño nuevos y mejorados, que tienen en cuenta las propiedades específicas de textiles sintéticos. Estas actividades han culminado con el reciente trabajo de Barksdale y Brown, cuyos documentos teóricos y datos de ensayo, han mostrado los mecanismos por los cuales los textiles sintéticos estabilizan a los sistemas con capas granulares sin cohesión,

2.1.2.0 Introducción

La causa mayor de fallas en carreteras construidas sobre terreno de fundación de suelos blandos es el drenaje pobre y la pérdida de capacidad de carga de la base estructural del pavimento. Esto es debido a la contaminación de los agregados por el continuo bombeo de suelos finos del terreno de fundación hacia la capa granular durante la etapa de construcción de la misma y a través de la vida útil del pavimento. Este tipo de fallas es más frecuente en áreas de suelos finos, húmedos o saturados, con un alto grado de sensibilidad al remoldeado.

Un geosintético puede mejorar la capacidad de carga y reducir el ahuellamiento cuando se construyen vías y carrileras sobre suelos blandos. Las vías sobre suelos pobres han usado por siglos medios para separar el agregado de la carretera del terreno de fundación. Los caminos con empalizadas, figura 2-1, por ejemplo, han sido construidos desde la época colonial usando como estrato de fundación troncos colocados en el sentido transversal de la vía. Este estrato de troncos relativamente rígidos distribuye las cargas de tráfico a la subrasante de una manera más uniforme. La adaptación de los geotextiles y geosintéticos relacionados al diseño de vías es simplemente la adición de materiales nuevos, más económico y de mayor duración enmarcados dentro de conceptos de diseños comprobados en el tiempo. Esta sección desarrolla las funciones estructurales e hidráulicas en la aplicación de separación e ilustra su uso en vías no pavimentadas.

Las vías no pavimentadas típicamente están expuestas a tráfico liviano durante un período extendido de tiempo o a tráfico pesado durante uno breve. Ambas situaciones impiden incurrir en el gasto adicional de pavimentar la vía. Si bien ambas situaciones son ventajosas, en el capítulo 3.4 se enfocará con más detalle la aplicación del tráfico pesado que pueden generar grandes deformaciones en la subrasante. El geotextil es colocado entre el terreno de fundación existente y la primera capa de agregados. En este punto el geotextil desempeñara sus funciones estructurales e hidráulicas.

2.1.3.0 Desempeño Estructural

Estructuralmente el geotextil puede proveer un refuerzo a tensión a las gravas y piedras que se forman en el cimientó y previenen fallas locales en la capacidad portante del terreno de fundación que subyace al sistema, figura 2-2. Las fallas localizadas resultan de piedras

individuales que son forzadas a penetrar el terreno de fundación y el papel desempeñado por el geotextil, se refiere usualmente a proveer una restricción en la subrasante. La falla general origina grandes movimientos hasta bien adentro del terreno de fundación y el geotextil provee refuerzo en esta parte.

- a. **Restricción de subrasantes.** En aplicaciones donde se ven envueltas terreno de fundación muy blandas, p.ej., aquellas que tengan un CBR menor que 3 (correspondiente a un esfuerzo cortante menor de 0.94 kg/cm^2 ó 13 lb/pulg^2), el geotextil previene una falla localizada de capacidad portante del terreno de fundación la que se encuentra por debajo de la piedra. El valor del terreno de fundación debe basarse en un ensayo saturado o en remojo, que cumpla con la norma ASTM D 1883. La capacidad portante de un terreno de fundación arcillosa, q , básicamente está dada por:

$$q = cN_c$$

Donde c es la cohesión del terreno de fundación y N_c es el factor de capacidad portante. La cohesión usada, está basada típicamente en el percentil 75 de las resistencias medidas del suelo. Esto significa que el 75% de las resistencias al corte medidas, exceden la resistencia de diseño. El valor de N_c varía convencionalmente entre valores de 3.3 para fallas localizadas de capacidad portante, hasta 6.1 para fallas generales por corte. Basadas en investigaciones anteriores y numerosas instalaciones de campo, se recomiendan los siguientes factores de capacidad portante, N_c :

- 2.8 Produce un ahuellamiento leve bajo cargas de tráfico altas, sin geotextil.
- 3.3 Produce un ahuellamiento grande bajo cargas de tráfico livianas, sin geotextil.
- 5.0 Produce un ahuellamiento leve bajo cargas de tráfico altas, con geotextil.
- 6.0 Produce un ahuellamiento grande bajo cargas de tráfico livianas, con geotextil.

Aquí, un ahuellamiento leve se define como aquel menor de 5 cm, y un ahuellamiento grande es aquel que está entre las 10 a 15 cm. las cargas livianas se refieren a aquellas menores de un eje equivalente de 18000 lb (80 kN). De esta forma en suelos blandos, un geotextil provee una restricción al terreno de fundación y puede ser usado para

prolongar la vida de servicio o reducir el espesor necesario de la capa granular. La introducción del geotextil puede ahorrar típicamente un tercio de la vía sobre suelos blandos.

- b. **Refuerzo.**- diversos ensayos de campo efectuados por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos al finalizar la década de los setenta, indicaron que la capacidad última de la carga de vía no pavimentada, estaba influida por la colocación de un geotextil y además por el tipo de geotextil usado. Los mecanismos básicos que conducen a este incremento se muestran en la figura 2-3. A medida que se desarrolla un ahuellamiento en la vía, ocurren esfuerzos en el geotextil y se desarrolla una componente vertical de carga, F_v . La presión aplicada por la rueda de un vehículo al geotextil, puede calcularse usando el siguiente modelo simplificado. El esfuerzo en el geotextil es una función de la profundidad del ahuellamiento y del ancho de la carga efectiva sobre el geotextil, “a”, como se ilustra en la figura 2-3.

La componente vertical de la tensión en el geotextil adyacente al ahuellamiento está dada por:

$$F_v = \frac{E\varepsilon}{(1+(a/2s)^2)^{1/2}}$$

Donde E, es el módulo del geotextil y ε , la deformación. Esto puede convertirse en una presión vertical equivalente, dividiendo a F_v por el ancho efectivo del ahuellamiento. Por esto la capacidad portante última del terreno de fundación puede darse por:

$$q_{ult} = q + F/a$$

Donde q es la capacidad portante basada en la restricción del terreno de fundación. Por lo tanto el geotextil puede proveer una restricción al terreno de fundación y proveer un refuerzo al mismo tiempo.

Nótese que una gran cantidad del ahuellamiento debe ocurrir antes de que se desarrollen esfuerzos significativos en el geotextil. De hecho, el modo de refuerzo no hará una contribución significativa si las profundidades del ahuellamiento inicial son menores de

15 cm. Adicionalmente se está asumiendo que el tráfico no pasa sobre el borde del geotextil ya que este está anclado en el área adyacente al ahuellamiento. El uso del refuerzo también requiere una consideración de campo importante: los ahuellamientos que se desarrollen, deben rellenarse con grava adicional y no ser simplemente nivelados con cuchilla. Si no se usa grava adicional, entonces el geotextil puede eventualmente quedar expuesto en la corona entre los ahuellamientos. Esto significa que se requiere de mantenimiento adicional para tomar ventaja del refuerzo. Por estas razones, el papel de refuerzo de los geotextiles en las vías generalmente no se había tenido en cuenta hasta el día de hoy.

2.1.4.0 Principios de Diseño Utilizando Geotextiles en Carreteras

La metodología para estabilizar terrenos de fundación de suelos blandos usando una combinación de geotextiles y agregados ésta muy bien establecida. El geotextil se coloca entre el material de capa granular de base y el terreno de fundación (“separación”) para evitar la contaminación y al mismo tiempo mantiene la integridad de la base estructural del pavimento. Por consiguiente, el geotextil debe retener las partículas de suelos muy fino manteniendo una alta permeabilidad y permitiendo el drenaje (“filtración y drenaje”) de las aguas acumuladas en la base o en el terreno de fundación del pavimento. Con el tiempo, un drenaje adecuado del pavimento mantiene o aumenta la capacidad estructural del terreno de fundación. Una función secundaria del geotextil en carreteras, es el refuerzo. El geotextil introduce un miembro de refuerzo debajo de la capa granular el cual actúa como medio de restricción de los agregados.

Esta función de refuerzo provee dos beneficios:

1. El geotextil reduce los esfuerzos cortantes en la parte inferior de la capa granular los cuales de otro modo hubieran sido transferidos al terreno de fundación.
2. El geotextil provoca un aumento del módulo de elasticidad de la capa granular debido a la restricción y confinamiento en la parte inferior de la capa granular. Esto provoca la reducción de esfuerzos hacia el terreno de fundación.

Además, el geotextil puede actuar como una membrana en tensión y directamente soportar las cargas vehiculares. Sin embargo, el efecto de membrana en tensión sólo se producirá si

las cargas vehiculares producen huellas muy pronunciadas en el terreno de fundación. Esta situación no es muy frecuente o permitida en el diseño y construcción de carreteras de primera categoría. Giroud, Ah-Line y Bonaparte (1984) demostraron que a menos que la profundidad de las huellas producidas por las cargas vehiculares sea de 10cm a 15 cm, el efecto de las mismas son insignificantes.

Actualmente no existe ninguna forma cuantitativa de evaluar el aumento en la capacidad estructural del pavimento cuando se introduce un geotextil como medio separador, filtrante, y de drenaje. Sin embargo, de forma cualitativa, el uso de geotextiles para estabilizar carreteras sobre terreno de fundación blandos nos dirigen a varios beneficios en el costo y funcionamiento de las mismas, los cuales incluyen:

1. Reducción de la intensidad de los esfuerzos y la penetración de los agregados del firme o cimiento hacia el terreno de fundación.
2. Prevención de la migración de finos desde el terreno de fundación hacia el cimiento o firme granular.
3. Prevención de la contaminación del firme o cimiento lo cual permite la utilización de materiales granulares con una densificación mas abierta, y por consiguiente ayuda al drenaje del pavimento.
4. Reducción del espesor de la excavación requerida para remover el material pobre o de baja capacidad de carga del terreno de fundación.
5. Reducción de la cantidad de materiales requeridos para estabilizar el terreno de fundación.
6. Reducción de los daños o disturbios del terreno de fundación durante la etapa de construcción, lo que resulta en una mejor base de apoyo para la capa estructural del pavimento o superior subrasante.
7. Si ocurren asentamientos, el geotextil ayuda a mantener la integridad y uniformidad del pavimento. El geotextil no previene los asentamientos de la subrasante pero su uso puede resultar en asentamientos mas uniformes (Boutrup y Holts, 1983).
8. En áreas de transición, de corte a relleno, el uso de geotextiles asiste en la reducción de asentamientos diferenciales.
9. Los geotextiles pueden también ser usados como capa de rompimientos del ascenso de aguas por capilaridad-geotextiles agujados, no tejidos son comúnmente usados

para la estabilización de carreteras debido a su alto grado de permeabilidad y la capacidad de drenaje en el plano de los mismos.

2.1.5.0 Selección del Geotextil

Para que el geotextil funcione apropiadamente en la estabilización de carreteras, debemos cuidadosamente considerar las propiedades requeridas del mismo. El geotextil seleccionado para esta aplicación debe cumplir o exceder las propiedades mecánicas, hidráulicas, y de durabilidad, requeridas por el diseño.

Requerimientos Mecánicos.- Criterios de severidad.

La selección inapropiada del geotextil puede resultar en fallos del mismo durante la construcción o en el periodo inicial de la vida útil del pavimento, especialmente cuando se utilizan agregados angulares y de tamaños excesivos. Esto regularmente arruina las funciones de separación y filtración del geotextil. Por consiguiente, el geotextil debe tener suficiente resistencia a los esfuerzos en la instalación y esfuerzos permanentes a través de la vida útil del pavimento.

La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos de América (FHWA) ha desarrollado guías para determinar los requerimientos mínimos del geotextil. Estos requerimientos mínimos están incorporados en las especificaciones para geotextiles de AASHTO M 288-90. En el anexo A se presentan las propiedades mecánicas mínimas del geotextil en función del nivel de severidad de los equipos de construcción, agregados y condiciones del terreno de fundación.

Estas recomendaciones reconocen la habilidad de los geotextiles agujados, no tejidos de alta elongación para deformarse cuando están sometidos a las cargas vehiculares, los cuales le hacen menos susceptibles al desgarre que los geotextiles tejidos en la etapa de construcción.

Cuando los equipos de construcción y las condiciones de campo no pueden ser cuidadosamente controlados, los geotextiles clasificados para alta severidad deben ser usados. Los geotextiles con esfuerzo moderado deben solamente usarse cuando el ingeniero

del proyecto tiene un buen control de calidad de las actividades de campo o para aplicaciones menos críticas.

En construcciones típicas de carreteras, regularmente se utilizan agregados de 5 – 10 centímetros de tamaño máximo, la selección del geotextil están controlada por los requerimientos.

Requerimientos Hidráulicos.

En vías convencionales, el cimientto granular está separada del terreno de fundación de suelos cohesivos por capas de arena, bases adecuadamente graduadas y mediante el tratamiento de la capa superficial de las fundaciones con cal o cemento. El criterio común es que la adición del 10% al 20% de finos arcillosos a una grava pura, reducirá la capacidad portante de la grava a la que posee la arcilla. Adicionalmente, debe estar libre para drenar a medida que se consolida bajo los esfuerzos inducidos por el tráfico y por la vía misma, mientras permite drenar el agua del terreno de fundación. Si las aberturas del geotextil son muy grandes, ocurrirá una pérdida excesiva del suelo del terreno de fundación (un problema de retención de suelos). Si las aberturas del geotextil son muy pequeñas, las partículas del suelo del terreno de fundación colmaran el geotextil y pasará muy poco agua (un problema de colmatación).

- a. **Retención del Suelo.-** La habilidad de un geotextil para detener un suelo determinado, es evaluada usando el O_{95} del geotextil y el d_{85} del suelo. El O_{95} del geotextil está definido como el diámetro de las esferas de cristal, para el cual sólo el 5% de está pasarán a través del geotextil. El criterio de retención de suelo es más simple, es el del porcentaje de finos (que pasa por el tamiz N°200) que se encuentra en le suelo, tal como se describe a continuación:

1. Suelos con finos < 50%; $O_{95} < 0.6$ mm (tamiz N°30)
2. Suelos con finos > 50%; $O_{95} < 0.3$ mm (tamiz N°50)

Unos criterios de diseño más detallados se pueden encontrar en la sección 1.6.4 del capítulo 1.

- b. **Colmatación del Suelo.**- la permeabilidad del geotextil debe ser mayor que la del suelo para permitir que el agua en exceso sea drenada. Con el tiempo la permeabilidad de un geotextil puede reducirse por la colmatación de los poros con las partículas de suelo. La colmatación potencial de un geotextil puede evaluarse en el laboratorio mediante un ensayo de relación de gradiente o mediante un ensayo de colmatación a largo plazo. Ambos ensayos usan un permeámetro donde se coloca el suelo sobre el geotextil y luego se revisan los movimientos del agua a través del sistema. El ensayo de relación de gradiente, establece el incremento de gradiente hidráulico a través del geotextil como un indicador de colmatación. El ensayo de flujo a largo plazo mide la tasa de flujo bajo una cabeza constante hasta por 100 días. Esto se requiere generalmente en vías con terreno de fundación muy blandas, de granulometría fina. En general, el potencial de colmatación es muy bajo.

2.1.6.0 Colocación del Geotextil

Preparación.

El terreno debe ser despejado, limpiado y sobreexcavado hasta un nivel de diseño, teniendo cuidado de retirar toda la capa superior del suelo, suelos blandos u otro material que no cumpla con las especificaciones. En donde se encuentren depresiones aisladas donde se requiere una sobreexcavación, deberá rellenarse o suministrarle una inclinación para facilitar un drenaje positivo. Cuando la función de refuerzo es crítica todas las grandes depresiones deben ser alineadas con el geotextil y rellenadas con un material granular.

Consideraciones en la Construcción

1. Una vez que el terreno de fundación ha sido preparado a lo largo de una alineación determinado en una vía, se desenrolla el geotextil en línea con la colocación de agregado nuevo. El tejido no debe ser arrastrado o estirado en el sentido transversal, todo el tejido debe ser colocado sobre la subrasante en la dirección del tráfico de construcción lo más uniformemente como sea posible evitando los grandes pliegues (con excepción en las curvas y esquinas).
2. El traslape mínimo se presenta en la tabla 2-1, como en los planos y especificaciones para cada diseño específico. Los rollos continuos del geotextil pueden ser

- conectados usando maquinas de coser o calentar, siempre y cuando la unión cumpla con los mínimos requerimientos de resistencia a la tensión (Grab).
3. En curvas, el geotextil debe ser doblado o cortado y traslapado en la dirección del giro. Los requerimientos mínimos de traslape deben ser cumplidos. Doblados en el geotextil deben ser grampados o asegurado con pasadores cada 12.5 cm de centro a centro.
 4. Los anchos de los tejidos deben seleccionarse para que los traslapes de los rollos paralelos ocurran en el eje o en los separadores. Los traslapes no deben colocarse a lo largo de los lugares por donde pasa la huella principal de las ruedas de los vehículos.
 5. Los traslapes en los extremos de los rollos deben hacerse en la dirección de la colocación del agregado, poniendo el extremo final del rollo colocado anteriormente sobre el extremo inicial del rollo nuevo.
 6. Cuando el tejido intercepte un área de pavimento existente, el tejido debe extenderse hasta el borde del sistema viejo y debe darse ciertas consideraciones para el anclaje del extremo del tejido.
 7. El agregado del cimientto debe colocarse sobre el agregado anteriormente colocado para prevenir la caída de las piedras directamente sobre el geotextil. Para terreno de fundación muy blandas, la altura de la estructura de la vía debe limitarse para prevenir una falla en la vía inducida por la construcción.
 8. Antes de cubrir el geotextil, debe observarse la condición de este por un ingeniero calificado, para que no haya perforaciones ni rasgaduras en el tejido. Todos estos problemas deben repararse colocando una nueva capa de geotextil extendiéndola más allá del defecto, en todas las direcciones a una distancia igual al traslape mínimo requerido para los rollos adyacentes. Adicionalmente, el tejido debe desenrollarse lo mas suavemente posible si se desea obtener refuerzo de él. Deben removerse todas las arrugas y dobleces del tejido.
 9. La primera capa de agregados debe ser descargada desde la capa anteriormente colocada hasta obtener un espesor de 30 cm. o el máximo espesor de diseño. De ninguna manera deberá permitirse el tráfico de equipos, si no existe por lo menos una capa de agregado con un espesor de 15 cm. entre las ruedas del equipo y el geotextil. Deberá limitarse el tamaño y el peso de los vehículos de construcción para que el ahuellamiento inicial sea inferior a 7.5 cm. Si la profundidad de los

- ahuellamientos excede los 7.5 cm., entonces deberá reducirse el tamaño y el peso de los equipos.
10. La primera capa deberá compactarse mediante el paso de un bulldozer y luego las capas subsecuentes deberán compactarse hasta lograr una densidad requerida. Para suelos suaves la densidad de diseño de la primera capa deberá ser un 5% inferior a la de las capas restantes, para minimizar la alteración de la subrasante. El uso de un compactador vibratorio debe ser cuidadosamente revisado en aplicaciones donde el terreno de fundación existente este compuesta por suelos saturados, no cohesivos. La licuefacción de estos suelos debido a un exceso en la presión de poros, puede originar una falla en la capacidad portante del terreno de fundación.
 11. No deben permitirse maniobras de giro del equipo de construcción sobre la primera capa de agregado colocada sobre el geotextil.
 12. Cualquier ahuellamiento que se forme durante la construcción, deberá rellenarse con agregado nuevo con el fin de mantener una profundidad adecuada para cubrir el geotextil. En ningún caso deberán ser nivelados los ahuellamientos con la cuchilla del bulldozer.
 13. Todas las capas restantes de agregado para el cimiento deberán colocarse en capas que no excedan los 22 cm. de espesor en material suelto.

2.1.7.0 Consideraciones de Costos

La estimación de la relación beneficio-costos para las vías no pavimentadas estabilizadas con geotextil, debe considerar el impacto de la resistencia del terreno de fundación; la resistencia, angulosidad y el costo del agregado de la capa superficial; y los costos futuros de mantenimiento asociados con las vías convencionales, además de aquellas estabilizadas con geotextil. Para terrenos de fundación que tengan un CBR > 3, la vía estabilizada con geotextil puede tener una base de costo inicial de relación beneficio-costos cercana a la unidad. Esto quiere decir que el costo adicional del geotextil, es muy dependiente de los costos de mantenimiento de la vía proyectada para ambos sistemas. Tales costos de mantenimiento dependen de la práctica local y de la calidad de la vía estabilizada con geotextil inicialmente construida. Aun así se ha reportado una reducción de costos por encima del 25%.

Las relaciones de benefio-costo para vías no pavimentadas reforzadas con geotextiles se incrementan a medida que la resistencia del terreno de fundación existente disminuye. Para terrenos de fundación que tengan un $CBR < 3$, deben efectuarse algunas formas de estabilización sobre el terreno de fundación. Algunas opciones convencionales de estabilización incluyen excavación y reemplazo del suelo blando, pre carga o construcción por etapas para incrementar lentamente la resistencia del terreno de fundación, la estabilización de la fundación usando cal o cemento, o simplemente un incremento en el mantenimiento periódico. El uso de un geotextil para estabilizar terrenos de fundacion de baja resistencia, proveerá unos ahorros iniciales significativos en los costos sobre estos métodos alternos.

Una consideración importante de costos en el diseño de una vía estabilizada es el impacto que la preparación del terreno de fundación y el agregado de la capa superficial tienen sobre la selección del geotextil, basados en la supervivencia durante la instalación.

Un incremento en la preparación del sitio aumenta los costos de construcción pero reduce la necesidad de geotextiles con requerimientos mayores de supervivencia. Similarmente, el uso de un material angular de suelo produce un cubrimiento más denso y más fuerte, pero incrementa la necesidad y por consiguiente el costo, ya que se necesita un geotextil más robusto. Sin embargo, el geotextil aun puede seguir actuando como separador entre el terreno de fundación y la capa granular de la vía. Esto es particularmente importante en terrenos de fundación cohesivas, donde los beneficios posibles por la inclusión de un geotextil incluyen los siguientes dos ítems.

Primero, para terrenos de fundación blandos ($CBR \leq 3$), el esfuerzo portante admisible se incrementa, o la vida útil de servicio se extiende gracias al uso de un geotextil. Segundo, el incremento en la capacidad portante puede permitir una reducción de la profundidad de excavación de suelos del terreno de fundación que no cumplen con las especificaciones y minimiza el ahuellamiento del cimiento durante la construcción. Además de la adición de un geotextil colocado entre el terreno de fundación y la capa granular, una vía recién pavimentada puede beneficiarse también de la adición de un geotextil o tejido para repavimentación en la capa superficial. Este papel es explicado con mayor detalle en la sección 2.2.

En esencia, un geotextil colocado sobre la capa superficial de una vía pavimentada se convierte en una membrana impermeable después de la impregnación con riego de liga. Esta impermeabilización puede ser un beneficio considerable, si la resistencia del terreno de fundación es altamente sensible a la humedad.

2.2.0.0 UTILIZACIÓN DE LOS GEOTEXILES EN REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS.

2.2.1.0 Sistema

El sistema de trabajo consiste básicamente en la colocación de un geotextil entre una nueva capa de rodadura (Revestimiento de Concreto Asfáltico) y la base imprimada de ligante asfáltico sobre un pavimento antiguo, convirtiéndose en parte integral de la sección de carretera, con él propósito de incorporar una membrana flexible e impermeabilizada que reduzca los esfuerzos existentes en la estructura del pavimento y retarde la propagación de las grietas producidas por flexión, figura 2-4.

2.2.2.0 Antecedentes

Uno de los campos de aplicación que ha tenido un mayor grado de desarrollo en la Ingeniería Vial, es la utilización de los geotextiles en obras tales como la rehabilitación de pavimentos. Del correcto entendimiento sobre las propiedades de este tipo de materiales, de su aplicación, instalación, funciones a desempeñar, beneficios e incluso las mismas limitaciones que poseen, en buena parte dependerá el éxito que estos puedan tener, brindando de esta forma ahorros substanciales en el mantenimiento de las obras viales que se ejecuten en nuestro país.

La prolongación de la vida útil de las vías ha sido una permanente preocupación por parte de las entidades públicas en el ámbito nacional e internacional, que se encargan de la ejecución y del posterior cuidado de estas. Los ensayos realizados sobre nuevos materiales que racionalicen de alguna manera los costos de mantenimiento que la estructura de pavimento requiere, ha traído nuevos horizontes. Con la aparición de los geosintéticos y en especial de los geotextiles, los investigadores han hecho un aporte significativo a la ingeniería, aclarando

el desempeño de estas aplicaciones específicas, como lo es en este caso, la rehabilitación de pavimentos.

A final de la década de los sesenta, en el departamento de transportes de California, Caltrans, se comienza a experimentar con los geotextiles, teniendo en cuenta que la principal función con la que estos deberían cumplir, era la de evitar la reflexión o calcado de grietas reemplazando a sistemas tradicionales tales como las bases de gradación abierta. Después de casi dos décadas de ensayos en campo, laboratorio y de estudios se logró cuantificar el beneficio de los geotextiles en los proyectos de repavimentación, estos se han venido utilizando casi rutinariamente a lo largo y ancho de la Unión Americana y Europa.

En Latinoamérica, desde hace poco más de un lustro, la utilización de los geotextiles en repavimentación se ha convertido en otra de las alternativas a los sistemas habituales constructivos utilizados en este tipo de obras, las cuales por lo general no contemplan más que la utilización de un ligante asfáltico, colocado sobre la superficie del pavimento existente de una manera poco ortodoxa. Además de la colocación del nuevo revestimiento asfáltico, que no contempla tan siquiera el uso de modificadores elastoméricos para mejorar sus propiedades.

La utilización del geotextil en estas obras ha venido unas veces en fracasos y otros éxitos rotundos, dependiendo del grado de conocimiento sobre la correcta utilización que los ejecutores hayan tenido sobre este tipo de tecnología.

2.2.3.0 Funciones del Geotextil

Si se entiende por refuerzo como la redistribución de fuerzas, debido a la inclusión de un material rígido de alta resistencia a la tensión cuyo módulo elástico sea mayor que la del material que ira a reforzar, al incluir el geotextil dentro de una estructura de pavimento, este no cumpliría con la definición de refuerzo, entonces es preferida la utilización de otro termino para definir su comportamiento en este tipo de estructuras, este es el sistema de intercapa. Estas intercapas son usadas para prevenir o reducir el calcado de las grietas, la aparición de grietas del tipo de piel de cocodrilo y los fenómenos de ahuellamiento y corrugamiento. Las dos funciones básicas que cumple el geotextil impregnado con asfalto para poder suministrar sus beneficios, son las de:

2.2.3.1 Barrera Impermeabilizadora

A pesar de que el revestimiento asfáltico ha sido sometido a un proceso de compactación y que su relación de vacíos es muy baja, hay que considerársele como un elemento permeable, a través del cual se infiltrará un gran porcentaje del agua superficial que podrá llegar a las capas granulares y al terreno de fundación, ablandando de esta manera los suelos y afectando los parámetros de resistencia y deformabilidad. Otro efecto igualmente adverso es el incremento de presión en los poros que reduce los esfuerzos efectivos del suelo, además se presentará el efecto de “prensa”, que hace disminuir la disipación de los esfuerzos producidos por cargas de tráfico a través de las capas granulares, siendo estos transmitidos directamente por el agua que se encuentra entre las partículas de suelo al terreno de fundación. Con el fin de evitar las situaciones anteriores, es necesario la colocación de una barrera impermeabilizadora que detenga el proceso de infiltración, prolongando la vida útil del pavimento, disminuyendo los costos de mantenimiento y posponiendo un nuevo proceso de repavimentación.

Tal barrera deberá estar conformada por un geotextil no-tejido especial para aplicaciones de repavimentación, que servirá como medio para albergar una cantidad necesaria de riego de liga hasta lograr su saturación, además de una cantidad adicional para permitir la adhesión del geotextil al riego de liga asfáltico inferior (superficie antigua) y al nuevo revestimiento asfáltico.

La cantidad de riego de liga a utilizar es uno de los puntos donde se debe tener un mayor cuidado. Una de las normas constructivas internacionales para repavimentación (Task Force 25, compuesta por la AASHTO, la AGC y la ARTBA) que ha tenido la mayor aceptación por parte de los ingenieros viales en todo el mundo, exige que como mínimo la cantidad de riego de liga para saturar el geotextil debe ser de 0.9 lt/m^2 , esta es una de las razones por las cuales el geotextil a usarse debe ser un no tejido punzonado por agujas, gracias a su espesor y porosidad que le permiten alojar tal cantidad de asfalto.

Se deben considerar otros factores adicionales para permitir la cantidad adecuada del riego de liga a usarse, que contempla el estado de porosidad del pavimento antiguo. Una cantidad insuficiente de riego de liga podría causar que el geotextil no se sature totalmente perdiéndose el efecto de impermeabilidad o puede que la adhesión entre el geotextil y el

pavimento antiguo no sea suficiente, originando tiempo después la aparición de pequeños baches (potholes). Una cantidad excesiva de riego de liga originará una superficie potencial de falla por deslizamiento, al igual que el conocido problema de la exudación de asfalto.

2.2.3.2 Membrana Amortiguadora de Esfuerzos

Cuando una capa de repavimentación es colocada sobre la superficie antigua, los esfuerzos inducidos por agrietamiento del pavimento antiguo, pueden ser transmitidos hacia la nueva capa de repavimentación, originando un agrietamiento por reflexión prematuro. Esto resulta del contacto entre agregados del pavimento antiguo y la nueva capa de repavimentación.

Al instalar un geotextil para repavimentación entre el revestimiento asfáltico nuevo y el antiguo ayuda a retardar el agrietamiento por reflexión, suministrando una capa flexible de espesor suficiente que absorbe parte de los esfuerzos entre la capa de pavimento antiguo y la capa de pavimento nuevo, permitiendo movimientos leves dentro de la intercapa de geotextil, sin tensionar la capa de repavimentación de revestimiento asfáltico. De esta forma se prolonga la vida de servicio de las capas repavimentadas. Los geotextiles no tejidos impregnados con asfalto tienen un módulo de elasticidad bajo y absorben las deformaciones sin transferirlas.

El geotextil para repavimentación alivia parcialmente la transferencia de esfuerzos inducidos por tráfico en la cercanía de las grietas, actuando como una capa aliviadora de esfuerzos. La capa de base se protege de los esfuerzos cortantes producidos por las cargas generadas por el tráfico y de aquí que sean toleradas deflexiones mayores. De estudios realizados se ha concluido que las 2/3 partes del alivio de esfuerzos se debe al riego de liga que satura al geotextil y el resto es por el geotextil que funciona como contenedor.

En el caso de que una estructura de pavimento asfáltico tenga un espesor mayor, mayores serán los esfuerzos de tensión en la base cuando se deflece debido a las cargas de tráfico. La mayoría de los agrietamientos en los pavimentos comienzan en la base del pavimento debido a los esfuerzos de tensión, continuando hasta la superficie. Al colocar una capa de repavimentación sin una intercapa de geotextil se está incrementando el espesor total de la estructura del pavimento, aumentándose los esfuerzos a tensión en la base del pavimento promoviendo el agrietamiento.

Cuando se coloca una intercapa con geotextil se está generando un efecto de separación, permitiendo un desplazamiento relativo entre capas. Los esfuerzos de tensión generados se podrá atribuir entonces al espesor individual de cada una de las capas, logrando disminuirlos.

Mediante la colocación de una intercapa que absorba los esfuerzos inducidos por las cargas cíclicas de tráfico, las capas de revestimiento asfáltico experimentarán menos esfuerzos desarrolladores de grietas internas que aquellas secciones que no tengan intercapas. Debido a esto la vida de fatiga de un pavimento con una intercapa de geotextil para repavimentación, será mayor que la de un pavimento que no la tenga, tal como se muestra en la figura 2-5. La resistencia a la fatiga de una capa de repavimentación dependerá de las características de la membrana amortiguadora de esfuerzos incluyendo su módulo de elasticidad, espesor y de la cantidad de modificadores del asfalto.

2.2.4.0 Efectos del Agrietamiento

Durante la vida de servicio de una estructura de pavimento, la superficie de está podrá sufrir defectos por las siguientes causas.

- Agrietamiento debido al envejecimiento de la capa de rodadura, movimientos por gradientes térmicos, movimientos relativos entre placas y por contracción. Inicialmente con la variación de temperatura se presenta la propagación inicial de las grietas y posteriormente este efecto se aumenta debido a la acción de las cargas generadas por tráfico.
- Ahuellamiento debido a una falta de capacidad para resistir deformaciones.
- Agrietamiento por fatiga debido a efectos ambientales o a una falta de capacidad portante de la estructura.

El agrietamiento reduce la resistencia estructural del pavimento y lleva aun rápido deterioro de la construcción. Para que este ocurra, primero debe haber sufrido un proceso de iniciación. Las grietas creceran como resultado de las cargas de tráfico, temperatura, deformaciones y calcado de grietas. A través de las grietas el agua penetrará a las capas granulares y al terreno de fundación, reduciendo su capacidad portante, por esto debe prevenirse la infiltración, dando como posibles el sellamiento de las grietas o en casos más

extremos la repavimentación. Para este último caso se utilizan geotextiles no tejidos impregnados con asfalto.

Agrietamientos por Fatiga

Una grieta o fisura puede iniciarse y crecer como resultado de la repetición de cargas de tráfico. Cuando una rueda pasa, la abertura se flexiona, suministrando esfuerzos de tensión en los extremos de la grieta haciéndola crecer.

Agrietamientos por Flexión

Si la capa de repavimentación se aplica sobre grietas, los movimientos horizontales en la grieta existente también causaran deformaciones horizontales en la capa de repavimentación, llevando a la continuación del crecimiento de la grieta existente en la capa de repavimentación, que se conoce como reflexión o calcado de grietas. Este agrietamiento ocurre debido a la diferencia de esfuerzos cortantes en ambos costados de la grieta. Pasa cuando una rueda pisa la grieta, cargando primero un borde de la grieta y posteriormente el otro. Para evitar o retardar el agrietamiento por reflexión y el control de infiltración a través del pavimento, existen los siguientes sistemas que pueden ser utilizados de manera individual o conjunta:

- Geotextiles para repavimentación: combinación de geotextil y asfalto, en casos donde las grietas no sean por fallas estructurales.
- Membranas de intercapa absorbedoras de esfuerzos (SAMI): capas de cierto espesor con asfalto modificado.
- Sellos de arena-asfalto y sellos de asfalto modificados: en procesos de agrietamientos incipiente.

Para escoger entre las opciones mencionadas anteriormente, es necesario llegar a una aproximación de ingeniería para cada problema específico, la cual debe incluir los siguientes ítems:

- Identificación del problema.
- Evaluación de los factores y mecanismos involucrados.
- Análisis de las posibles soluciones y sus respectivas limitaciones.

- Posibilidades en términos de la efectividad de cada solución versus los costos que acarrea.
- Análisis del proyecto y las consideraciones constructivas.

Pero aparte de esto, se debe mantener en mente que en el momento propicio para comenzar la construcción de un sistema que retarde la aparición de grietas, es indudablemente durante las primeras etapas de aparición de éstas, cuando apenas se vislumbra grietas en líneas delgadas en el pavimento. En este punto, apenas poco agua se ha infiltrado a través de la estructura como para ablandar y debilitar el suelo del terreno de fundación.

2.3.0.0 MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA INSTALACIÓN

2.3.1.0 Materiales

El principal componente del sistema es el geotextil no tejido diseñado especialmente para el uso en los proyectos de rehabilitación de pavimentos. Un lado del geotextil es fusionado por calor lo que significa que las fibras están fundidas por un lado para crear una superficie suave. Este lado fusionado por calor reduce el sangrado o exudado del riego de liga y ayuda a prevenir la fuga de calor del geotextil durante la instalación.

2.3.2.0 Almacenamiento y Manejo

Utilizar con cuidado en el manejo y almacenamiento los rollos de geotextil para reducir el daño potencial a la tela. Los rollos vienen de la fabrica con un protector plástico para proteger el geotextil de la humedad y a la exposición de la luz solar figura 2-6. Cada rollo de geotextil será envuelto con un material que protegerá del daño debido al transporte, al agua, la luz solar y contaminantes. Evitar lograr la humedad en el geotextil, ya que este puede reducir la cohesión del geotextil al pavimento. Durante el almacenamiento, los rollos de geotextil serán protegidos de derrames las cuales alteran adversamente las propiedades físicas del geotextil. La exposición prolongada a la luz solar puede originar una degradación del geotextil. Recomendamos proteger los rollos y una exposición tolerable menos de dos semanas figura 2-7.

2.3.3.0 Tráfico Temporal

El tráfico de vehículos en la construcción no dañara al geotextil. Sin embargo los conductores de camiones y equipos deben mantener velocidades lentas mientras conducen sobre el geotextil. Se debe tener cuidado al ejecutar arranques paradas o giros repentinos. Recientemente instalado el geotextil en el pavimento puede tener menor resistencia al deslizamiento que un pavimento seco, la humedad puede además reducir la resistencia al deslizamiento. El tráfico no debe ser permitido sobre el geotextil debido a las condiciones de seguridad. Si es necesario permitir el tráfico sobre el geotextil entonces la superficie debe ser arenada antes de que sea colocado el revestimiento de asfalto. La superficie del geotextil es resbaladiza cuando está húmeda. Tomar las precauciones de seguridad, incluyendo señales, la reducción de la velocidad debe tenerse en cuenta para reducir la posibilidad de un daño de deslizamiento.

2.3.4.0 Materiales del Riego de Liga

El sistema consiste en la combinación del geotextil con una capa de riego de liga asfáltica. Cada elemento depende sobre el otro para obtener un óptimo rendimiento. El geotextil proporciona durabilidad al riego de liga, de tal manera que realiza una función de impermeabilización incluso cuando se deforma.

El riego de liga es un sello de asfalto liquido caliente aplicado a la superficie del pavimento para saturar al geotextil y cohesionarlo al pavimento viejo. La calidad del riego de liga asfáltica es uno de los factores más importante en la instalación con éxito del sistema. La técnica inadecuada de colocación o el uso de un asfalto no adecuado puede originar al deslizamiento del revestimiento asfáltico en el pavimento o un rendimiento no satisfactorio de impermeabilidad. Los ligantes asfálticos de grado de pavimentación (AC, AR o grados de penetración) son preferidos para el uso como material de riego de liga. Los más usados comúnmente son AC-20 y AR-4000. La calidad verdadera del ligante asfáltico dependerá del área geográfica y la estación.

Las emulsiones asfálticas (de grados RS ó CRS) no son recomendadas, pero pueden ser usadas si es necesario. Si una emulsión debe ser usada, es importante que una suficiente cantidad sea aplicada de tal manera que el asfalto residual proporcionará una cobertura

necesaria. También permite el tiempo suficiente para el curado de la emulsión antes de la colocación del sistema. Para mayor información referirse al uso de asfaltos emulsionados proporcionado en la sección 2.6 de este capítulo.

Los asfaltos cutback (de grados RC, MC y CS) ó emulsiones que contienen destilados de aceites no deben ser usados para el riego de liga asfáltica. Estos materiales contienen solventes que pueden originar la inestabilidad del revestimiento asfáltico y por lo tanto no son adecuados para el uso del sistema.

2.3.5.0 Camión Distribuidor

La aplicación uniforme del riego de liga asfáltica es vital para asegurar que el geotextil sea saturado con el asfalto y que pueda proporcionar su beneficio completo de impermeabilidad. Se prefiere un camión distribuidor para obtener una posible tasa de aplicación más uniforme del riego de liga. Las condiciones del camión distribuidor no deben ser pasados por alto. Antes de iniciar el trabajo revisar las toberas del rociador en el camión para verificar un rociado más uniforme.

El riego de liga no debe ser aplicado con puntos gruesos, filones o boquerones. La altura de la barra y las toberas rociadoras del camión deben ser reguladas para obtener el área común y la anchura del rociador correcto (figuras 2-8, 2-9).

Si no existe en el lugar un ambiente para la movilización de un camión distribuidor, usar el rociador manual ó una barredora para colocar el riego de liga. Si el rociamiento manual o la barredora es usado para la colocación, tener bastante cuidado y atención para mantener la cantidad adecuada de la aplicación uniforme del riego de liga.

Es muy importante que la tasa de aplicación del riego de liga sea verificada. La cantidad verdadera del riego de liga en la superficie del pavimento debe ser medida, esto puede ser calculado basado en el cambio de peso del camión distribuidor, cambio en el indicador del nivel, computadora con tarjeta incorporada u otros sistemas de mediciones confiable. Antes de que dependa del sistema de medición de la tarjeta incorporada, su sensibilidad a la velocidad del camión debe ser controlada.

2.3.6.0 Equipos de Instalación

Los instaladores con experiencia del sistema tienen un tractor equipado o un tractor distribuidor diseñado para colocar el geotextil en la plataforma. El equipo debe tener acoplamientos para colocar hacia abajo y barrer el geotextil aplicando una tensión uniforme como se muestra en las figuras 2-10, 2-11.

Como cualquier pieza de equipo de construcción, el equipo de la figura 2-11, debe estar en buenas condiciones. El equipo debe tener freno de rolo en cada extremo del pescante del geotextil para impedir un desenrollamiento no controlado del geotextil. El freno de tensión del debe ser regulada equitativamente para reducir el arrugamiento del geotextil. El equipo laydown con frecuencia tendrá escobas acopladas para alisar el geotextil a medida que sea colocada. Las escobas deben estar en buenas condiciones. El equipo laydown debe tener una varilla para aplicar una tensión suave al geotextil y mantener devanado el enrollamiento en la parte superior de los bordes del geotextil. La varilla de tensión a menudo puede ser regulada, para alisar el geotextil. Los mejores resultados pueden ser obtenidos si está varilla se dobla hacia fuera así como se muestra en la figura 2-11.

Si es necesario, el sistema puede ser instalado manualmente. En este caso, insertar una tubería delgada a través del núcleo del rolo del geotextil y utilizar frenos de mano en cada extremo para aplicar la tensión al geotextil durante el procedimiento de colocación.

2.3.7.0 Equipos Misceláneos

Los siguientes equipos diversos pueden ser útiles durante la instalación del sistema:

- Tijeras, cuchillos u otros dispositivos de corte de telas.
- Una cerda rígida para empujar las escobas.
- Longitud de la tubería standard, ligeramente más corta y más delgada en diámetro que el núcleo del rolo para insertar en la parte central del núcleo cuando sea manejada el geotextil.
- Cucharón, barredora o una pequeña varilla manual para aplicar el asfalto en las uniones de las telas y en las áreas no alcanzadas por el camión distribuidor.

- Rodillo neumático para alisar el geotextil sobre el riego de liga para los chips seals, o para corregir las burbujas u otras perdidas de enlace (cohesión) entre el geotextil y el pavimento subyacente.
- Arena de concreto lavada (como se prescribe).

2.4.0.0 INSTALACIÓN DEL REVESTIMIENTO DE MEZCLA CALIENTE DE CONCRETO ASFÁLTICO.

2.4.1.0 Aplicaciones

El uso más común del sistema es colocar el geotextil como una intercapa entre el revestimiento de mezcla caliente asfáltico sobre pavimentos asfálticos o pavimentos de concreto hidráulico existentes. El sistema puede ser instalado con pavimentos nuevos asfálticos siguiendo procedimientos similares. Esta sección presenta una guía detallada para la instalación del sistema de estas aplicaciones.

2.4.2.0 Preparación de la Superficie del Pavimento Asfáltico

El primer paso en la instalación del sistema sobre pavimento asfáltico existente es la preparación del pavimento para recibir el riego de liga. Antes de iniciar el proyecto, determinar la preparación de la superficie del pavimento que debe ser requerida. Tener especial cuidado en las zonas de escasez de plataforma e indicar señales de degradaciones en la vía estructural, tal como grietas de mordaza (piel de cocodrilo) o deformaciones del pavimento. En estas zonas el ingeniero debe especificar los procedimientos para retirar o estabilizar el área del pavimento dañado.

Es importante que la superficie en el cual el sistema será colocado debe estar seca y libre de suciedad. Limpiar todas las acumulaciones de tierra, polvo, aceite, residuos de agua u otros materiales extraños del pavimento antiguo. Rellenar las grietas, según las indicaciones del ingeniero, con una carga adecuada (por ejemplo, emulsión asfáltica o asfalto emulsionado ligero mezclado con arena).

Los cambios abruptos en la superficie del pavimento como terrenos ascendentes descendentes deben ser emparejados con una capa de nivelación de concreto asfáltico. La

idea principal del riego de liga es que debe ser capaz de abarcar completamente la superficie del pavimento y preparar la superficie para el geotextil. Donde resulte superficies estriados de ranuras verticales sobre el pavimento, una capa de nivelación será requerido figura 2-12. Cuando el pavimento se encuentre sobre un montículo u otro borde abrupto, el terreno de la superficie debe ser emparejado con una capa de mezcla de asfalto usado para enrasar el exterior. Usar una mezcla fina para la capa de nivelación de modo que el riego de liga no se infiltre en los poros de la superficie.

2.4.3.0 Tratamiento de la Grieta

A. Determinación del Tipo, Cantidad y Nivel de Severidad de las Fallas del Pavimento.

Las fallas en los pavimentos contemplan los tipos que se enunciaran a continuación:

Fallas Superficiales

- Agrietamientos en bloques, longitudinal y/o transversal. Las causas principales de estas son la contracción, endurecimiento por envejecimiento y condiciones ambientales donde las temperaturas son bajas.
- “Deshilachamiento” debido a una cantidad pobre de asfalto, envejecimiento y/o a la acción abrasiva del agua y las llantas de los vehículos.
- Arrugamientos debidos al exceso de asfalto, de agua y/o presencia de agregados muy blandos en la mezcla del concreto asfáltico.

Fallas por Adhesión

- Agrietamientos por corrimiento originados principalmente por una cantidad insuficiente de riego de liga asfáltica, superficie del pavimento demasiado delgada, cargas horizontales originadas por el tráfico.

Fallas Estructurales

- Agrietamientos transversales por fatiga debido a deflexiones excesivas y/o a un diseño inadecuado de la sección.
- Ahuellamientos debidos a un contenido de humedad excesivo y/o a un diseño adecuado de la sección.

- Deformaciones severas longitudinales debidas a una falta de soporte en las bermas a la sección estructural del pavimento.

No es recomendable la utilización del geotextil en el caso de que se presente alguna de este tipo de fallas estructurales. Previamente al proceso de recuperación de la vía, deberán ejecutarse las medidas correctivas para subsanar todos los problemas que en el futuro estas pudiesen generar.

B. Reparación de las Grietas

La preparación del pavimento agrietado debe consistir en un tratamiento necesario para alcanzar una estructura de soporte uniforme, lo cual reduce los movimientos diferenciales a través de las grietas debido a las cargas vehiculares. Los resultados de una evaluación completa de la superficie del pavimento deteriorado deben ser usados como base para establecer las reparaciones necesarias.

Las grietas menores de 3 mm. de ancho no requieren alguna especial atención antes de la aplicación del riego de liga. Las grietas desde 3 mm. hasta 9 mm. deben ser llenados con un sellador liquido adecuado de modo que el riego de liga no pueda infiltrarse en el interior de la grieta. Las grietas mayores de 9 mm. deben ser llenados con un relleno para grietas más estables, tal como una mezcla de asfalto en frío o en caliente, pasta aguada de emulsión o un relleno para grietas comercialmente disponible.

Si el relleno para grietas contiene un asfalto emulsificado o un asfalto diluido (cutback), este permite el curado completamente antes de la colocación del riego de liga y del geotextil. De otro modo, el geotextil formará una membrana que pueda capturar partículas de aceite ó humedad, que se dirigen hacia la separación del geotextil desde la superficie del pavimento.

Las grietas serán llenadas al ras o ligeramente debajo de la superficie del pavimento existente. Si las grietas están sobrellenadas, de tal manera que en el relleno se forma un montón sobre la superficie del pavimento, un bache evidente sobre el pavimento puede resultar. Esto puede originar el desplazamiento del revestimiento o una fuga en exceso de asfalto, figura 2-13.

2.4.4.0 Preparación de la Superficie del Pavimento de Concreto Hidráulico.

La estabilidad inadecuada de un pavimento es una de las causas principales del agrietamiento prematuro del revestimiento con ó sin geotextil. Para una mejor performance del revestimiento, no deben haber movimientos diferenciales en las juntas del pavimento del concreto hidráulico existente.

El movimiento diferencial resultará un agrietamiento reflectivo prematuro producto de las cargas vehiculares a través de las grietas y juntas. Si no puede ser posible estabilizar las juntas adecuadamente para obtener un beneficio completo del sistema, en estos casos, se recomienda además geosintéticos-membranas compuestas para la reparación de pavimentos, el cual toleraran ligeramente más el movimiento.

Existen tres acercamientos que pueden ser usadas en la aplicación del sistema sobre pavimento de concreto hidráulico existente. La aproximación depende sobre la condición del pavimento existente y del volumen de tráfico anticipado. Para mejores resultados, una capa de nivelación de concreto asfáltico puede ser usada sobre el pavimento de concreto hidráulico.

A. Tráfico Liviano, Pavimento Estable

En zonas de bajo volumen de tráfico, ahí puede ser posible colocar el sistema directamente sobre el pavimento de concreto hidráulico existente. Para está aproximación, el volumen de tráfico debe ser aproximadamente menor de 5,000 vehículos por día con un bajo porcentaje de buses y otros vehículos pesados. Para una buena performance del revestimiento, en las juntas y grietas no deben haber movimientos diferenciales. Limpiar la superficie y llenar las grietas descritos en los pavimentos asfálticos.

Los cambios abruptos en la superficie del pavimento deben tomarse un especial cuidado, indicando las zonas inestables en la loza de concreto. Las zonas inestables deben ser estabilizadas antes que se procedan. Las zonas estables con cambios bruscos de gradiente sobre la vía estructural deben ser emparejadas y alisadas con una capa de nivelación de mezcla asfáltica.

B. Tráfico Pesado, Pavimento Estable

Donde los niveles de tráfico son relativamente altos, sin embargo el pavimento de concreto es estable, una capa de nivelación de concreto asfáltico debe ser colocado antes que sea instalado el sistema. En esta aproximación, en las juntas y grietas no deben haber movimientos diferenciales sobre el pavimento hidráulico.

La capa de nivelación debe ser 2.5 cm a 5 cm. de espesor, la mezcla de concreto asfáltico debe dejar relativamente una superficie suave después de la compactación. No utilizar mezcla gruesa, por que esto permitirá que el riego de liga se infiltre en los poros, dejando insuficiente riego de liga para saturar al geotextil, figura 2-14.

C. Pavimento Inestable

Las experiencias de técnicas de rehabilitación indican que en las grietas deben ser inyectados lechada de cemento de concreto portland, ahí donde se origina el movimiento diferencial del pavimento existente. En la aproximación de la grieta asentada, el pavimento existente se fragmenta típicamente en secciones alrededor de 1 a 2 m². La superficie fragmentada luego es laminada en el lugar con un rodillo pesado para proporcionar una superficie estable. Después de estabilizar el concreto, se coloca una capa de nivelación de mezcla caliente de asfalto. La capa de nivelación debe ser de 2.5 cm. a 5 cm. de espesor. La capa de nivelación de mezcla asfáltica no debe ser gruesa ni suelta como para permitir al riego de liga a infiltrarse en los espacios de los poros. El sistema y el revestimiento se proceden luego a la instalación.

2.4.5.0 Pavimentos Nuevos

El sistema también puede ser usado en construcciones de pavimentos asfálticos nuevos para reducir la infiltración del agua y prolongar la vida del pavimento. El geotextil debe ser colocado en la sección del pavimento aproximadamente de 1/3 a 1/2 de la vía desde la parte inferior. Allí debe ser por lo menos 4 cm. de asfalto compactado sobre el sistema. El concreto asfáltico en el cual el geotextil sea colocado, debe ser espesamente graduado en forma relativa para reducir la pérdida del riego de liga.

2.4.6.0 Cantidad y Temperatura de Riego de Liga

A. Tasa y Forma de Aplicación del Riego de Liga Asfáltico

La cantidad de riego de liga asfáltico a utilizar depende de la porosidad relativa del pavimento antiguo y del geotextil a usarse en el proceso de repavimentación, siendo estas una de las consideraciones de mayor relevancia para garantizar el correcto funcionamiento de esta membrana de intercapa viscoelastoplástica impermeable. De un trabajo presentado por Button y Lytton [1982], este propone la siguiente ecuación para la determinación de la cantidad de riego de liga asfáltico:

$$Q_d = 0.362 + Q_s + Q_c$$

Donde:

- Q_d: Cantidad de riego de liga según diseño (lt/m²).
- Q_s: Cantidad de riego de liga necesario para lograr la saturación del geotextil (lt/m²). Este dato es suministrado por el fabricante. Es importante tener en cuenta que según las recomendaciones de la Task Force 25 de la AASHTO-AGC-ARTBA, este no podrá ser inferior a los 0.9 lt/m² para lograr formar una capa absorbidora de esfuerzos, además de la adhesión entre las capas de concreto asfáltico.
- Q_c: Valor de corrección dependiendo de las condiciones de la superficie del pavimento antiguo. Oscila entre 0.05 lt/m² para superficies niveladas hasta 0.59 lt/m² para superficies porosas y oxidadas.

La constante 0.362 es un valor promedio basado en la experiencia usando geotextiles en repavimentación.

Sin embargo en varias obras los valores obtenidos de ensayos realizados en el campo son bastante menores que los obtenidos en la formula de Button. Es por esto recomendable que antes de iniciar una repavimentación, utilizando el geotextil se determine la cantidad óptima de ligante asfáltico a usarse y de esta forma evitar posibles problemas de exudación e incluso la generación de una superficie de deslizamiento. Una manera rápida y sencilla es mediante la imprimación de un área determinada que se sugiere sea 1.0 m por 1.0 m, con diferentes cantidades de ligante, teniendo en cuenta que su regadio sobre la superficie debe ser

uniforme. Una vez la temperatura del ligante ha alcanzado una temperatura de 115°C, se produce a colocar un pedazo de geotextil con un área igual a la de prueba, y se fija sobre el ligante verificando que no queden arrugas. Una manera de ver si la cantidad del ligante es la adecuada es intentando desprender manualmente el geotextil de la superficie, si esto no se logra al pisar el geotextil se ve como este empieza a absorber el ligante y mediante está presión este pasa hasta la cara superior, se puede pensar que ha llegado al punto óptimo para la tasa de imprimación con ligante asfáltico. Si trabaja con emulsiones deberá esperarse a que está haya roto y que el agua se haya evaporado.

Usualmente la tasa de aplicación para el ligante asfáltico oscilan entre 0.9 a 1.2 lt/m², incluida la cantidad necesaria para garantizar la adhesión del conjunto geotextil-asfalto al concreto asfáltico. Bajo una tasa de aplicación inferior a los 0.7 lt/m² usada únicamente para la saturación del geotextil, se ha podido comprobar que el efecto de barrera impermeabilizadora se vuelve despreciable.

Las técnicas de imprimación requieren de los equipos a usarse que coloquen el ligante a una tasa uniforme, siendo conveniente el uso de los equipos mecánicos, tales como los tanques o camiones irrigadores para este fin. Sin embargo de las experiencias nacionales se ha podido demostrar que a pesar de utilizar un método tan primitivo, como lo es el del tarro con perforaciones en su cara inferior, llena de asfalto liquido, “duchando” la superficie de la vía, se puede lograr una aplicación adecuada del ligante, teniendo en cuenta que está debe ser homogénea y uniforme y que la tasa de aplicación cumpla con los requerimientos mínimos para lograr una correcta adhesión y evitar fallas por deslizamiento, corrimiento, o exudación. Otro factor importante es el control de temperatura, pues se ha visto en varios casos una degradación del ligante que llega a cristalizarse, perdiéndose así al saturar al geotextil, su función de membrana viscoelastoplástica y no logrando un beneficio total.

El volumen de riego de liga puede ser manejado usando un sistema de calibración mecánico o visual en los registros de peso del camión que puede ser usados para verificar la tasa de aplicación.

Antes de la aplicación del riego de liga, es importante verificar la operación adecuada del camión distribuidor. El camión distribuidor debe tener un rociador de base uniforme. Una acumulación de base se puede originar donde empieza y termina la faena del camión

distribuidor. La acumulación excesiva del riego de liga puede originar al desplazamiento y ahuellamiento del revestimiento de asfalto. Por lo tanto, en el arranque y parada del camión distribuidor deben mantenerse a un mínimo y las barredoras deben ser usados para dispersar cualquier base acumulada.

El tráfico de la construcción debe mantenerse fuera del riego de liga antes que sea colocado el sistema. El tráfico puede acelerar al riego de liga, dejando insuficiente riego de liga para la saturación del geotextil y cohesionarlo al pavimento y al nuevo revestimiento de asfalto, figura 2-15.

B. Temperatura del Riego de Liga

Los dos polímeros de uso más frecuente en la fabricación de los geotextiles para repavimentación son el polipropileno y el poliéster. Las diferencias básicas entre los dos radican en el precio de la materia prima, en el punto de fusión y los posibles problemas por contracción que estos puedan sufrir.

Partiendo de estudios realizados por Caltrans, el departamento de transporte Texas y el condado de Los Angeles, advirtió que los geotextiles de polipropileno sufren por contracción cuando las temperaturas normales del ligante asfáltico se encuentran por encima de los 120°C, mientras los de poliéster no sufren ya que su punto de contracción está por encima de los 204°C. Siendo temperaturas normales del ligante asfáltico en la repavimentación de 120°C a 160°C, se debe verificar que la temperatura a la cual se colocará el geotextil no exceda los 115°C, garantizando de esta manera que la contracción del geotextil no exceda los 15 cm por rollo (valor mínimo recomendado). Para evitar los posibles problemas que se puedan presentar en los geotextiles por temperatura, la Task Force 25 recomienda que el punto de fusión sea como mínimo de 150°C.

C. Temperatura Ambiente

Las agencias locales y del estado tienen especificaciones para una temperatura mínima para la colocación de los ligantes asfálticos y mezcla calientes, y deben seguirse las especificaciones indicadas. En la ausencia de semejantes especificaciones, las siguientes serán tomadas en cuenta. Para materiales del riego de liga asfáltico de grado pavimentación,

la temperatura ambiente debe ser lo suficientemente caluroso para dejar la base adecuada de viscosidad para mantener el geotextil en su lugar. Esta temperatura variará para diferentes tipos de asfalto. Como método práctico, la temperatura debe ser como mínimo de 10°C o más.

2.4.7.0 Colocación y Fijación de La Tela de Pavimentación

Temperatura.

La temperatura del riego de liga en el tiempo que el sistema sea colocado en la superficie no debe ser mayor que 160°C. El riego de liga con temperatura baja rápidamente hace contacto con la superficie del pavimento, de modo que esto no se toma en consideración generalmente.

Cuando se usa riego de liga asfáltico de grado de pavimentación, el sistema normalmente puede ser colocado con mucho cuidado siguiendo el camión distribuidor. Colocar el geotextil mientras que el riego de liga incluso es lo suficientemente pegajoso para sostener la tela en su lugar. El geotextil puede ser colocado después que el riego de liga haya perdido su pegamento pero un laminado neumático es necesario para mantener el material en su lugar. El calor del revestimiento entonces suavizará y absorberá la base de asfalto superior del geotextil. En tiempos muy caliente (más de 38°C) permite la ayuda de la imprimación del riego de liga de asfalto hacia adelante antes que sea colocado el geotextil, mientras que en tiempo de frío, el geotextil será colocada inmediatamente sobre el riego de liga.

Colocación del Geotextil-Mecánico

El geotextil tiene un lado cubierto de pelusa y un lado relativamente liso fusionado por calor. Instalar el geotextil con el lado cubierto de pelusa hacia abajo sobre el riego de liga y con el lado liso hacia arriba, mientras que el riego de liga todavía está pegajoso. La clave del éxito de la aplicación del geotextil depende del operador. La conducción del vehículo en línea recta asegura la instalación sin arrugamientos. Para mayor facilidad en la instalación, el geotextil es laminado por el lado cubierto de pelusa de modo que fácilmente puede ser instalado cuando se usa el equipo de colocación laydown.

Una tubería ligeramente más pequeña en diámetro y longitud puede ser insertado en el núcleo del rollo. Esta resistencia adicional ayuda a resistir el pandeo del núcleo, especialmente si el núcleo fue accidentalmente quebrado durante el manejo. Inicialmente, se sostiene el geotextil en el punto de inicio, y se desenrolla aproximadamente de 6m. a 15m. el geotextil sobre el riego de liga. El material debe ser revestido con ligante y luego instalado suavemente como sea posible. Durante la colocación, los giros del equipo laydown deben ser ejecutados gradualmente para reducir el arrugamiento del geotextil. Evitar el deslizamiento del equipo sobre el geotextil antes que el revestimiento sea colocado. Esto puede causar pliegues en el geotextil y en casos extremos puede rasgarse el geotextil. Los frenos del rollo del geotextil deben ser regulados uniformemente. Los frenos pobremente regulados pueden resultar una tensión desigual en el geotextil, que puede causar arrugamientos durante la colocación.

El geotextil puede ser instalado en pendientes hasta aproximadamente 8%. En pendientes mayores, esto puede ser dificultoso al compactar el revestimiento de asfalto sin deslizamiento. Tomar precauciones extras cuando se maneja el equipo de instalación en pendientes mayores.

Colocación del Geotextil-Manual

Cuando se instala el geotextil manualmente, mantener la tensión constante en el geotextil para reducir el arrugamiento. No realizar descansos con los rollos de geotextil en la pavimentación. Esto no proporcionará una tensión adecuada en el geotextil y se colocará incorrectamente en la superficie con el lado fusionado por calor hacia abajo sobre el riego de liga. El geotextil será barrida desde el centro hacia afuera, para alisar el geotextil sobre el riego de liga. Cuando se coloca el geotextil manualmente, el riego de liga se puede haber enfriado de tal modo que el geotextil no se adhiere bien. Bajo estas circunstancias, puede ser útil en la instalación del geotextil un rodillo neumático para promover la adhesión al pavimento.

Tratamiento de las Arrugas que se Puedan Formar

Otra de las consideraciones críticas, es la instalación correcta del geotextil sobre la superficie de la vía impregnada con ligante asfáltico, evitando al máximo la formación de arrugas ya

que estas no permitirán que la absorción del asfáltico líquido sea suficiente para la formación de la barrera impermeable, reduciendo los beneficios a largo plazo de esta membrana de intercapa.

La instalación del rollo del geotextil puede ser realizada manual o mecánicamente, existiendo equipos patentados para la colocación de los rollos. En nuestro medio la instalación se ha venido haciendo manualmente, siendo necesaria una cuadrilla de tres personas (dos manteniendo la alineación del rollo y desenrollando y otra persona cepillando sobre el geotextil, eliminando al máximo las arrugas), sin necesidad de ser mano de obra calificada.

Los cuidados principales para el tratamiento de las arrugas incluyen lo siguientes:

- Las arrugas y dobleces de más de 25 mm deberán rasgarse y aplanarse siempre en el sentido del avance de los equipos utilizados en la repavimentación, para evitar levantamientos.
- En el caso de que la arruga o doblez sobrepase los 50 mm, este exceso deberá ser eliminado.
- Las arrugas traslapadas en el geotextil deberán contemplar el uso de ligante adicional para saturar las dos capas de geotextil y formar una liga, evitando posibles zonas de deslizamiento.

2.4.8.0 Juntas y Recubrimientos

El riego de liga debe ser aplicado en todos los recubrimientos. En las juntas, el recubrimiento de la tela debe ser 2.5 a 7.5 cm. Las juntas extremas deben ser formadas para cubrir o “shingle” los puntos de agua en la dirección que el revestimiento asfáltico del pavimento que será colocado. Los rollos adyacentes también deben cubrir de 2.5 a 7.5cm. Los recubrimientos de los rollos adyacentes pueden ser mayores de 7.5 cm. en algunos casos, dependiendo del ancho de la carretera. Sin embargo los rollos adyacentes no deben tener un recubrimiento mayor de 15 cm. No revestir sobre juntas o recubrimientos que no tengan riego de liga en los traslapes entre los geotextiles de recubrimiento. Debe tomarse cuidado para limitar el exceso de base o emulsión más allá del recubrimiento, figura 2-16.

2.4.9 Drenajes, Juntas de Expansión

En drenajes, juntas de expansión u otras penetraciones, el geotextil puede ser colocado sobre la abertura. Después que el geotextil se coloque en su lugar, cortar el exceso de tela alrededor de la parte interna de la abertura.

CURVAS. Las curvas agudas que se pueden encontrar y que no permitirá la colocación mecánica del geotextil sin arrugamientos. En esta condición puede ser recomendable cortar pedazos de geotextil alrededor de la curva. Las juntas en este procedimiento deben ser tratadas así como con los otros recubrimientos mencionados anteriormente, figura 2-17.

2.4.10 Colocación del Revestimiento Asfáltico

El revestimiento asfáltico podrá ser colocado inmediatamente después de haber sido instalado el geotextil. No es necesario el tiempo de curado cuando se usa riego de liga asfáltico de grado de pavimentación, y no hay necesidad para la aplicación adicional del ligante antes de la pavimentación. La instalación del sistema por un equipo experimentado permanecerá correctamente colocada durante la operación de la pavimentación. Sin embargo, el geotextil no debe ser colocado en mayor extensión que será cubierto el mismo día por el personal de pavimentación. En el caso de querer hacer grandes avances en la instalación del geotextil es necesario prever que no lloverá en la zona. Esta es la única condición que pudiera llegar a afectar el avance de la obra.

La temperatura máxima para la mezcla caliente generalmente será ordenada por las agencias locales o del estado. En la ausencia de tal especificación, la temperatura máxima permitida no debe exceder 160°C en el momento de la colocación.

Espesor Mínimo del Revestimiento Asfáltico

El revestimiento de concreto asfáltico debe ser diseñado basado en la condición del pavimento y el tráfico anticipado. Se considera al igual que en cualquier procedimiento de revestimiento que el espesor mínimo constructivo de la nueva capa debe ser por lo menos de 30 mm para pavimentos asfálticos y de 40 mm para pavimentos de concreto hidráulico.

2.4.0.0 INSTALACIÓN DEL SISTEMA TELA DE PAVIMENTACIÓN/CHIP SEAL (Sellado de Ripios)

2.5.1.0 Aplicación.

El geotextil puede ser usado con un sellado de ripios (chip seal) como una solución del mantenimiento en el costo-efectivo para pavimentos de bajo-volumen. El sistema geotextil/chip seal consiste en agregados enripiados embebidos en un aglomerante de asfalto y colocado sobre un geotextil saturado de asfalto. El geotextil proporciona un excelente asiento para los ripios y forma una continua membrana resistente al agua de larga duración. La diferencia principal entre esta aplicación y el uso con el revestimiento asfáltico de mezcla caliente es que el procedimiento de sellado de ripios no genera suficiente calor para aspirar el riego de liga superior dentro del geotextil. Las medidas adicionales, tales como el laminado del geotextil y la colocación de una segunda capa de riego de liga, son usados para saturar completamente el geotextil.

2.5.2.0 Preparación de la Superficie

La preparación de la superficie para el revestimiento de sellado de ripios sigue el procedimiento dado en la sección 2.4.2 para revestimiento de mezcla caliente. La superficie en el cual el geotextil será colocado debe estar libre de suciedad, residuos de agua, aceite y piedras sueltas. Una escoba mecánica puede ser útil en la preparación de la superficie de carretera. Las áreas que muestran señales de escasez de plataforma en la vía deben ser reparadas.

Las grietas mayores de 3 mm. deben ser selladas con un líquido sellador para grietas. Donde las grietas presentan mayores de 9 mm. se necesita un sellador de grietas más estable que debe ser usado con una mezcla de asfalto en frío o caliente o un sellador de grieta comercial.

2.5.3.0 Colocación del Riego de Liga

Para esta aplicación puede utilizar un riego de liga asfáltico de grado de pavimentación, o un asfalto emulsificado. Sin embargo, un ligante de asfalto puro es recomendado en lugar de la

emulsión. El ligante debe proporcionar suficiente asfalto para saturar la tela y adherirla a la superficie del pavimento existente y a la nueva superficie en tratamiento.

El uso del riego de liga asfáltica de grado de pavimentación seguirá las mismas orientaciones dadas en la sección 2.4.6. Bajo condiciones normales la tasa de aplicación del riego de liga para el geotextil debe ser 1.13 lt/m^2 de un ligante asfáltico de grado pavimentación. Una cantidad mayor de riego de liga se necesita para las superficies porosas y rugosas. Típicamente se necesita menos riego de liga, cuando se coloca el geotextil sobre una superficie lisa. Un instalador experimentado del geotextil puede evaluar los requerimientos del proyecto y regular la tasa de aplicación necesaria. La tasa de aplicación del riego de liga debe estar dentro del rango de 0.90 a 1.36 lt/m^2 de asfalto residual.

Cuando es usada una emulsión, la tasa de aplicación debe ser incrementada para permitir la evaporación completa del agua y aditivos en el asfalto emulsificado. La cobertura de asfalto residual, después del curado, debe ser 1.13 lt/m^2 .

El tiempo de curado del asfalto emulsificado puede llegar a ser crítico. La longitud del tiempo requerido para evaporar todo el agua y aditivos es altamente dependiente del tipo de emulsión y las condiciones del tiempo. Los detalles adicionales para el uso de los asfaltos emulsificados se dan en la sección 2.6. El riego de liga asfáltico de grado pavimentación debe ser colocada en temperaturas de 140°C a 160°C . Las capas ligantes de asfalto emulsionado deben ser aplicados a temperatura bajo 70°C .

Colocación del Geotextil

El geotextil debe ser colocada suavemente sobre el riego de liga y sin arrugamientos. Colocar el lado cubierto de pelusa del geotextil hacia abajo. Con el lado liso hacia arriba, la recuperación del geotextil por el equipo de construcción es limitada. Los frenos del rollo del geotextil deben ser regulados para proporcionar una tensión uniforme. Los frenos pobremente regulados pueden causar arrugamientos en el geotextil. Los giros del equipo de instalación deben ser ejecutados gradualmente para evitar arrugamientos.

Los recubrimientos del geotextil deben mantenerse a un mínimo cuando es usado con pavimentos sellado de ripios. El riego de liga deberá ser aplicado entre todos los

recubrimientos. En las juntas, el recubrimiento del geotextil debe ser 2.5 a 7.5 cm. Los rollos adyacentes también deben cubrir 2.5 a 7.5 cm. Los recubrimientos de rollos adyacentes pueden ser mayores de 7.5 cm. en algunos casos, dependiendo el ancho de la carretera. Sin embargo los rollos adyacentes no deben tener un recubrimiento más de 15 cm. No aplicar tratamiento de sellado de ripios en las juntas o recubrimiento que no tengan riego de liga entre las telas de recubrimiento. Se debe tener cuidado en el rociado excesivo de base o emulsión más allá del recubrimiento.

2.5.4.0 Lijadura y Laminado

Los pavimentos sellado de ripios requieren lijadura y laminado después que el geotextil ha sido colocado. Una capa uniforme de arena es aplicada en el geotextil a razón 2.2 a 3.2 kg/m². La tela arenada es profundamente laminado usando un rodillo neumático. Este paso es importante para garantizar una fuerte cohesión entre el geotextil y el pavimento en las juntas de recubrimiento. Durante la operación de laminación, el riego de liga debe ser observado la subida inesperadamente desde abajo y saturar el geotextil, cambiando el color de la tela desde gris hasta un color marrón oscuro o negro.

2.5.5.0 Colocación Chip Seal (sellado de ripios)

El siguiente paso es terminar de barrer cualquier acumulación de arena o residuos. Antes de la aplicación del sellado de ripios (chip seal), revisar el geotextil para verificar que sea adherido en el pavimento y que los recubrimientos sean fuertemente enlazadas. Aplicar adicionalmente base a cualquier recubrimiento flojo y volver a laminar tanto como sea necesario para saturar el recubrimiento y lograr un buen enlace. El sellado de ripios luego es colocado siguiendo los procedimientos dictados por las agencias locales o del estado. Generalmente esto implica una base de asfalto emulsificado en el cual los cascajos de piedra es inmediatamente colocado y asegurado por laminación. En áreas donde el geotextil aparece estar seco o no saturado completamente, la aplicación de riego de liga en el sellado de ripios debe ser incrementado aproximadamente 0.45 lt/m². No utilizar asfaltos diluidos (cutback) para el sobre rociado. Finalmente laminar la superficie para estabilizar los ripios e incrustarlos en el riego de liga. Un rodillo neumático se usa con frecuencia para reducir la fracturación de los ripios.

2.6.0.0 CONSIDERACIONES ESPECIALES

2.6.1.0 Asfalto Emulsionado

El riego de liga de cemento asfáltico de grado pavimentación es preferido para el uso en el sistema. El riego de liga de asfalto emulsionado puede ser usado con el sistema, sin embargo existen varias empresas relacionadas que hacen a las emulsiones difíciles a usar. Estos incluyen relativamente un tiempo de curación largo requerido para las emulsiones y un mayor volumen de riego de liga que debe ser aplicado.

Los asfaltos emulsionados son una mezcla de asfalto y agua. El contenido de asfalto puede ser solamente 50% a 70% de la emulsión total. Las emulsiones deberán ser aplicadas con una tasa alta para asegurar una cobertura de asfalto residual requerido después que el agua se ha evaporado, por ejemplo:

1. La emulsión tiene 60% por contenido de asfalto
2. Un riego de liga con una cobertura de asfalto residual se requiere de 1.13 lt/m^2 .
3. La tasa de aplicación de la emulsión requerida $= 1.13/2.71 = 0.42 \text{ lt/m}^2$.

Las emulsiones fluyen relativamente libre en altas tasas de aplicación. Ellos tenderán a escurrirse comparativamente lento en pavimentos no uniformes, dejando nada de asfalto sobre los puntos altos y un exceso de asfalto en lugares bajos.

El tiempo de curado para el riego de liga de asfalto emulsionado puede llegar a ser crítico. El tiempo debe ser suficiente para permitir la evaporación de todo el agua y algunos aditivos. La longitud del tiempo necesario depende del tipo de emulsión, si es de colocación rápida (RS, CRS), colocación mediana (MS, CMS), colocación lenta (SS, CSS). Las condiciones del tiempo de curado afectan también significativamente. Las emulsiones medianas y de colocación pausado (MS, CMS, SS, CSS) requieren un tiempo más prolongado en el curado, la cual se hace impracticable para el uso con el geotextil. La tabla 2-2 proporciona orientaciones en el tiempo de curado para emulsiones de colocación rápidas.

Cuando se ha curado, la superficie será pegajosa, y el color habrá cambiado desde una matriz marrón inicial hasta un negro brillante. En tiempos de vientos fuertes, puede curarse la superficie de riego de liga de asfalto emulsionado sin que se haya completado el curado del

espesor. Antes de la instalación del geotextil, revisar cuidadosamente que la emulsión ha sido curada totalmente y no justo sobre lo revestido.

2.6.2.0 Temperatura

Cuando se usa riego de liga de asfalto emulsionado, la temperatura ambiente debe ser 16°C o más. La temperatura en frío prolonga el tiempo de curado del riego de liga. La temperatura misma de la emulsión de asfalto no debe ser mayor de 70°C.

2.6.3.0 Condiciones de Humedad

Existe siempre un riesgo de enlace de baja calidad dentro del sistema de pavimento si se presenta la humedad durante la construcción. Esto también sucede cuando son usadas los geotextiles. Por lo tanto, se recomienda que la superficie del pavimento existente, el riego de liga y el geotextil sean secada completamente durante la construcción.

Si la superficie del pavimento está húmeda cuando se coloca el riego de liga, entonces no puede enlazarse adecuadamente al pavimento existente, siguiendo una instalación no satisfactoria. No se recomienda la colocación del riego de liga de asfalto sobre una superficie de pavimento húmedo.

Si la superficie del riego de liga llega a estar húmeda antes que sea colocado el geotextil, la barredora absorberá el agua que sale a la superficie y permite que la superficie sea secada antes de la colocación del geotextil. La laminación del geotextil con un rodillo neumático puede ser requerida para mejorar la adhesión. El geotextil no debe ser colocado en el riego de liga húmeda.

Se recomienda también que el geotextil sea completamente secado antes de la colocación del revestimiento. Sin embargo, si el geotextil esta un poco húmedo al contacto, un revestimiento puede ser colocado. Si el agua libre puede ser comprimida desde el geotextil o está lleno de sudor en la superficie, una barredora o una escoba puede ser usada para forzar que el agua salga del geotextil para ayudar a acelerar el proceso de secado. La lluvia algunas veces provocará una apariencia en forma de burbuja en la superficie del geotextil. Si esto

ocurre, el geotextil debe ser laminada hacia abajo con un rodillo neumático compactador antes que sea colocado el revestimiento.

2.6.4.0 Reciclaje de Pavimentos

Si los pavimentos contienen geotextiles son para ser reciclados, recomendamos que la maquina de fresado o molienda no corte lo suficientemente hondo para penetrar en el sistema, de modo que el impermeable, la intercapa aliviadora-esfuerzos permanezca intacta. Si un pavimento contiene geotextil debe ser reciclada, los estudios de campo han mostrado que las técnicas estándar de fresado en frío pueden ser usado en la operación de reciclaje. El rendimiento satisfactorio ha sido obtenido en proporciones superiores de hasta 70% de pavimento reciclado a 30% de mezcla caliente virgen.

GRAFICOS Y TABLAS

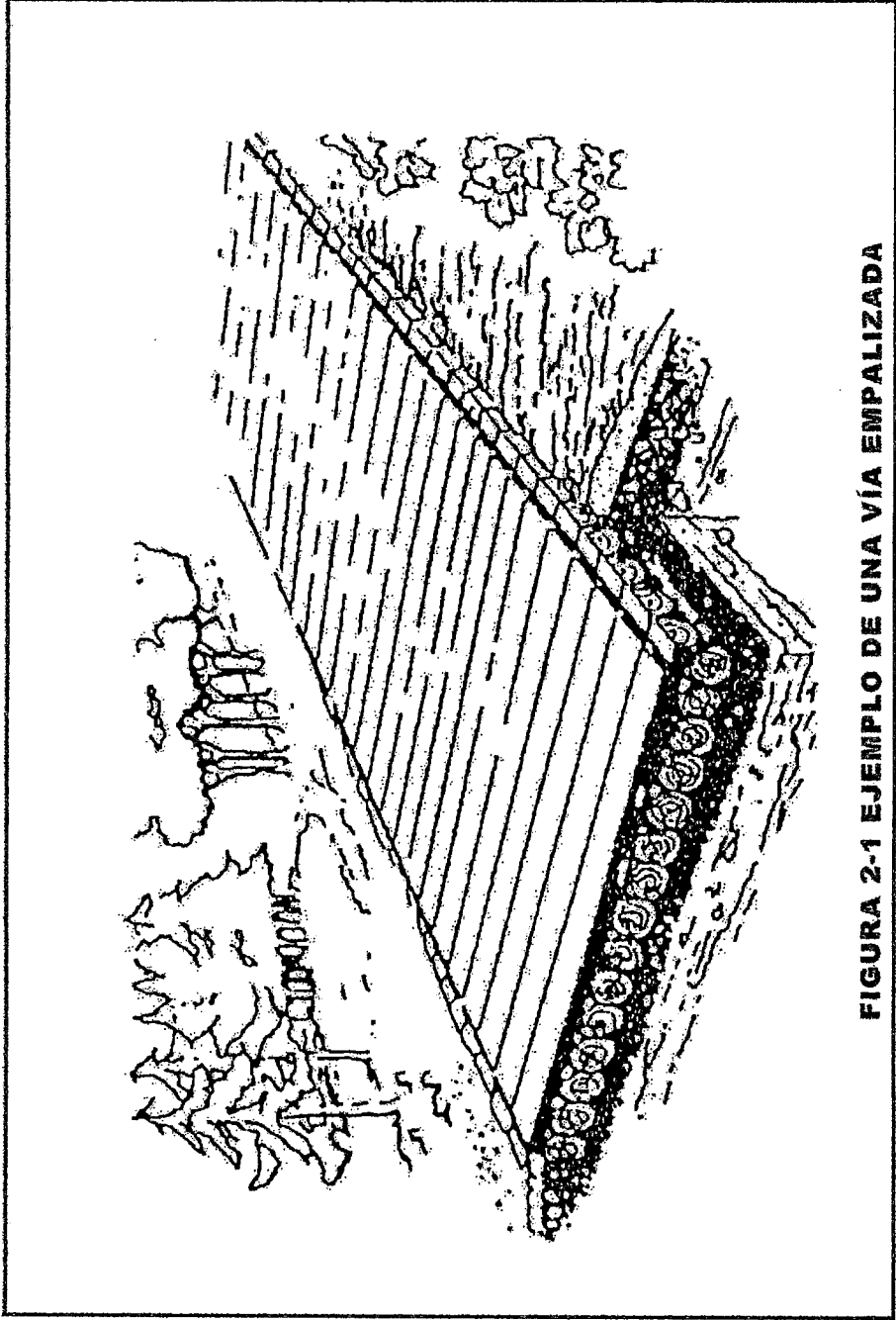


FIGURA 2-1 EJEMPLO DE UNA VÍA EMPALIZADA

TABLA 2-1 TRASLAPES MÍNIMOS

CBR	TRASLAPES MÍNIMOS
Mayor que 3	24 pulg (60 cm)
2 a 3	30 pulg (75 cm)
1 a 2	39 pulg (1.0 m aprox.)
Menor que 1.0	Se necesita costura

Debe tenerse cuidado para mantener el alineamiento de los traslapes durante las actividades de construcción.

**TABLA 2-2 TIEMPO DE CURADO PARA EMULSIONES
ASFALTICAS COLOCACION-RAPIDA (RS & CSR)**

TEMPERATURA AMBIENTE	HUMEDAD		
	Seco	Moderado	Húmedo
16 °C	2 hrs.	3 hrs.	4 hrs.
24°C	1 hr.	2 hrs.	3 hrs.
32°C	0.5 hr.	1 hr.	2 hrs.

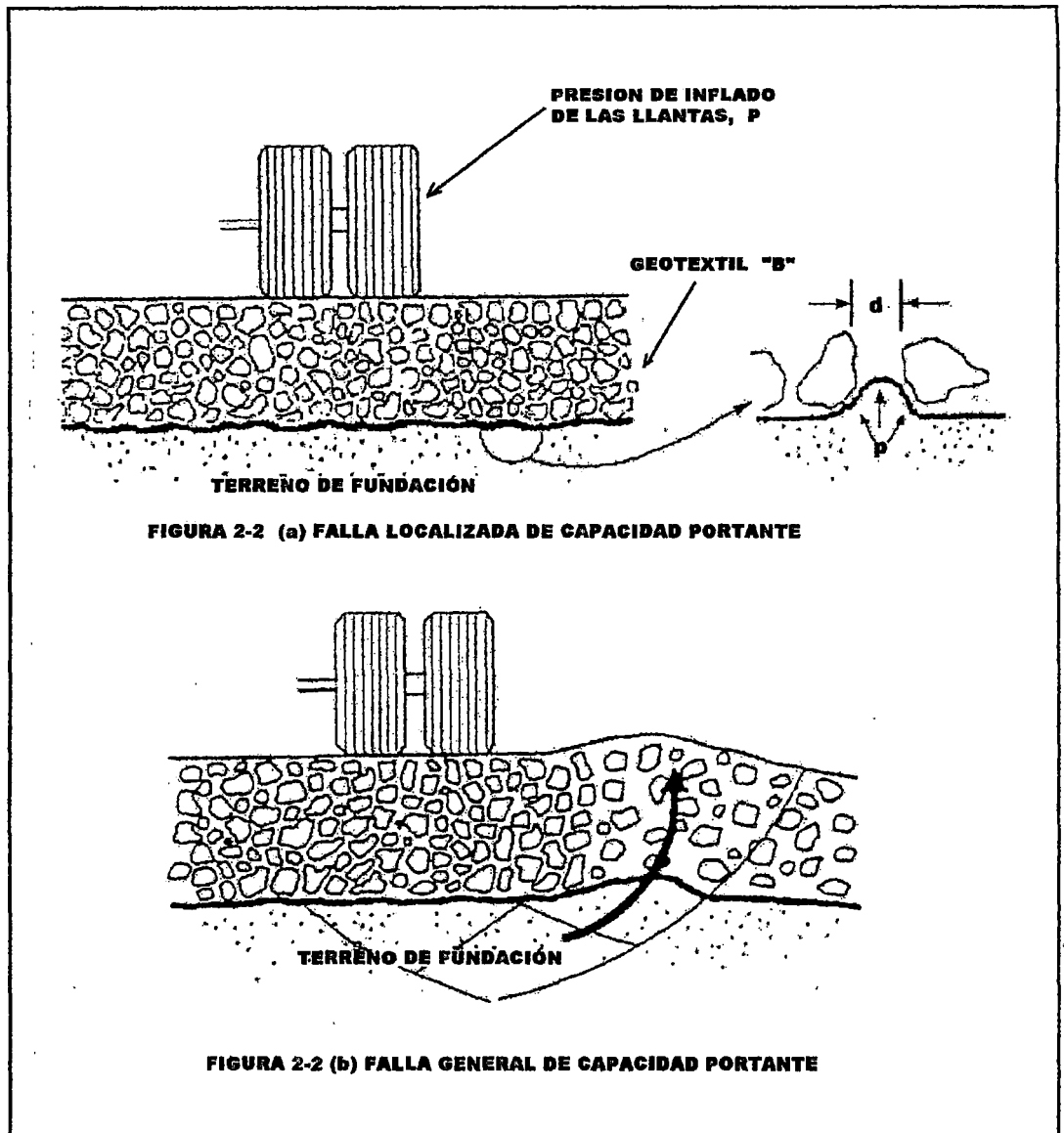


FIGURA 2-2 (a) FALLA LOCALIZADA DE CAPACIDAD PORTANTE

FIGURA 2-2 (b) FALLA GENERAL DE CAPACIDAD PORTANTE

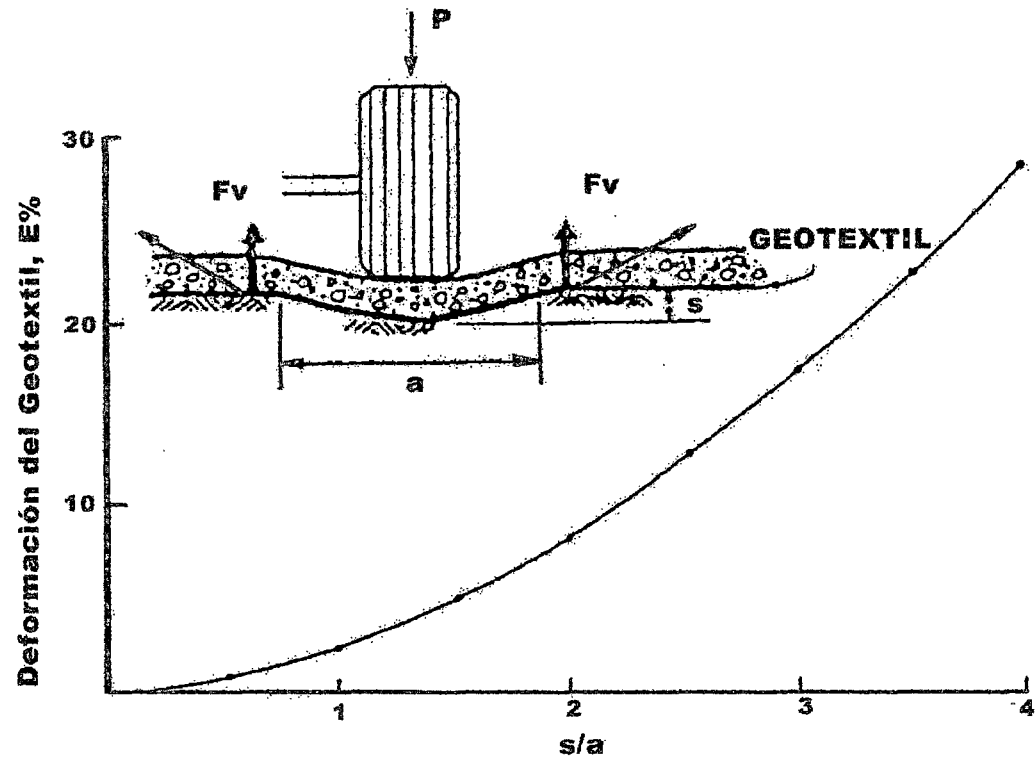
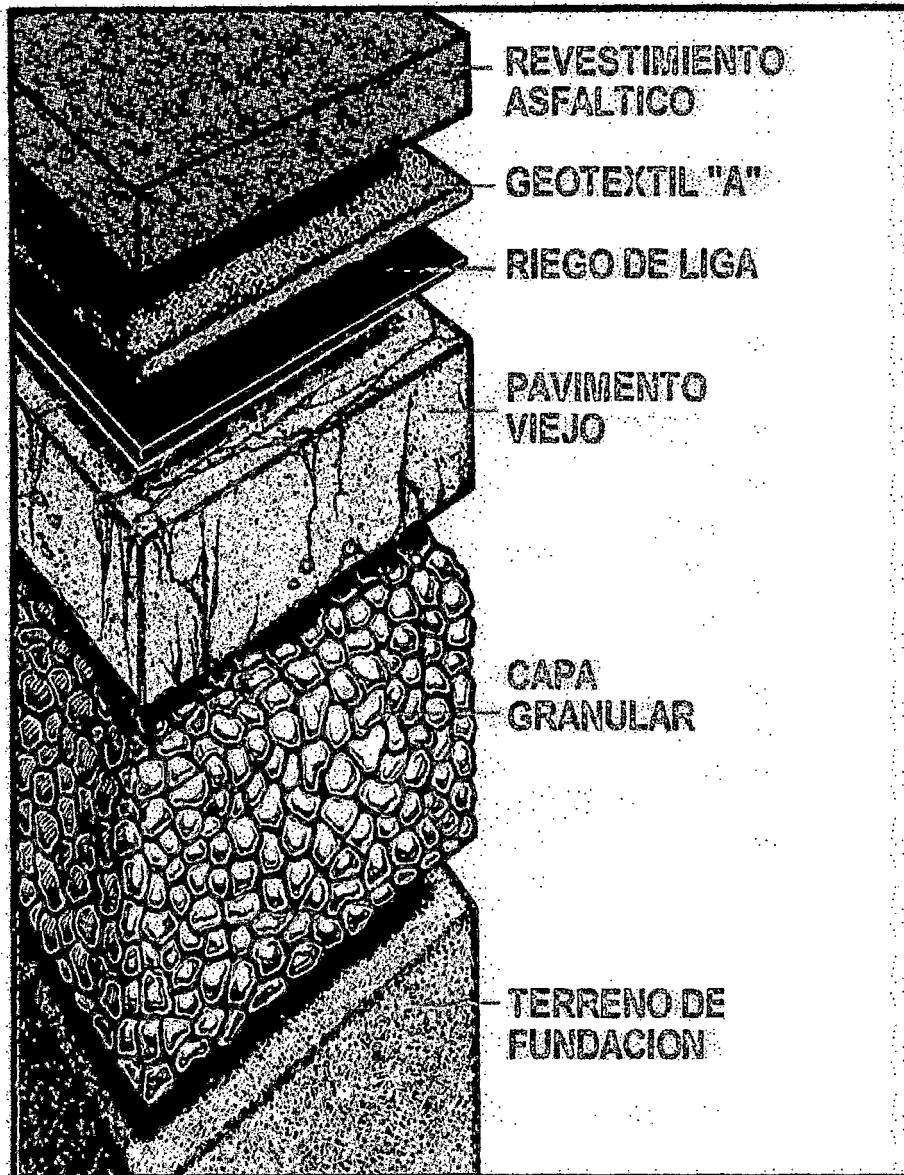
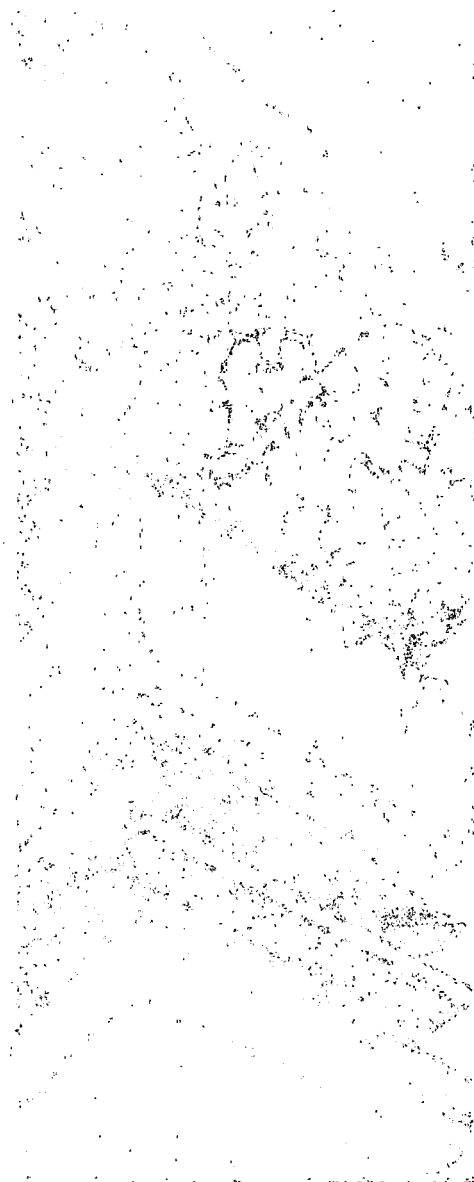


FIGURA 2-3 EFECTO DE MEMBRANA TENSIONADA (Giroud-1981)

FIGURA 2-4 LOS GEOTEXILES AYUDAN A ELIMINAR LA S CAUSAS COMUNES DE ROTURAS EN CUALQUIERA APLICACION DE PAVIMENTACION, AÑADIENDO AÑOS A LA VIDA DEL PAVIMENTO Y REDUCIENDO LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO A LARGO PLAZO.





RECEIVED
MAY 19 1964

247 1964
C11

RECEIVED
MAY 19 1964

RECEIVED
MAY 19 1964

RECEIVED
MAY 19 1964

RECEIVED
MAY 19 1964

THE UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY
540 EAST 57TH STREET
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: 773-936-3700

FIGURA 2-5 RESPUESTA A LA FATIGA DE LA CAPA DE REPAVIMENTACIÓN ASFÁLTICA

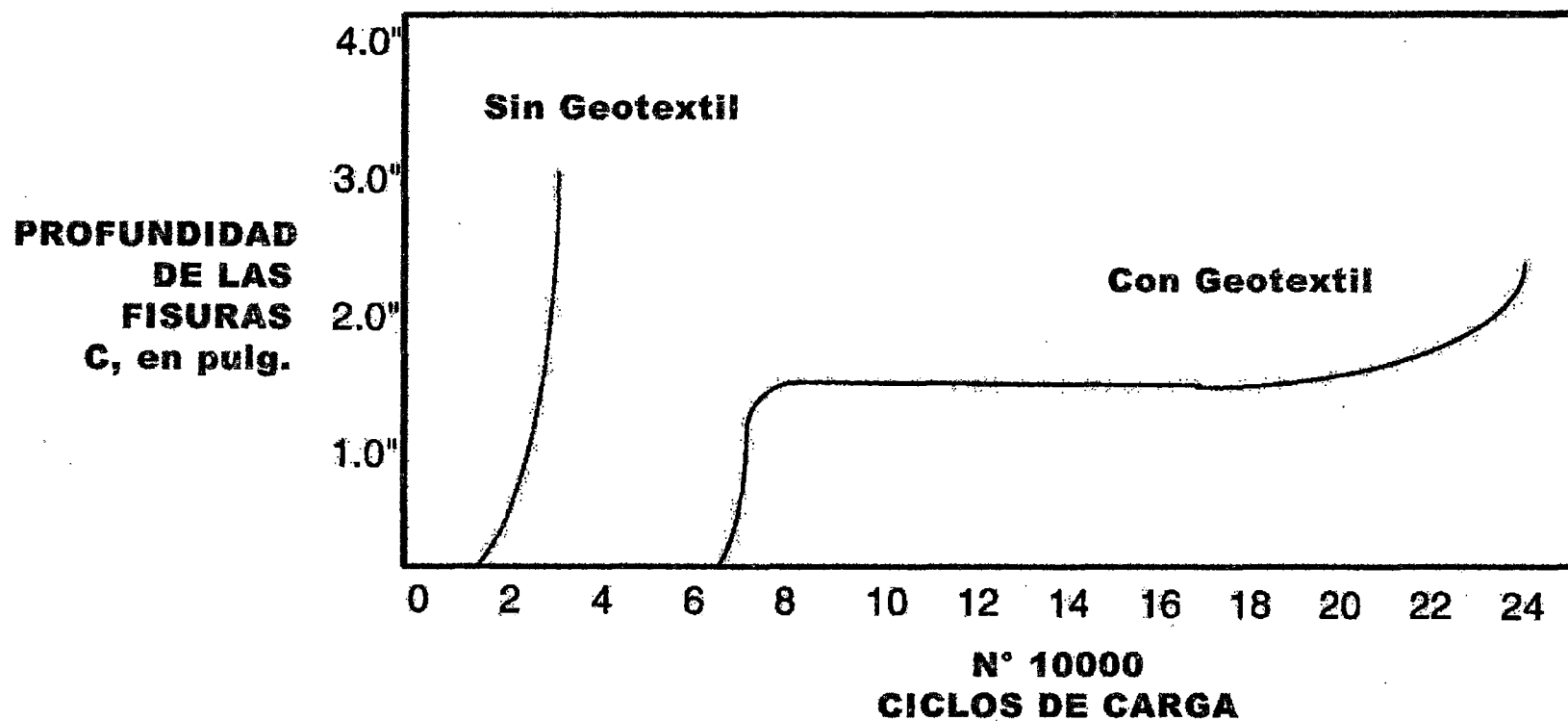


FIGURA 2-6 PRESENTACION DEL GEOTEXTIL

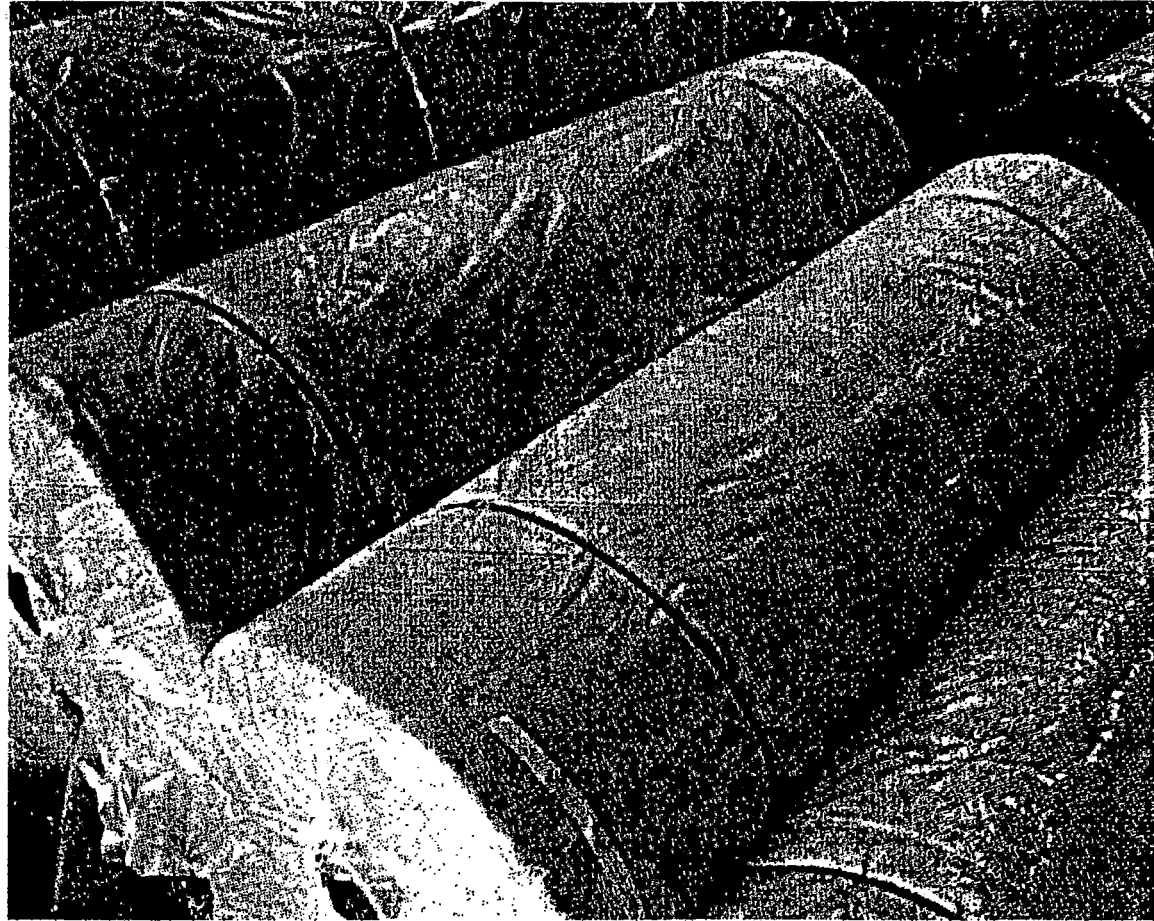




FIGURA 2-7 SE MUESTRA EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL GEOTEXTIL EVITANDO LA HUMEDAD Y EL RASGADO, LAS CUALES ALTERAN ADVERSAMENTE SUS PROPIEDADES

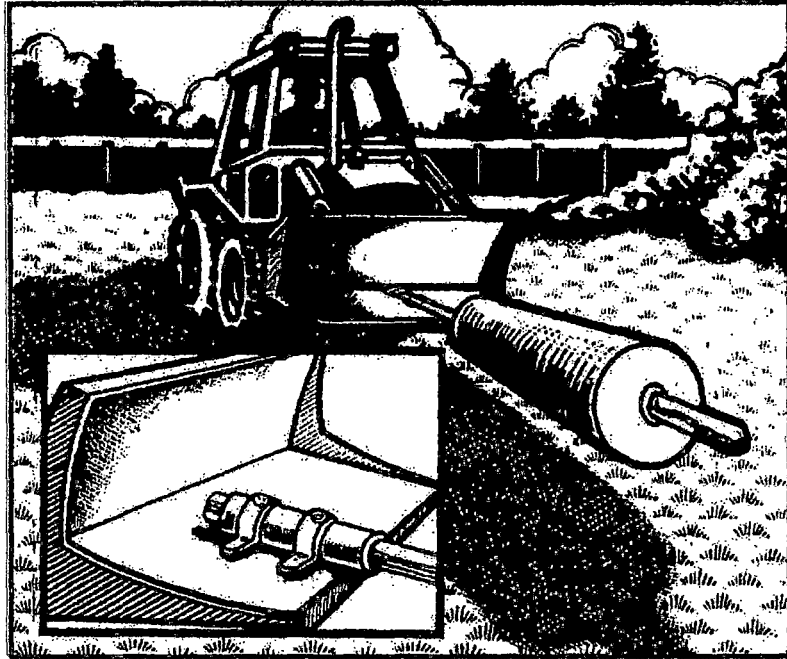




Figure 1: A scatter plot showing the relationship between two variables. The x-axis is labeled 'X' and the y-axis is labeled 'Y'. The data points are scattered around a diagonal line, indicating a positive correlation. There are some outliers at the bottom-left and top-right corners.

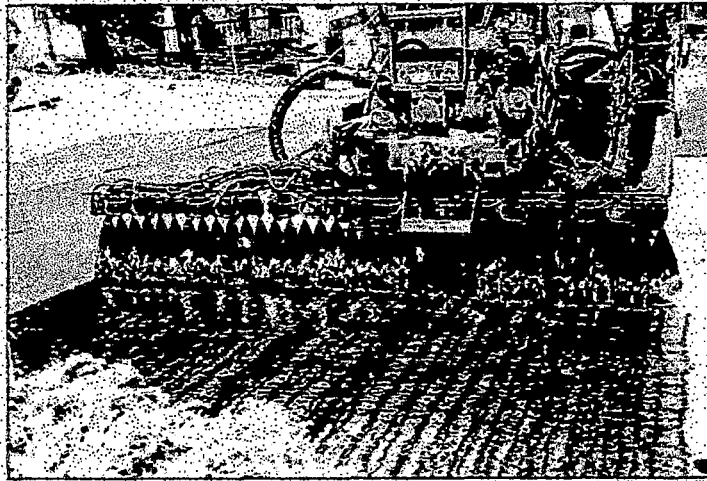


FIGURA 2-8 APLICACIÓN DEL RIEGO DE LIGA ASFÁLTICO CON EL CAMIÓN DISTRIBUIDOR

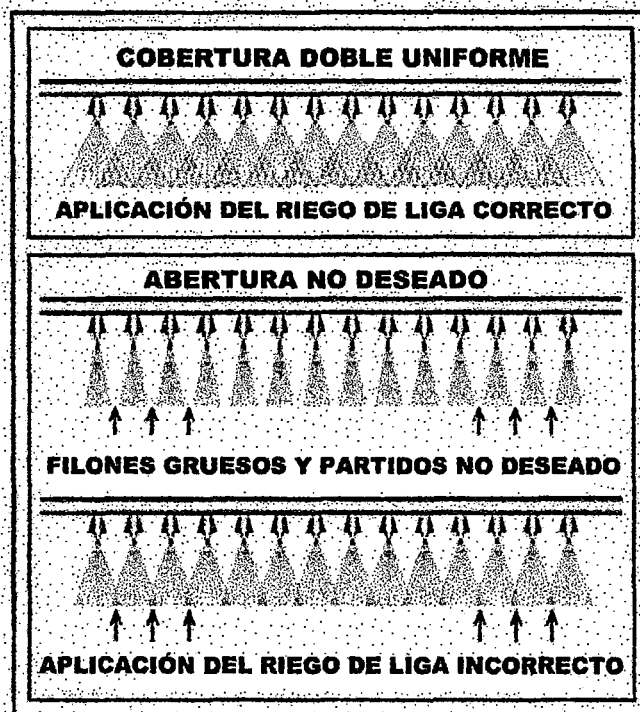
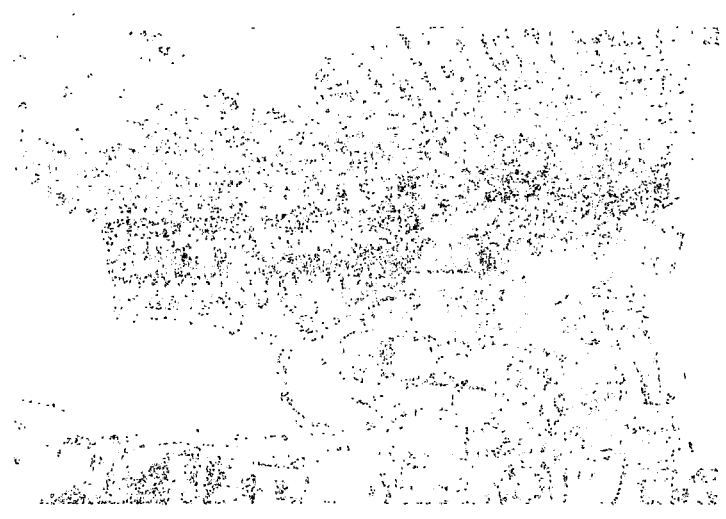


FIGURA 2-9 ROCIADOR DEL CAMIÓN DISTRIBUIDOR

THE UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY

UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637
 TEL: 773-936-3200
 FAX: 773-936-3200
 WWW: WWW.CHICAGO.LIBRARY.EDU

UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY



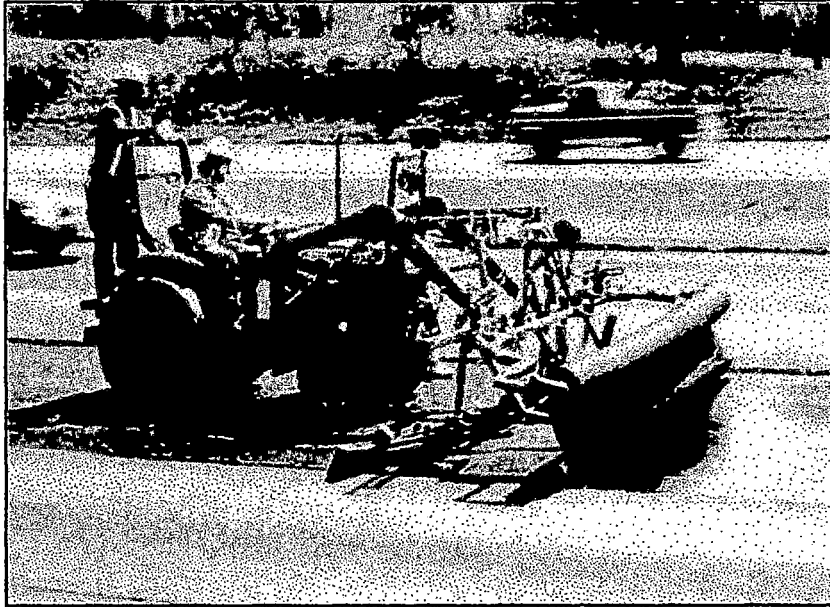


FIGURA 2-10 EQUIPO DE INSTALACIÓN DEL GEOTEXTIL

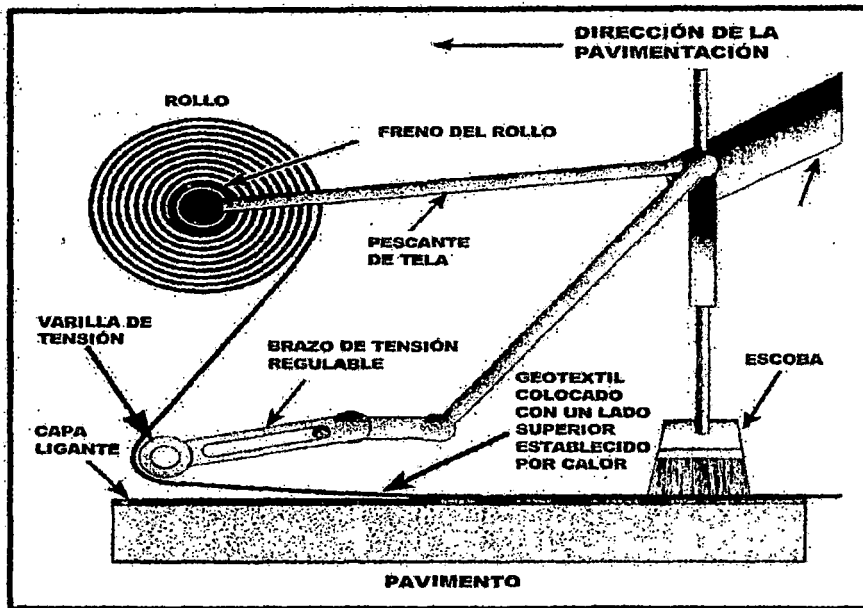


FIGURA 2-11 COMPONENTE DEL EQUIPO LAYDOWN

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

SECRET

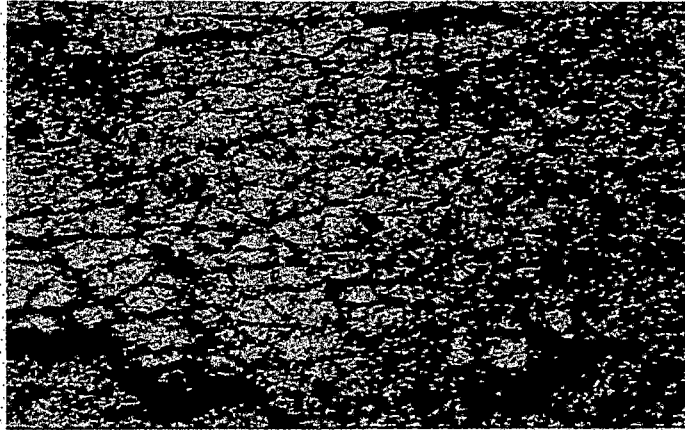
CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

SECRET

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

SECRET



FOTOGRAFIA DEL PAVIMENTO INESTABLE QUE REQUIERE SER REMOVIDO Y REEMPLAZADO ANTES DEL REVESTIMIENTO

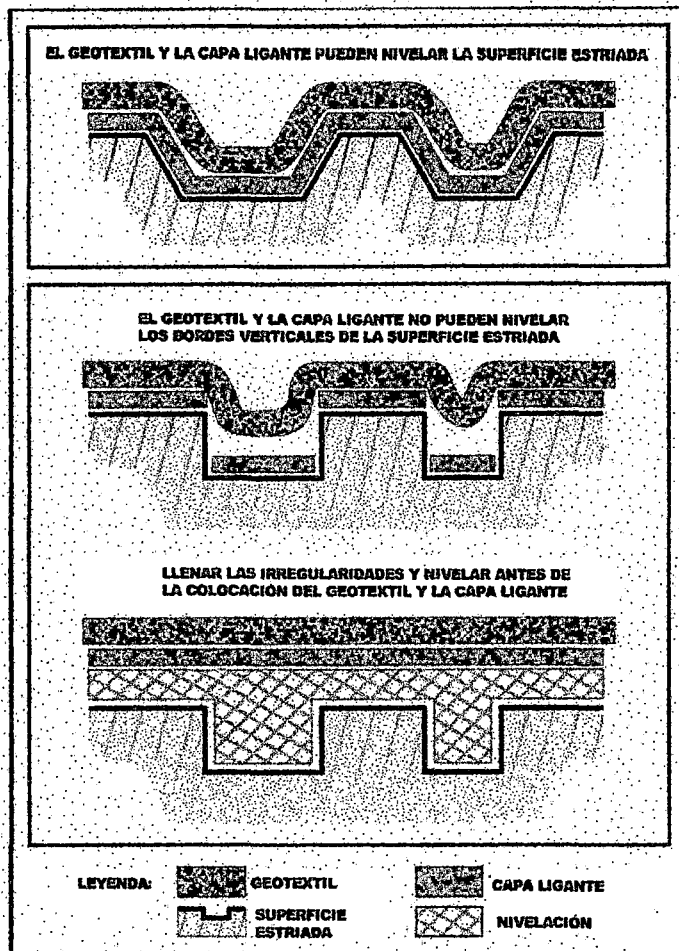


FIGURA 2-12 PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES ESTRIADAS Y/O VERTICALES

RELATIONS AND ASSOCIATED
POLYMERIZATION OF THE STYRENE

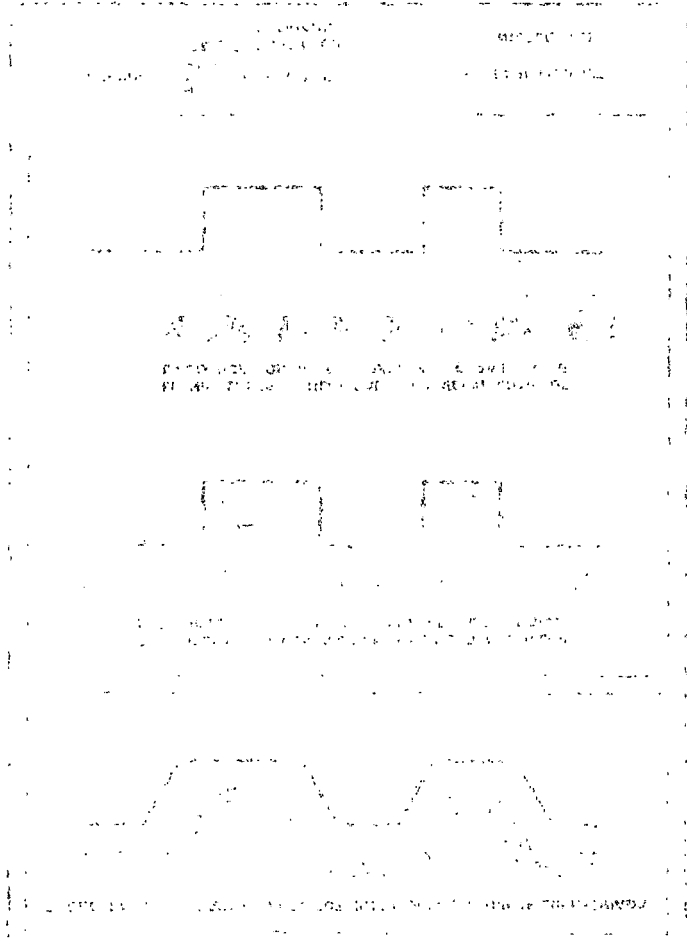
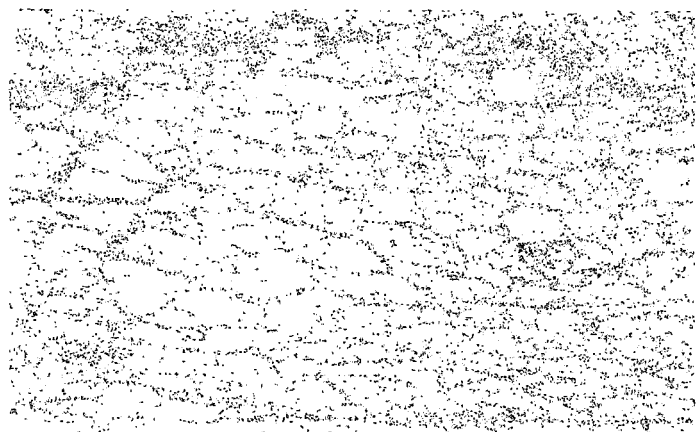
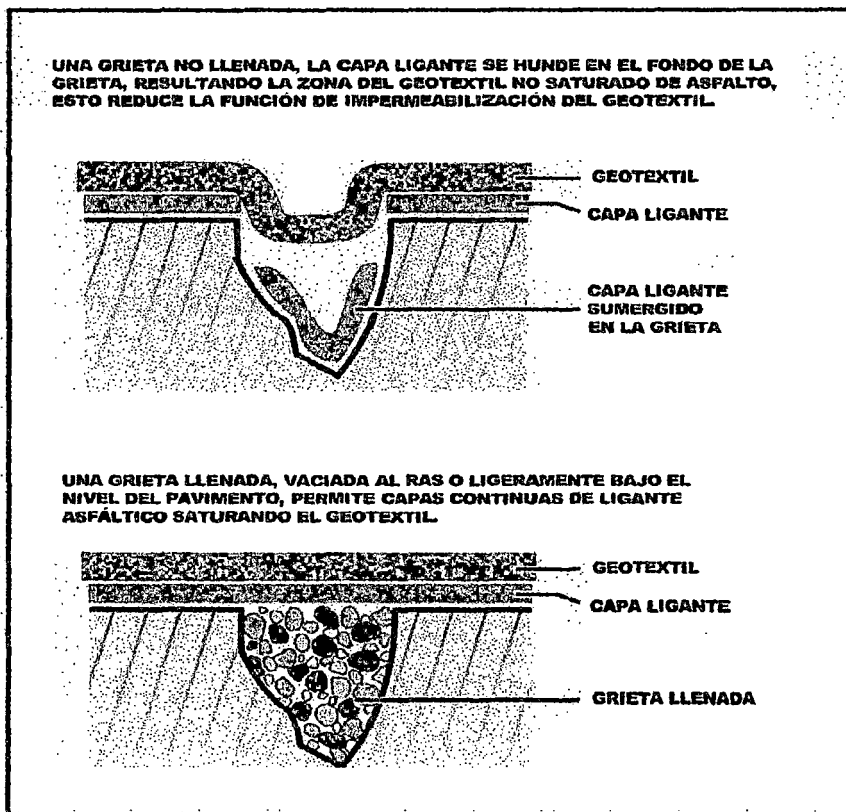
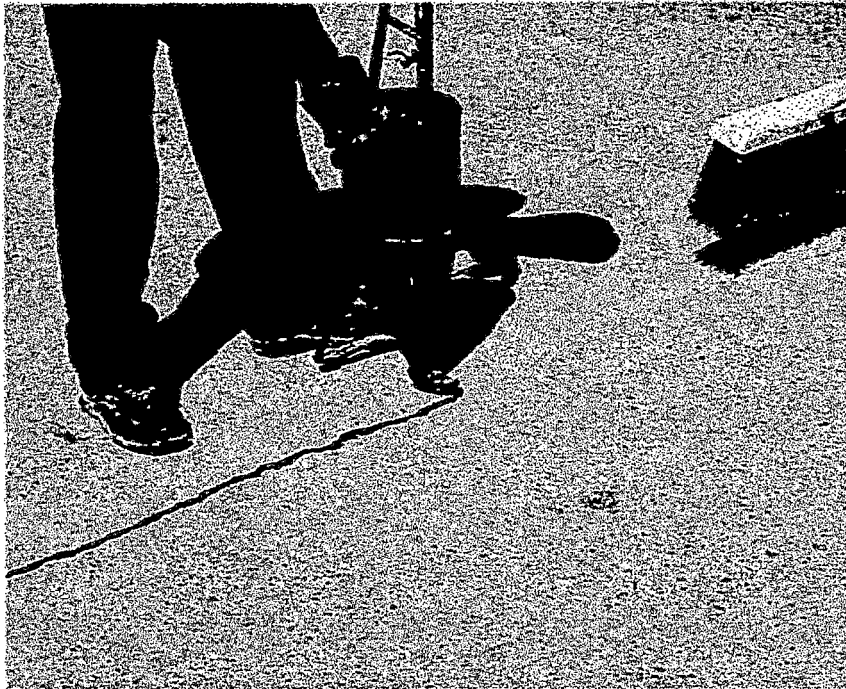


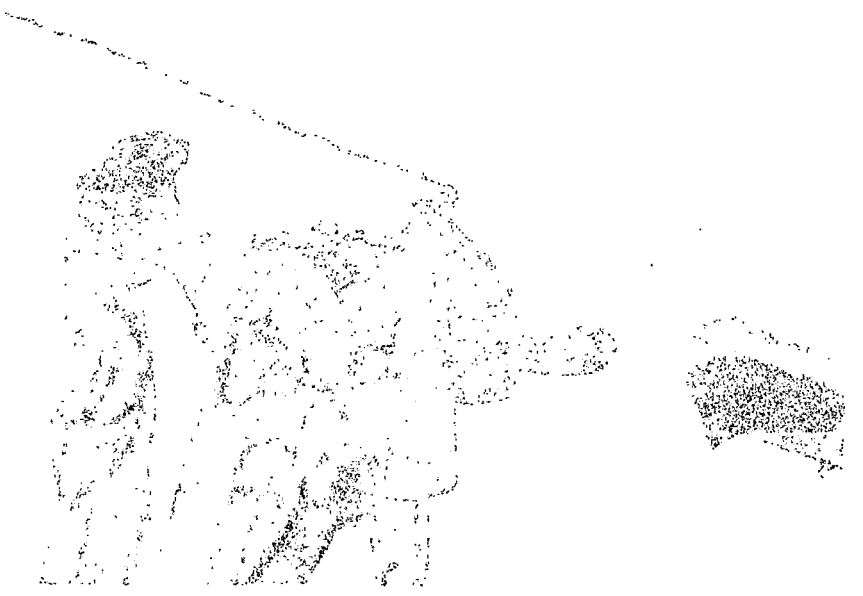
Fig. 1. Dependence of the rate of polymerization on the concentration of the monomer.

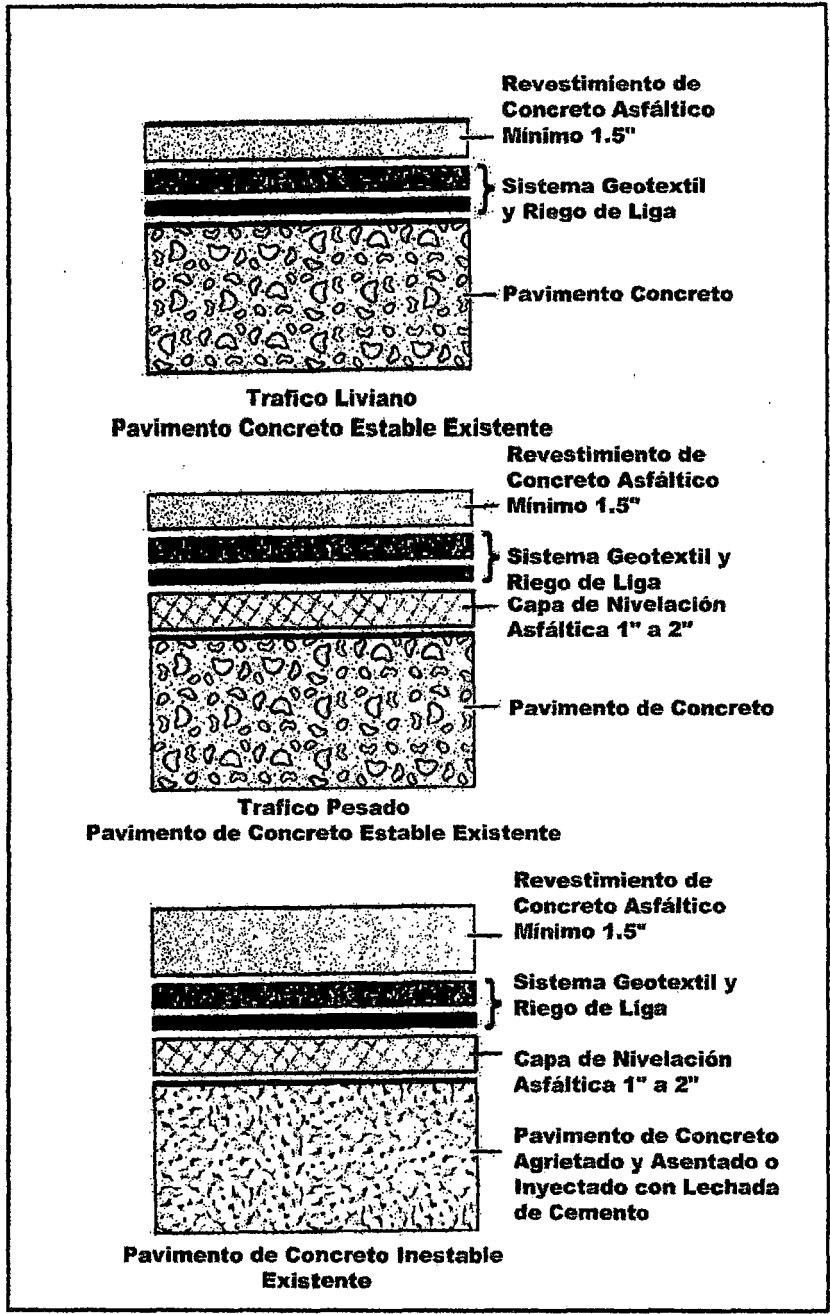




LIST OF NAMES AND ADDRESSES

Name	Address
John Doe	123 Main St, New York, NY
Jane Smith	456 Elm St, Los Angeles, CA
Bob Johnson	789 Oak St, Chicago, IL
Alice Brown	101 Pine St, San Francisco, CA
Charlie White	202 Cedar St, Boston, MA
Diana Green	303 Birch St, Philadelphia, PA
Frank Black	404 Spruce St, Washington, DC
Grace King	505 Willow St, Houston, TX
Henry Lee	606 Ash St, Portland, OR
Ivy Hill	707 Sycamore St, Denver, CO
Jack King	808 Magnolia St, Seattle, WA
Karen Lee	909 Dogwood St, Minneapolis, MN
Liam King	1010 Redwood St, San Diego, CA
Mia King	1111 Cypress St, Austin, TX
Noah King	1212 Juniper St, Salt Lake City, UT
Olivia King	1313 Fir St, San Jose, CA
Peter King	1414 Hemlock St, Las Vegas, NV
Quinn King	1515 Spruce St, Phoenix, AZ
Rachel King	1616 Cedar St, Dallas, TX
Samuel King	1717 Birch St, San Antonio, TX
Tina King	1818 Spruce St, Fort Worth, TX
Uma King	1919 Cedar St, Columbus, OH
Victor King	2020 Birch St, Indianapolis, IN
Wendy King	2121 Spruce St, Jacksonville, FL
Xavier King	2222 Cedar St, Memphis, TN
Yara King	2323 Birch St, Louisville, KY
Zoe King	2424 Spruce St, Nashville, TN





**FIGURA 2-14 TRATAMIENTO DEL PAVIMENTO DE
CONCRETO CEMENTO PORTLAND**

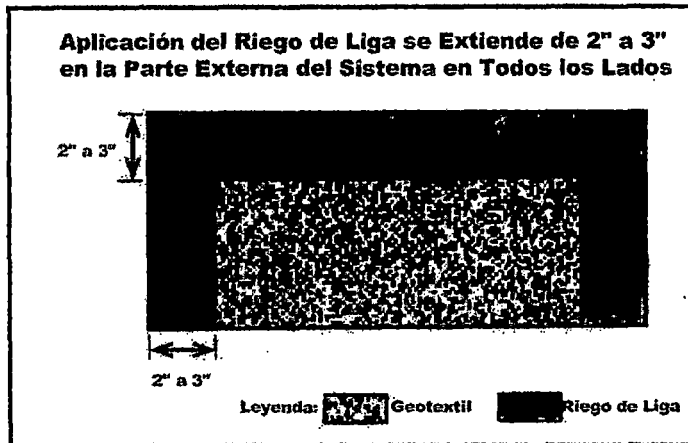


FIGURA 2-15 APLICACIÓN DEL RIEGO DE LIGA

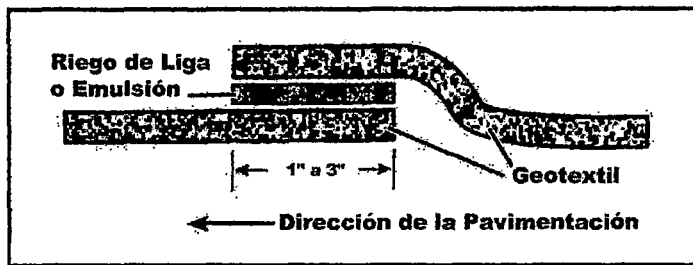


FIGURA 2-16 JUNTAS Y RECUBRIMIENTOS

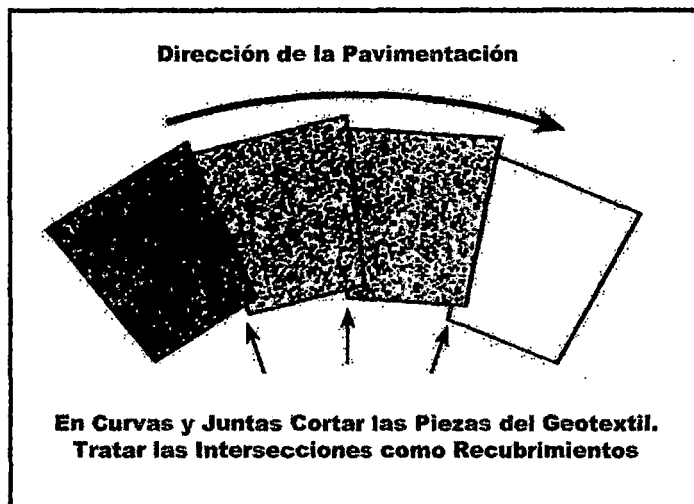
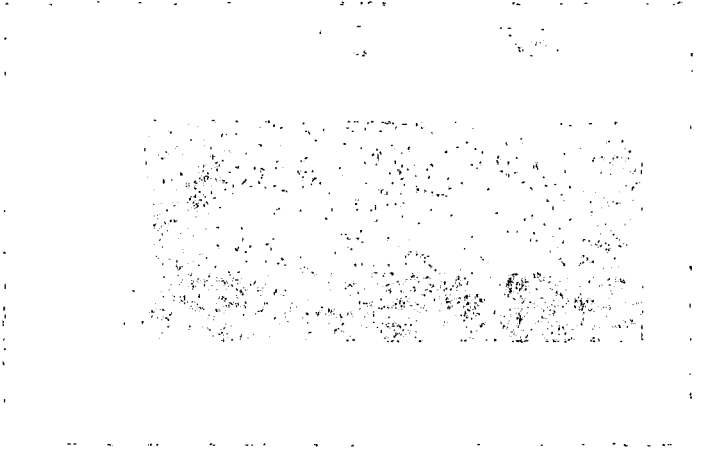
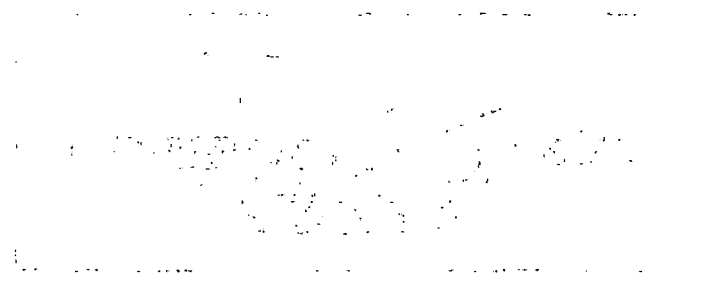
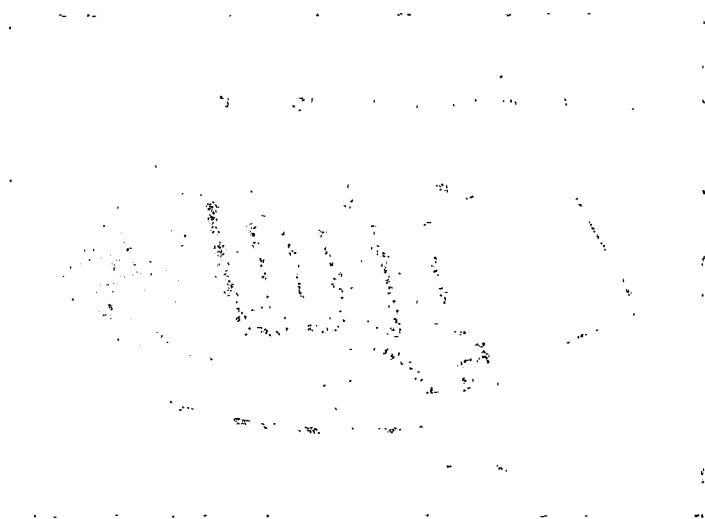


FIGURA 2-17 COLOCACIÓN DEL GEOTEXTIL ALREDEDOR DE CURVAS



CAPÍTULO 03 PROGRAMA DE APLICACIÓN

CAPÍTULO 03

PROGRAMA DE APLICACIÓN

3.1.0.0 PROGRAMA AMOSPEC

Amospec es un programa de cómputo desarrollado por la compañía de tejidos y fibras Amoco que proporciona asesoramiento en proyectos de Ingeniería para el diseño de geotextiles en las estructuras de Ingeniería Vial. Amospec es programado para asistir al Ingeniero en el diseño de:

- Caminos de Pavimento Asfáltico y de Concreto Hidráulico;
- Révestimiento Asfáltico para los caminos de Pavimento Asfáltico y de Concreto Hidráulico;
- Caminos no Pavimentados.

Amospec incorpora conceptos en el diseño de tal manera que el geotextil se adecua a las estructuras de Ingeniería Vial. Amospec asistirá al ingeniero en el diseño de cada una de estas estructuras sin tener en cuenta si los geotextiles son incorporados dentro del diseño. Para cada una de las aplicaciones de los diseños, el usuario puede solicitar al Amospec que le proporcione una impresión de las especificaciones del geotextil. Las especificaciones suministradas por Amospec se adaptan a las necesidades del cliente para cada proyecto específico, para reflejar los parámetros de entrada de diseño y los resultados del análisis. Por consiguiente, con el programa Amospec, el ingeniero puede preparar fácilmente un completo análisis del geotextil, especificaciones, diseños y características técnicas proporcionadas por el programa para cada aplicación.

Amospec es una herramienta de diseño de Ingeniería que es pretendido para ser usado por aquéllos quienes están familiarizados con procedimientos de diseños de Ingeniería Civil. Como cualquier otro programa de diseño de Ingeniería, todos los resultados del diseño está recomendado para evaluar la importancia y limitaciones del diseño de los parámetros de entrada y salida de información.

3.1.1.0 Propósito

El propósito de este capítulo es asistir al usuario en la evaluación y selección de los valores de entrada para el programa Amospec. Para llevar a cabo este propósito, este capítulo incluye discusiones generales de conceptos de diseño y discusiones detalladas de procedimientos de diseño utilizado por el programa de cómputo. Este capítulo también incluye correlaciones simplificadas, rangos de valores típicos, hipótesis de diseños comunes para asistir al usuario en la estimación de valores de entrada cuando la información disponible es limitada en el lugar especificado. Las referencias para la información del diseño adicional también son proporcionadas.

Como en cualquier diseño de estructura de Ingeniería Civil, la selección de los valores de entrada para el diseño final se recomienda estar basado en los estudios del ensayo de laboratorio y los resultados de los datos de campo del lugar especificado. Los usuarios de Amospec encontrarán que la calidad de los diseños resultantes está en función de la calidad de los parámetros de entrada. La baja calidad de los valores de entrada seleccionados para el Amospec ocasiona que la ejecución del programa resulte no conveniente.

3.1.1.0 Hojas de Cálculo

En este capítulo también incluye hojas de cálculo para cada aplicación de diseño. La hoja de cálculo asiste al ingeniero en la selección de valores de entrada para el Amospec y compila un paquete de diseño completo. Las hojas de cálculo están planificadas para desarrollar variables de diseño en el orden en que son solicitados por el programa. Se sugiere que las copias elaboradas por el usuario de las hojas de cálculo sean completadas previamente antes de la operación del programa Amospec.

3.2.0.0 DISEÑO CAMINO PAVIMENTADO

El programa Amospec equipa al ingeniero con una herramienta conveniente para diseñar estructuras de pavimento asfálticos y de concreto hidráulico. Amospec diseña las características que incluyen la provisión de:

- Cálculo del diseño de la estructura del pavimento;
- Evaluación del diseño del geotextil-estabilización;

- Alternativas de los costos de comparación del pavimento; y
- Guía de especificación del geotextil-estabilización.

El programa de diseño Amospec de camino pavimentado proporciona también al usuario la opción de ingresar a un diseño estructural de pavimento, basado en los parámetros de entrada de diseño, Amospec generará el diseño del geotextil de estabilización y muestra los resultados en una impresión de salida las especificaciones del geotextil-estabilización.

La sección 3.2.1 de este capítulo incluye una discusión general de conceptos de diseño de carretera. Sección 3.2.2 describe una aproximación de diseño de carretera y los procedimientos usados por Amospec. Se presentan discusiones detalladas de los parámetros de entrada de diseño en las secciones 3.2.3 a través de 3.2.6. Sección 3.2.7 incluye hojas de cálculo de diseño que habilita rápidamente al usuario a las variables selectas de entrada al Amospec. Al usuario se le recomienda hacer copias de las hojas de cálculo y completarlos previamente antes de la operación del programa de cómputo Amospec.

3.2.1.0 CONCEPTO DE DISEÑO

3.2.1.1 Estructura del Pavimento de Carretera

La función estructural de un pavimento (carretera, parque de estacionamiento, aeropuertos u otros) es reducir los esfuerzos aplicados de tráfico de carretera a niveles que pueden ser soportados por el suelo del terreno de fundación sin desviaciones o movimientos excesivos. La estructura del pavimento es generalmente clasificada en dos tipos: flexible (concreto asfáltico); y rígido (concreto hidráulico). Se muestra la sección transversal típica de estructuras de pavimento asfáltico y de concreto hidráulico en la figura 3-1.

Cada componente de la estructura del pavimento (concreto, asfalto, agregado, etc.) debe ser capaz de soportar los esfuerzos aplicados por el tráfico de la carretera. La resistencia y el espesor de cada componente actúa para distribuir y reducir los esfuerzos aplicados a los componentes subyacentes. Por consiguiente, el concepto de diseño de una estructura de pavimento puede resumirse como sigue:

- Evaluación de las condiciones de carga de tráfico;
- Evaluación de la resistencia de cada componente de la estructura del pavimento; y

- Espesor de diseño de cada componente para reducir los esfuerzos aplicados a aquéllos que pueden ser soportado por los componentes subyacentes.

3.2.1.2 Geotextil de Estabilización

El diseño de un geotextil de estabilización consiste en la selección de las propiedades físicas basados en la durabilidad del geotextil requerido y los requerimientos de funcionamiento. Las propiedades físicas para la durabilidad son seleccionadas de tal manera que el geotextil cumplirá su función de diseño proyectado a lo largo de la vida en la carretera. Adicionalmente se seleccionan propiedades físicas basados en la función del geotextil dentro de la carretera.

Funciones

Un geotextil puede proporcionar tres funciones importantes a una carretera. Estas funciones son separación, filtración y refuerzo. A continuación un resumen de cada función.

La **función de separación** se refiere al papel que cumple el geotextil en prevenir la mezcla de dos suelos con distribuciones granulares de tamaños diferentes.

La **función de filtración** se refiere al papel que cumple el geotextil de permitir a los fluidos pasar a través del plano del geotextil mientras las partículas de suelos son retenidas.

La **función de refuerzo** se refiere al papel que cumple el geotextil como miembro de tensión dentro de la carretera. Hay una variedad de ejemplos de función del refuerzo para un geotextil de estabilización. La capa granular de la carretera puede inducir esfuerzos laterales sobre el suelo del terreno de función como el tráfico que tiende a empujar lateralmente hacia afuera el agregado debido a las cargas de rueda. El geotextil puede limitar cierta cantidad de esfuerzo lateral que es inducido al suelo del terreno de fundación, así de está manera mejorar localmente la capacidad de resistencia del terreno de fundación. El geotextil también puede ayudar a crear un puente sobre áreas débiles del terreno de fundación. Además, el geotextil puede mejorar la estabilidad de la carretera a través de la interferencia en el desarrollo de soporte-falla de corte de la superficie.

Un geotextil normalmente proporciona una combinación de las funciones anteriores a una estructura de carretera pavimentada. Típicamente, la función primaria es separación y la función secundaria es filtración. Para el diseño de carreteras pavimentadas, la función de refuerzo de los geotextiles es abandonada. Esto es debido a la incertidumbre de la cantidad de fuerzas de tensión desarrollada dentro del geotextil. Los pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico solamente tolerarán niveles de deformación muy bajos. A menos que sean usados procedimientos costosos a pre-tensión del geotextil previo a la colocación del agregado de carretera, el refuerzo de tensión del geotextil disponible de esfuerzo también será muy bajo.

Beneficios

Hay muchos beneficios que los geotextiles pueden proporcionar a una carretera. Estos beneficios son ganados durante la construcción y durante la vida proyectada de la carretera.

Los geotextiles facilitan a menudo la construcción y reducen los costos de construcción. Cuando se coloca la capa granular para el acceso de tráfico en la construcción, menos agregado puede ser requerido cuando es usado un geotextil de estabilización. Un geotextil de estabilización también reducirá lentamente la perturbación del suelo del terreno de fundación blando debido al tráfico de la construcción. Cuando hay perturbación, la mayoría de los suelos experimentan una pérdida de resistencia al corte. Este fenómeno es evidente por el incremento de pumping en el terreno de fundación con el tráfico de construcción continuado. Con el ablandamiento de la subrasante se incrementa las dificultades de construcción y la contaminación aumenta en la primera capa granular de la carretera. La perturbación va reduciéndose en el terreno de fundación a través de la suma de un geotextil de estabilización que ayuda a mantener la resistencia al corte original del terreno de fundación y asegura que la capa granular de la carretera nose perderá a través de la mezcla con los suelos del terreno de fundación. Finalmente, un geotextil de estabilización puede reducir la excavación requerida para remover materiales impropios del terreno de fundación.

Los geotextiles también mejoran el rendimiento de la carretera pavimentada y reduce los costos de mantenimiento de la carretera. La Administración de la Carretera Federal (FHWA) indica que la causa mayor de fracaso de la estructura del pavimento es la contaminación de los agregados del firme o cimiento con los suelos del terreno de fundación subyacente

[FHWA, 1985 y FHWA, 1989]. La contaminación de los agregados da como resultado una reducción de la resistencia y el espesor efectivo del agregado. Como resultado, el agregado es menos capaz de reducir y distribuir los esfuerzos al terreno de fundación. La falla de una estructura del pavimento reduce los esfuerzos aplicados debajo de aquéllos que causan excesiva desviación ó movimiento del terreno de fundación resultando agrietamientos o ahuellamientos prematuros en la superficie del pavimento. Esta condición se ilustra en la figura 3.2(a). Un geotextil servirá para mantener el diseño original del espesor de la capa granular a lo largo de la vida del pavimento. Como se muestra en la figura 3.2(b), con un geotextil en la sección transversal el pavimento permanecerá intacto y la carretera funcionará como se diseñó.

Los suelos de granos-finos del terreno de fundación probablemente contaminan al agregado del pavimento [FHWA, 1989]. Estos suelos son normalmente húmedos, y puede ser cohesivo o no-cohesivo. Los suelos de granos-finos menos cohesivos o de baja-cohesión, como arenas, finos y sedimentos, puede desarrollar en los poros alta presión durante la aplicación de una carga dinámica. Los poros de alta presión causan temporalmente que los suelos de granos finos fluyan alrededor del material del agregado. Este proceso no es limitado para las condiciones del terreno de fundación blando.

3.2.20 DISEÑO APROXIMADO

3.2.2.1 Bases

El diseño de una estructura de pavimento de carretera requiere ser diseñado para la construcción inicial y las condiciones de tráfico a largo plazo. La primera capa de firme o cimientamiento de la carretera debe ser diseñado para sostener el tráfico de la construcción. El diseño de los componentes subsecuentes considera la capacidad de cada componente de la estructura del pavimento para soportar el tráfico a largo plazo.

3.2.2.2 Diseño de la Capa Estabilizadora

La primera capa de firme o cimientamiento de la carretera debe ser capaz de resistir el tráfico requerido por la construcción de la carretera. Algunas personas se refieren a esta capa como “capa-estabilizador” porque proporciona estabilización suficiente al terreno de fundación

para permitir el tráfico de los equipos de construcción. Los conceptos de diseño usados para la evaluación de la capa estabilizadora son idénticos al perfilado en este capítulo para el diseño del camino no pavimentado (refiérase a la sección 3.4). La capa estabilizadora deberá ser diseñada como un camino no pavimentado para el tráfico de la construcción como se describe en la sección 3.4. Solamente las condiciones anticipadas durante la construcción son usadas como parámetros de entrada para el diseño de la capa estabilizadora. Estas condiciones de entrada incluyen:

- Tráfico obligado de los equipos de carga para la construcción;
- Los equipos neumáticos de construcción que causan presiones;
- La resistencia al corte del terreno de fundación; y
- Profundidad de huella aceptable.

La FHWA recomienda una profundidad de huella aceptable de 3 pulg. para el diseño de la capa estabilizadora. Sin embargo, las profundidades de huella más grandes son usadas con frecuencia para la construcción sobre terreno de fundación de suelos blandos.

3.2.2.3 Diseño del Camino Pavimentado

El diseño de un camino pavimentado requiere:

- Selección de varias secciones transversales de carreteras candidatos y los materiales componentes de cada corte transversal;
- Evaluación de las propiedades de los materiales para cada componente del pavimento;
- Diseño del espesor del componente requerido; y
- Costos de comparación de los cortes transversales del pavimento candidato.

Diversos métodos son disponibles para la evaluación de espesores y propiedades de los materiales de los componentes requeridos, estos métodos plantean reglas simples de modo empírico. Muchas ciudades en los Estados Unidos han adoptado aproximaciones de diseños individuales basados en suelos locales, tipos de materiales y experiencias en la construcción. Procedimientos empíricos desarrollado por la Asociación Americana de Carretera Estatal y Oficiales de Transporte (AASHTO) son aceptados ampliamente en los Estados Unidos. Estos procedimientos se fundamentan en los resultados de un proyecto extensivo ensayo-carretera que ha evaluado diversas secciones de pavimento sobre un período de cuatro años.

3.2.2.4 Diseño Aproximado del Amospec.

Amospec realiza un completo diseño del pavimento asfáltico y de concreto hidráulico de acuerdo con AASHTO [1986]. Amospec efectúa el diseño de un geotextil de estabilización de carretera de acuerdo con las recomendaciones dadas por FHWA [1989] y Task Force 25 [1989]. Los diseños se cumplen a través del siguiente análisis:

- Diseño de carga de tráfico;
- Propiedades de los materiales de la estructura del pavimento asfáltico y de concreto hidráulico; y
- Propiedades del material del geotextil.

3.2.2.5 Diseño Mínimos de Espesores

La agencia locales de transporte (DOT) tiene recomendaciones mínimas del espesor para pavimentos de carretera. Estos espesores mínimos son establecidos para asegurar la estructura del pavimento que resistirá el tráfico pesado ocasional tal como transporte de mudanzas, camiones de concretos y camiones de basura. En el diseño de carreteras de bajo-volumen de tráfico de acuerdo con las guías dadas por AASHTO puede resultar en espesores de los componentes del pavimento debajo del mínimo recomendado. El usuario se aconseja a consciencia de, y adhiere a, políticas de diseños locales.

Como se discutió previamente, un espesor mínimo de la capa estabilizadora o cimiento es requerido para sostener la carga de construcción (refiérase a sección 3.2.2.2). No deben seleccionarse espesores del cimiento granular debajo de este valor del mínimo durante el proceso de diseño para un camino pavimentado.

El procedimiento de diseño AASHTO [1986] asume que el espesor de cada componente de la carretera permanecerá constante a lo largo del período de diseño del pavimento. Sin embargo, como se discutió previamente, la causa mayor de falla de un pavimento es la reducción del espesor del firme ó cimiento granular debido la contaminación con suelos finos del terreno de fundación blando. Deben tomarse pasos para asegurar espesores mínimos de diseño en la sección del pavimento que permanecerán intactos a lo largo del período de diseño. Los métodos diversos para lograr esto son:

- Colocación de material de cimiento adicional;

- La excavación y reemplazo de suelos dudosos en el terreno de fundación;
- Incremento del mantenimiento en la carretera; o
- Instalación de un geotextil de estabilización.

El geotextil de estabilización es típicamente la opción del costo más bajo de las alternativas anteriores.

3.2.2.6 Asentamiento de la Subrasante

Los procedimientos de diseño del asentamiento de la subrasante y el asentamiento diferencial no son discutidos por AASHTO [1986]. El asentamiento del sistema de carretera puede debilitar la capacidad de los materiales granulares y el sistema de drenaje que sirve para remover el agua desde el sistema de la carretera. El asentamiento diferencial puede causar disgregaciones al pavimento debido a cambios de soporte en el terreno de fundación. La geotécnica tradicional proyecta que deberán ser usados aproximaciones para evaluar y mitigar efectos adversos de asentamiento en la subrasante de la carretera. Pueden ser usados geotextiles de estabilización para reducir disgregaciones del pavimento debido al asentamiento diferencial. En particular, los geotextiles de estabilización pueden proporcionar soporte estructural adicional sobre áreas limitadas del asentamiento localizado. Sin embargo, los geotextiles de estabilización no reducirán el asentamiento en la subrasante.

3.2.3.0 DISEÑO CARGA DE TRÁFICO

Esta sección proporciona información detallada con respecto a la selección de variables del programa Amospec relacionado para el diseño carga de tráfico. Esta información es aplicable a los caminos de pavimento asfáltico y de concreto hidráulico.

3.2.3.1 Período de Diseño

Las estructuras del pavimento son proyectadas para una vida de diseño seleccionada que es llamado como el período de diseño. El período de diseño es el período de tiempo que la estructura del pavimento inicial funcionará antes que pueda ser reafirmado ó rehabilitado. Para carreteras de bajo-volumen, se recomienda que el período de diseño debe ser entre 10 y 20 años.

Bajo numerosos tipos de tráfico y condiciones ambientales, esto es un costo efectivo para diseñar la estructura del pavimento para un período de análisis mayor que el período de diseño. Bajo estas condiciones se planifica la rehabilitación periódica del pavimento al final de cada período de diseño. Esta aproximación para el diseño del pavimento es llamada como construcción por etapas. La aproximación de construcción por etapas, es la suma de los períodos de diseño que igualaría al período de análisis. Tabla 3-1 proporciona recomendaciones del período de análisis de carretera. En general, los períodos de diseño están en el rango de 10 a 20 años y son usados para el diseño del camino pavimentado. La construcción por etapas está más allá del alcance de este trabajo. Esta referencia está indicado por AASHTO [1986], Instituto del Asfalto [1991] o la Asociación Cemento Portland [1984] para la guía en construcción por etapas de pavimentos de carretera.

3.2.3.2 Diseño de Fiabilidad.

El Ingeniero es requerido tener un factor de fiabilidad de diseño para ingresar en las ecuaciones de diseño AASHTO [1986] para las estructuras de pavimento asfáltico y de concreto hidráulico. El ingeniero debe permanecer enterado del concepto de fiabilidad a través del proceso de diseño del pavimento. El factor de fiabilidad de diseño (F_R) es usado como un medio de compensación para incertidumbres en estimaciones de tráfico de carga y rendimiento del pavimento. El factor de fiabilidad de diseño puede ser calculado de la ecuación siguiente [AASHTO, 1986]:

$$F_R = 10^{-Z_R * S_o} \quad \text{[Ecuación 3-1]}$$

Donde:

F_R = factor de fiabilidad de diseño;

Z_R = desviación standard normal; y

S_o = desviación normal total.

El factor fiabilidad de diseño, factor incorporado ó coeficiente de seguridad en la estructura de un pavimento de diseño que aumenta la probabilidad para que la estructura del pavimento cumpla su función intencional sobre el período de diseño. Debido a la consideración del factor de fiabilidad de diseño, el usuario utiliza estimaciones conservadoras de volumen de tráfico, propiedades del pavimento, propiedades del suelo e índices de serviciabilidad de la

carretera. Para todas las evaluaciones de tráfico de carretera y rendimiento del pavimento el Ingeniero es recomendado a utilizar las estimaciones más exactas de valores disponibles del MEDIO. La fiabilidad de los datos de entrada puede ser considerada en la selección del factor de fiabilidad de diseño.

Amospec calcula el factor de fiabilidad del diseño basado en los valores de entrada de Z_R y S_o . Tabla 3-2 presenta niveles de fiabilidad de diseños sugeridos por AASHTO [1986]. Son seleccionados valores de Z_R de la tabla 3-3 basado en la fiabilidad de diseño deseado. Los valores negativos más grandes de Z_R indican una necesidad de mayor fiabilidad del diseño. La necesidad de mayor fiabilidad se incrementa cuando es oficial y depende considerablemente del rendimiento de la carretera y cuando esto es difícil para proporcionar mantenimiento de la carretera. Una fiabilidad de diseño de 80% ($Z_R = -0.841$ de tabla 3-3) implica un 80% de probabilidad del pavimento que será diseñado y un 20% de probabilidad que no requiere.

El usuario debe observar que todos los valores de Z_R de la tabla 3-3 que se muestran son negativos. En la mayoría de los casos, el usuario seleccionará un valor de Z_R negativo. Si es aplicable, el signo negativo debe ingresar en el programa Amospec. La selección de un valor de Z_R negativo indica una fiabilidad mayor que 50% son deseados. Los valores positivos de Z_R indican una fiabilidad menos del 50%.

Valores de S_o que son seleccionados basados en el rendimiento histórico de los pavimentos de la carretera local. Los valores típicos de S_o son proporcionados en la tabla 3-4. Para el diseño preliminar, los usuarios del programa Amospec pueden entrar con valores aproximados de S_o basado en las recomendaciones proporcionadas en la tabla 3-4. Para el diseño final, el usuario se recomienda usar valores de entrada sugeridos por las agencias locales DOT.

3.2.3.3 Análisis de Tráfico

Como la mayoría de procedimientos de diseño del pavimento, AASHTO diseña el pavimento basado en el número anticipado de carga por eje simple equivalente (ESAL). El término que ESAL se refiere al número de tiempos que se espera que un eje de 18000 lb (80 kN) viaje sobre la carretera. Los valores de ESAL pueden informarse diario, anual, período de diseño o

valores del período de análisis. Una sección de pavimento de carretera es diseñada basado en el tráfico esperado en un carril de tráfico del diseño de carretera. Amospec requiere al usuario la entrada del número de ESAL anticipado en el carril de tráfico de diseño durante el período de diseño.

El cálculo ESAL del carril de tráfico de diseño se cumple como sigue:

- Estimar el volumen de tráfico de la carretera inicial para cada tipo de vehículo;
- Cálculo del volumen de tráfico de la carretera para el período de diseño por cada tipo de vehículo;
- Convierta el período de diseño de volumen de tráfico a equivalente ESAL; y
- Factor ESAL de carretera para el tráfico anticipado en un carril de diseño simple.

Una hoja de cálculo de evaluación de tráfico (hojas de cálculo 3-2-1) es proporcionada en la sección 3-2-7 de este capítulo. La hoja de cálculo incluye un procedimiento simple paso a paso para la evaluación del carril de tráfico de diseño ESAL. Lo siguiente es una discusión de la evaluación de tráfico.

Volumen de Tráfico Inicial

Los datos de campo o los datos modelos del programa son típicamente usados para estimar el tráfico diario promedio inicial ADT de una carretera. El dato ADT se categoriza de acuerdo al tipo del vehículo o peso. Los ejemplos de tipos vehículos típicos son: buses de pasajeros, camión de un solo eje y camión de remolque. Se categorizan con frecuencia los diversos camiones de un solo eje y camiones trayler de acuerdo al número de ejes y cargas por eje.

La agencia estatal DOT indica que se acumulan los datos de peso de cada camión en uno o dos años. Estos datos deben ser de referencia cuando es disponible. Sin embargo, los datos de tráfico de este tipo son muy dependientes de la ubicación y de las medidas de tiempo. Como resultado, alguna interpretación de los datos es requerida.

Los estudios de tráfico y los estudios de carga son a menudo usados para establecer la frecuencia y peso de cada tipo de vehículo a qué un pavimento se sujeta inicialmente. Esta información puede ser usada para estimar el tráfico de carretera inicial para un proyecto específico.

En algunos casos, la información del tráfico total es disponible sin detalles de los tipos de vehículos y pesos. El tráfico total indica que los datos pueden ser convertido a un flujo de tráfico mixto por la estimación de la distribución de tráfico de cada tipo de vehículo. Tabla 3-5 presenta la distribución típica de camiones en varios sistemas de carreteras de los Estados Unidos. La Tabla 3-5 puede ser usado con los datos de control de tráfico para estimar el porcentaje de camiones que la estructura del pavimento puede ser sujetado. En la ausencia de controles de tráfico y datos de peso, el Ingeniero debe estimar el flujo de tráfico anticipado basado en: (i) área de servicios y la densidad per-cápita por carretera; (ii) un estudio visual de carreteras similares; y (iii) distribuciones del camión proporcionado en la tabla 3-5.

Período de Diseño del Volumen Tráfico

El período de diseño de tráfico es el volumen total de tráfico que es esperado en la carretera durante el período de diseño. El período de diseño de tráfico es calculado como una proyección del tráfico inicial. El cambio de tráfico sobre el tiempo deberá estar considerado para la determinación del período de diseño de tráfico. Aunque hay algunos casos en que el tráfico puede ser esperado para que disminuya con el tiempo, el tráfico es esperado típicamente para el crecimiento de una tasa dada sobre el período de diseño. Las proyecciones de tráfico proporcionadas por la comunidad local o grupos de planificación de tráfico son recomendadas para las estimaciones de tasas de crecimiento de tráfico anual.

La tasa de incremento de tráfico para una carretera dada puede no ser constante para todos los tipos de vehículos. Tabla 3-6 proporciona alguna tasa de crecimiento de volumen tráfico de vehículo que ha sido medido en el pasado para los diversos tipos de vehículo. La tasa de crecimiento típico para el tráfico en los Estados Unidos esta en el rango de tres a cinco por ciento por año compuesto [Instituto del Asfalto, 1991]. Sin embargo, éstas tasas de crecimiento pueden ser bajas para la comunidad en vías de desarrollo. Las carreteras residenciales no pueden experimentar un crecimiento en volumen de tráfico porque la demanda en las residencias es constante. En contraste, las carreteras interestatales pueden experimentar crecimiento de volumen de tráfico exponencial.

El cálculo del período de diseño de tráfico para cada vehículo es multiplicar el volumen de tráfico inicial por un factor de crecimiento. El factor de crecimiento se selecciona basado en

la tasa de crecimiento anual y el período de diseño. Los factores de crecimiento del volumen tráfico son proporcionados en la tabla 3-7.

Cálculo de ESAL

El diseño de la carretera requiere un período de diseño de tráfico para ser convertido al número equivalente 18000 lb (80 kN) cargas por eje simple (ESAL). La conversión de tráfico a ESAL para un vehículo dado esta basado en las siguientes variables.

- Peso del vehículo;
- Número de ejes del vehículo;
- Volumen de tráfico de vehículo;
- Capacidad estructural de la carretera; y
- Serviciabilidad de la carretera.

La FHWA ha compilado información de tráfico de carretera y ha preparado equivalencias de factores típicos ESAL para diversas carreteras y tipos de vehículo. Una adaptación de esta información se presenta en la tabla 3-8. Tabla 3-8A presenta los factores de equivalencia típico ESAL para las carreteras rurales. Tabla 3-8B presenta los factores de equivalencia típico ESAL para las carreteras urbanas. Estas tablas pueden ser usadas para una estimación de ESAL basado en el período de diseño de tráfico. El usuario se recomienda referirse a AASHTO [1986] para el análisis más exacto de ESAL de la carretera.

La conversión del volumen de tráfico a ESAL es realizada por la multiplicación del período de diseño de tráfico por cada tipo de vehículo por el factor ESAL proporcionado en la tabla 3-8. La suma de los valores de ESAL por cada de tipo de vehículo da como resultado el ESAL de la carretera total diseñada. De esta manera, un flujo de tráfico mixto es convertido a un diseño de flujo de tráfico ESAL.

Carril de Diseño ESAL

El valor de diseño ESAL de carretera representa el número de carga por eje equivalente 18,000 lb (80 kN) que será encontrado por todos los carriles de la carretera. Una sección de pavimento de carretera es diseñada basado en el tráfico esperado en el carril de tráfico de diseño de la carretera. Por consiguiente, el valor ESAL de carretera deberá ser factorado por

el número de direcciones de carriles y el número de carril en cada dirección para llegar al carril de diseño ESAL. Ecuación 3-2 es usada para el factor de diseño de carretera ESAL al carril de diseño ESAL.

$$W_{18} = (\sum \text{ESAL}) * D_D * D_L \quad \text{[Ecuación 3-2]}$$

Donde:

W_{18} = Carril de diseño ESAL;

D_D = Factor de distribución direccional, expresado como una relación, que considera para la distribución de unidades de ESAL por dirección (e.g., este-oeste, norte-sur).

D_L = Factor de distribución de un carril, expresado como una relación, que considera para la distribución de tráfico cuando hay dos o más carriles disponibles en una dirección; y

$\sum \text{ESAL}$ = ESAL total de carretera en todos los carriles de tráfico.

El factor de distribución direccional (D_D) es igual a 1 para carretera de un solo sentido y es generalmente 0.5 para la mayoría de las otras carreteras. El Ingeniero puede seleccionar valores mayores que 0.5 si ellos tienen razón o motivo para creer que el volumen de tráfico de carretera es mayor en una dirección. El factor de distribución del carril (D_L) representa el porcentaje de volumen de tráfico que recorrerá en el carril de diseño. El valor de D_L es dependiente sobre el número de carriles en cada dirección. La tabla 3-9 puede ser usada como una guía para la selección de D_L .

El valor de W_{18} obtenido de la ecuación 3-2 es usado para el diseño de la carretera. Esto es considerado generalmente por AASHTO pero no es práctico para diseñar una carretera para menos de $W_{18} = 50,000$ ESAL. El Ingeniero se recomienda diseñar para el mínimo 50,000 ESAL si se estima que el período de diseño de tráfico indique menos carga de tráfico en el carril de diseño.

3.2.3.4 Serviciabilidad de la Carretera

Los índices de serviciabilidad son representaciones numéricas de la capacidad de una estructura de pavimento para servir al tipo de tráfico. Los índices de serviciabilidad son

basados en la calidad de la superficie de la carretera y son obtenidos a través de las medidas de rugosidad, agrietamiento y ahuellamientos de la carretera. La serviciabilidad varía a escala de 0 a 5. Un valor de 0 corresponde a una evaluación muy pobre y un valor de 5 corresponde a una evaluación muy buena.

El índice de serviciabilidad inicial (p_i) y el índice de serviciabilidad terminal (p_t) es el inicio y el final de las evaluaciones de serviciabilidad de carretera del período de diseño respectivamente. El índice de serviciabilidad inicial representa la serviciabilidad de la carretera inmediatamente después de la construcción. El índice de serviciabilidad terminal representa los más bajos niveles de serviciabilidad que será tolerado antes que se haga necesaria una rehabilitación, revestimiento o reconstrucción de la carretera. La tabla 3-10 proporciona recomendaciones de los índice valores de serviciabilidad inicial y terminal.

Los valores recomendados proporcionados en la tabla 3-10 están basados en la pérdida de serviciabilidad de la carretera debido al tráfico. Sin embargo, el medio ambiente también puede causar una pérdida de serviciabilidad en la carretera. El resultado es menor serviciabilidad de la carretera disponible para la carga de tráfico. El medio ambiente crítico que causa la pérdida de serviciabilidad de la carretera son aquellos que crean cambios de volumen en los suelos del cimiento o en el terreno de fundación. Estos ambientes críticos incluyen aquellos que causan la expansión del suelo (inflado) y el levantamiento por congelamiento. Con estos tipos de suelos del terreno de fundación, la superficie de carretera puede ser sujeta a movimientos que promueven la degradación del pavimento y se produce la falla del pavimento prematuro.

Los suelos que muestran un potencial alto para el cambio de volumen debido a los cambios de las condiciones de humedad son susceptibles al inflado y al levantamiento por congelamiento. Estos suelos exhiben típicamente un índice de plasticidad (IP) valores mayores que 40 como medida de acuerdo con ASTM D 4318. Estos suelos en combinación con las condiciones de humedad variante y/o los cambios significantes de temperatura de ambiente pueden resultar la pérdida de serviciabilidad en la carretera.

Los efectos de levantamiento por congelamiento e inflados pueden ser considerado por estimación la pérdida de serviciabilidad en la carretera sobre el período de análisis debido a los cambios de volumen del suelo. Esta pérdida de la serviciabilidad es sustraída de la

serviciabilidad de la carretera disponible para el tráfico. Los procedimientos para considerar el suelo del terreno de fundación (“FROST HEAVE”) e inflado se proporcionan en AASHTO [1986].

3.2.4.0 DISEÑO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

El diseño del camino pavimento asfáltico es efectuado por AASHTO en dos pasos:

- Paso 1 – calcular del número estructural requerido (SN_i) para cada componente de la carretera y para la estructura del pavimento total.
- Paso 2 – desarrollo de una sección transversal de carretera de cada componente y mostrar la estructura completa de una carretera un mayor numero estructural que se calculó en el paso 1.

El número estructural expresa la resistencia estructural del material de una carretera. El número estructural requerido es calculado por las combinaciones de las resistencias de los materiales del pavimento, carga de tráfico y serviciabilidad de la carretera. Calculado el número estructural real de las resistencias de los materiales y los espesores de la carretera. Amospec calcula SN_i y SN_i' para cada componente de la estructura de carretera del pavimento asfáltico.

3.2.4.1 Número Estructural Requerido de una Carretera

La ecuación 3-3 es usada para calcular SN_i para cada componente de la carretera y la estructura total del pavimento.

$$\text{Log}_{10} W_{18} = 9.36 * \text{log}_{10} (SN_i + 1) - 0.20 + \frac{\text{log}_{10} [(p_i - p_t) / (4.2 - 1.5)]}{0.40 + 1094 / ((SN_i + 1)^{5.19})} + 2.32 * \text{log}_{10} M_R - 8.07 * \text{log}_{10} F_R$$

[Ecuación 3-3]

Donde:

W_{18} = Carril de diseño ESAL;

F_R = Factor fiabilidad de diseño;

p_i = Índice de serviciabilidad de carretera inicial;

- p_t = Índice de serviciabilidad de carretera terminal;
 M_R = Módulo Resiliente (lb/pulg²); y
 SN_i = Número estructural requerido.

El valor de SN_i resultante es un valor mínimo requerido para el período de diseño. En la ecuación 3-3 SN_i es calculado por el programa Amospec para cada componente de la estructura del pavimento. La entrada de variable W_{18} representa el carril de diseño de la carga de tráfico. La discusión de principios de diseño relacionado para la carga de tráfico es presentada en la sección 3.2.3.3 de este capítulo. Las entradas de las variables p_i y p_t representan la capacidad de la estructura del pavimento para servir al tráfico. Una discusión de estas variables de entrada es proporcionada en la sección 3.2.3.4. La entrada de variable F_R incorpora un factor de seguridad en el diseño, de ese modo aumenta la probabilidad de la estructura del pavimento que cumplirá la función esperado sobre el período de diseño. Una discusión de las variables de entrada es proporcionada en la sección 3.2.3.2.

Las variables restante de la ecuación 3-3 es la propiedad de módulo resiliente (M_R). La variable M_R es una propiedad del material de la carretera que relaciona la deformación del material a los esfuerzos de cargas cíclicas aplicadas. Por consiguiente, M_R caracteriza la capacidad del material de la carretera para soportar cargas de tráfico dinámicas.

Cada componente de una estructura del pavimento asfáltico es diseñado basado en el módulo resiliente del material subyacente. Por ejemplo, el cálculo del SN_i requerido del revestimiento de concreto asfáltico es calculado por la introducción del módulo resiliente del firme granular para variable M_R en la ecuación 3-3. Igualmente, el SN_i requerido del firme granular es calculado por la introducción del módulo resiliente del suelo del terreno de fundación para variable M_R en la ecuación 3-3. A continuación una discusión de valores del módulo de los suelos del terreno de fundación y materiales del firme granular sin ligante.

Suelo del Terreno de Fundación

El ensayo de laboratorio (AASHTO método de ensayo T 274) es usado para determinar el módulo resiliente del suelo. El procedimiento incluye una variedad de equipos para el ensayo de una muestra a un elemento triaxial. Para cada ensayo la muestra de suelo es sujeta a 200 repeticiones de una carga dada sobre un período de tiempo en menos de 10 minutos.

Después de aproximadamente de 100 a 200 repeticiones de carga, el módulo (esfuerzo/deformación) llega a ser aproximadamente constante y como respuesta el suelo puede ser asumido como elástico. Este elemento es definido como el módulo elástico.

El módulo resiliente del suelo es dependiente de las condiciones de humedad del terreno. Elfino y Davidson [1989] proporcionan procedimientos de laboratorio recomendados para la simulación de la condición de humedad del campo durante el ensayo de laboratorio. Estos procedimientos son recomendados para mejorar las correlaciones entre los resultados del laboratorio y el rendimiento en el campo.

Además de las condiciones de humedad, el módulo resiliente del suelo también es dependiente de la temperatura y del estado de esfuerzo del suelo. Por consiguiente, los valores de M_R varía con los cambios de estaciones y son dependientes de la profundidad del suelo del terreno de fundación debajo de la superficie del pavimento. AASHTO [1986] recomienda a los Ingenieros la evaluación del promedio de valores de M_R para cada estación y usar un valor promedio favorable de M_R para el diseño de la carretera. Sin embargo, muchos ingenieros sienten que la reducción del suelo del terreno de fundación M_R ocurre cuando se deshielan durante el período corto de la primavera y son compensados suficientemente por período más largos de invierno helado [Asociación Cemento Portland, 1984]. Si el Ingeniero sugiere que esta suposición es aplicable, el valor promedio M_R representa la estación de la primavera o pueden ser usados en condiciones de humedad valores razonables.

Se recomienda la determinación de M_R con ensayos de laboratorio. Sin embargo, el equipo de ensayo de laboratorio es costoso y el funcionamiento de la prueba requiere adquisición de datos computarizados y personal especializado. Además, AASHTO [1986] advierte que los valores del módulo resiliente del laboratorio pueden ser significativamente diferentes que los valores efectuados in-situ. Como resultado, AASHTO [1986] sugiere que los coeficientes pueden obtenerse preferentemente del ensayo de caminos o de secciones transversales experimentales.

Muchos agencias DOT y empresas consultoras de diseño no han invertido en el adiestramiento y equipos para realizar ensayos de laboratorio del módulo resiliente. Como resultado, el diseño de una carretera de pavimento asfáltico es usualmente logrado a través

del uso de las correlaciones de aproximación entre (CBR) y M_R del suelo, y entre el valor de resistencia del suelo (R-valor) y M_R . Las correlaciones recomendadas son proporcionadas en la tabla 3-11; sin embargo el usuario debe reconocer la variedad de métodos de prueba usados por las diferentes agencias de estado DOT que pueden influir en estas correlaciones.

AASHTO [1986] sugiere también el valor M_R del terreno de fundación para las regiones climáticas en los Estados Unidos. Estos valores sugeridos de M_R son reproducidos en la tabla 3-12. La región climática correspondiente se ilustra en la figura 3-3. Los valores típicos M_R del suelo del terreno de fundación se encuentran en el rango de 2 ksi y 7 ksi.

Cimiento y Firme Granular sin Ligante

El concepto de módulo resiliente del agregado es similar a los suelos del terreno de fundación. El mismo procedimiento de prueba (AASHTO T 274) para ensayar los suelos es recomendado para los materiales granulares sin ligante. El módulo resiliente del agregado también es dependiente de la humedad, temperatura y condiciones de esfuerzo.

La correlación aproximada entre CBR y M_R , y entre el R-valor y M_R para los materiales de firme granular sin ligante es proporcionada en la figura 3-4. Los materiales del firme granular sin ligante usados para la construcción de carretera típicamente muestran valores de M_R que se encuentran en el rango de 15 kips/pulg² y 30 kips/pulg².

La correlación de aproximación entre CBR y M_R , y entre el R-valor y M_R para materiales de cimiento granular sin ligante es proporcionada en la figura 3-5. Los materiales de cimiento granular no preparado usados en la construcción de carretera típicamente muestran valores de M_R que se encuentran en el rango de 10 kips/pulg² y 20 kips/pulg².

3.2.4.2 Diseño Sección Transversal de un Pavimento

La sección transversal debe ser diseñada de tal manera que cada componente muestre la estructura total del pavimento un número estructural mayor ($SN'i$) que es calculado por la ecuación 3-3. Los espesores de los componentes de la estructura del pavimento son calculados usando la ecuación 3-4.

$$SN'_i = a_i * D_i * m_i \quad [\text{Ecuación 3-4}]$$

Donde:

SN'_i = Número estructural componente de la carretera;

a_i = Coeficiente estructural de capa componente de carretera;

D_i = Espesor de componente de carretera (pulgadas); y

m_i = Coeficiente capa drenaje componente de carretera.

El número estructural del pavimento total es igual a la sumatoria de los componentes de números estructurales:

$$SN' = \sum_{i=1}^n a_i * D_i * m_i \quad [\text{Ecuación 3-5}]$$

Donde:

SN' = Número estructural de la carretera; y

n = Numero de componentes de la carretera.

El coeficiente estructural de capa (a) correlaciona el espesor de un componente a su fuerza. Este coeficiente es una medida de la capacidad del material para funcionar como un componente estructural del pavimento.

El efecto de humedad en la fuerza del componente de pavimento es incorporado en las ecuaciones 3-4 y 3-5 por el coeficiente de capa de drenaje (m). El coeficiente de capa de drenaje representa la magnitud y la duración de la pérdida de fuerza debido a la humedad. Los valores de (m) son dependientes del tipo de material, fuerza, condiciones de drenaje y condiciones del tiempo en la zona. Lo siguiente son discusiones de los parámetros de entrada a las ecuaciones 3-4 y 3-5.

Coeficientes Estructural de Capa

La determinación de los valores de (a) esta basado en la experiencia del rendimiento y la construcción local y en las correlaciones para las propiedades de los materiales disponibles. Puede ser usado la figura 3-4 a través de 3-8 para la estimación de valores de (a) para los

varios tipos de materiales del pavimento basados en CBR, R-valor o módulos. Los siguientes valores de (a) son típicos para carreteras construidas con materiales de calidad:

- Revestimiento asfáltico, $a_1 = 0.39$ a 0.44 ;
- Vía de base empedrado, $a_2 = 0.11$ a 0.14 ; y
- Cimiento arena gruesa, $a_3 = 0.08$ a 0.11

Las agencias locales DOT pueden ser útiles proporcionando al usuario valores típicos de los materiales de construcción local.

Coefficientes de Capa de Drenaje.

Significativamente la humedad influye directamente en el rendimiento de la carretera. La carretera se va debilitando con la presencia de agua en la estructura del pavimento. El agua dentro de la estructura de una carretera contribuye a: (i) ablandamiento del cimiento y del terreno de fundación; (ii) pumping del firme, cimiento y del terreno de fundación; y (iii) levantamiento por congelamiento (“frost heave”). Estas condiciones aceleran el deterioro de la estructura del pavimento e incrementa el costo del mantenimiento de la carretera.

Los coeficientes de capa de drenaje representan la magnitud y duración de pérdida de fuerza debido a la humedad. Los materiales con mayor capacidad para transmitir o drenar agua generalmente son menos afectados por la humedad y rápidamente recuperan la fuerza después de la exposición de la humedad. Los valores mayores de (m) son asociados con estos materiales. Las medidas tomadas para remover agua de la estructura del pavimento también se incrementarán los valores de los componentes de (m). La Tabla 3-13 proporciona valores de (m) de los materiales recomendados para el firme y cimiento sueltos de pavimentos asfálticos.

Se recomienda al usuario comunicarse con las agencias DOT para valores típicos de (m) para los materiales de construcción local. Es posible que el efecto de humedad en el revestimiento de concreto asfáltico no sea considerado en la guía de diseño de AASHTO. Por consiguiente, el coeficiente de capa de drenaje de $m = 1$, es seleccionado para el asfalto y materiales granulares sin ligante.

Los coeficientes de capa de drenaje deben ser seleccionadas para ser representativo de las condiciones a lo largo de vida del período de diseño de la estructura del pavimento. El Ingeniero, para el diseño deberá considerar las posibles obstrucciones en las estructuras de drenaje y la reducción latente de la capacidad de los materiales del firme y cimiento para drenar el agua de la estructura pavimento en el período de diseño. Los suelos de grano fino que ingresan dentro del firme o cimiento granular reducen la capacidad de estas capas para transportar el agua fuera de la estructura del pavimento. Con la obstrucción puede reducir significativamente la capacidad de los sistemas de drenaje de los agregados construidos sobre sedimentos cohesivos o no cohesivos y arcillas. Con la obstrucción gradual de los agregados durante el período de diseño deberá ser considerado cuando seleccionan valores de (m).

En la construcción se ha tomado medidas para mejorar la capacidad de los materiales del firme y cimiento granular para drenar sin dificultad mejorando los componentes de los valores de (m). La inclusión de un geotextil de estabilización entre el terreno de fundación y el agregado de la carretera puede permitirle al Ingeniero de seleccionar valores más altos de (m) para el período de diseño.

3.2.4.3 Aplicación del Catálogo Peruano para el Diseño Estructural de Pavimento del Prof. Ing° Samuel Mora Quiñones.

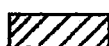
A continuación se incluye el catálogo propuesto por el Prof. Mora, a fin de verificar los diseños propuestos.

CATALOGO 3-1 PROPUESTA DE UN CATALOGO PERUANO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO ASFALTICO

VALORES DE CBR	TIPO DE TRÁFICO		
	LIVIANO	MEDIANO	PESADO
<=3	DISEÑO ESPECIFICO DE LA ZONA		
4 - 7			
8 - 12			
13 - 17			
18 - 21			

EQUIVALENCIAS ADOPTADAS:

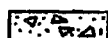
2.5 de M. Asfáltica <=> 5.0 cm de M. Firme
 2.5 de M. Asfáltica <=> 5.0 cm de M. Cimiento



REVESTIMIENTO



CIMIENTO



FIRME



TERRENO DE FUNDACIÓN

3.2.5.0 DISEÑO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

El diseño de camino pavimentado de concreto hidráulico es efectuado por AASHTO resolviendo para el espesor del pavimento Concreto Cemento Portland requerido usando la ecuación 3-6.

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10} W_{18} = & 7.35 * \text{Log}_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\text{Log}_{10}[(p_t - p_i)/(4.5 - 1.5)]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \\ & + (4.22 - 0.32P_t) * \text{Log}_{10} * \left[\frac{S'_c * C_d * [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 * J * [D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_o/k)^{0.25}}]} \right] - \text{Log}_{10} F_R \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 3-6]}$$

Donde:

W_{18} = Carril de diseño ESAL;

F_R = Factor fiabilidad de diseño;

D = Espesor del pavimento concreto cemento portland (pulgadas);

P_i = Índice de serviciabilidad de carretera inicial;

P_t = Índice de serviciabilidad de carretera terminal;

S'_c = Módulo de ruptura concreto cemento portland (lb/pulg²);

J = Coeficiente de transferencia de carga;

C_d = Coeficiente de drenaje;

E_o = Módulo de elasticidad del concreto cemento portland (lb/pulg²); y

k = Módulo de reacción del terreno de fundación (lb/pulg³).

Amospec resuelve la ecuación 3-6 para el espesor del pavimento de concreto (D) basado en la introducción de variables restantes del usuario. La información de la variable W_{18} representa la carga de tráfico del carril de diseño. La discusión de los principios de diseño relacionado a la carga de tráfico se presenta en la sección 3.2.3.3 de este capítulo. La introducción las variables p_t y p_i son relacionados para una capacidad de la estructura del pavimento para servir al tráfico. Refiérase a la sección 3.2.3.4 para una discusión de introducción de estas variables. La introducción de variable F_R incorpora un factor de seguridad dentro de la estructura del pavimento de diseño, por tal razón se incrementa la probabilidad de la estructura del pavimento que cumplirá su función intencional sobre el

período de diseño. Refiérase a sección 3.2.3.2 para una discusión de la introducción de esta variable.

Los variables restantes a la ecuación 3-6 son relacionados para las propiedades de los materiales componentes de la carretera. Lo siguiente es una discusión de las propiedades de los materiales de la estructura del pavimento de concreto hidráulico.

3.2.5.1 Coeficiente de Drenaje

Como en los pavimentos asfálticos, los coeficientes de capa de drenaje (C_d) representan para los pavimentos de concreto hidráulico una medida del efecto de humedad sobre los componentes del pavimento. Los coeficientes capa de drenaje típicos para los pavimentos de concreto hidráulico son proporcionados en la tabla 3-14. Se recomienda al usuario comunicarse con las agencias locales DOT para los valores típicos de C_d de los materiales de construcción.

Significativamente la humedad actúa directamente en el rendimiento de la carretera. La carretera pierde rendimiento con la presencia de agua en el sistema estructural de la carretera. El agua dentro de la estructura del pavimento contribuye a: (i) ablandamiento del cimiento y del terreno de fundación; (ii) pumping del cimiento y del terreno de fundación; y (iii) levantamiento por congelamiento. Estas condiciones aceleran el deterioro de la estructura del pavimento y se incrementa el costo de mantenimiento de la carretera. Los coeficientes capa de drenaje representan la magnitud y duración de la pérdida de fuerza debido a la humedad. Los materiales con mayor capacidad para transmitir o drenar agua son generalmente los menos afectados por la humedad y rápidamente recuperan la fuerza después de la exposición de la humedad.

Los coeficientes de capa de drenaje deberán ser seleccionados para ser representativo de las condiciones a lo largo del período de diseño en la estructura pavimento. El Ingeniero, para el diseño deberá considerar las posibles obstrucciones en las estructuras de drenaje y la reducción latente de la capacidad de los materiales del cimiento para drenar el agua durante el período de diseño sobre el pavimento estructural. Los suelos de grano fino que ingresan dentro del cimiento granular reducen la capacidad de estas capas para transportar agua fuera de la estructura del pavimento. La obstrucción puede reducir significativamente la capacidad

de los sistemas de drenaje de los agregados construidos sobre sedimentos cohesivos o no cohesivos y arcillas. Deben considerarse las obstrucciones graduales del agregado durante el período de diseño cuando se seleccionan los valores de C_d .

En la construcción se han tomado medidas para mejorar la capacidad de los materiales granulares del cimiento para drenar sin dificultad, mejorando los valores de los componentes C_d . En algunos casos, la inclusión de un geotextil de estabilización entre el terreno de fundación y agregado de carretera al Ingeniero puede permitirle seleccionar valores más altos de C_d .

3.2.5.2 Módulo Efectivo Reacción del Terreno de Fundación

El módulo efectivo de reacción del terreno de fundación (k) es usado para definir el nivel de soporte que será proporcionado por el cimiento y el terreno de fundación subyacente al pavimento. Como con el módulo resiliente, el módulo de reacción del terreno de fundación relaciona la deformación material al esfuerzo aplicado. El módulo de reacción del terreno de fundación es igual al esfuerzo aplicado (lb/pulg^2) dividido por la desviación (pulg). El módulo efectivo de reacción del terreno de fundación (k) es igual a los módulos combinados de reacción del terreno de fundación del cimiento y del terreno de fundación.

Los valores de (k) son dependientes sobre el tipo de material, espesor, condición de humedad, temperatura y estado de esfuerzo. Los valores de (k) varía con las estaciones cambiantes. AASHTO [1986] recomienda al Ingeniero de diseño evaluar el promedio de valores de (k) para cada estación y usar un favorable valor de (k) para el diseño de la carretera. Sin embargo, Asociación Cemento Portland reporta valores de (k) representativos de la primavera o de bajas condiciones de humedad que son aceptables para propósitos de diseño [Asociación Cemento Portland, 1984]. El Ingeniero de diseño debe evaluar la aplicabilidad de esta hipótesis a las condiciones locales de la zona.

Los valores de (k) son determinados de los ensayos de placa-carga estática de los materiales del cimiento o del terreno de fundación realizados in-situ. Los procedimientos para la evaluación de (k) son proporcionados en ASTM D 1196. También pueden obtener valores de (k) de la carretera de prueba, sección transversal experimental o experiencias locales anteriores.

El ensayo de placa de carga, prueba de carretera y la sección transversal experimental son costosas y se requiere tiempo. Además, los datos de campo de este tipo raras veces son disponibles previamente al diseño de la carretera. Como resultado, Ingeniero diseñador estima con frecuencia valores de (k) por correlación a CBR o R-valor. La Asociación Cemento Portland informa que esta aproximación es válida porque la determinación exacta de (k) no es requerida. Las variaciones normales del valor (k) estimado no afectan apreciablemente los requerimientos de espesor del pavimento [Asociación Cemento Portland, 1984].

Para evaluar (k) , el usuario deberá seleccionar un espesor del cimiento del pavimento de concreto hidráulico. El propósito del cimiento para la estructura del pavimento de concreto hidráulico es para prevenir el bombeo, inflado y levantamiento por congelación del terreno de fundación [Asociación Cemento Portland, 1991].

La selección del espesor del cimiento para prevenir el pumping puede ser logrado a través del diseño de la capa estabilizadora como se describió en la sección 3.2.2.2. Para suelos susceptibles a inflado y levantamiento por congelación, el lector debe referirse a Asociación Cemento Portland, [1991]. El lector también debe referirse a Asociación Cemento Portland, [1991] para las recomendaciones del espesor del cimiento y los requerimientos de gradación.

Lo siguiente simplifica el procedimiento que puede ser usado para estimar los valores de (k) :

- Calcular el espesor del cimiento granular usando el procedimiento perfilado por el espesor de la capa estabilizadora en la sección 3.2.3.2.
- Para una estructura de pavimento de concreto hidráulico construido sobre un cimiento granular suelto, seleccione el módulo compuesto de reacción del terreno de fundación k_{∞} de la tabla 3-15 basado en el valor CBR ó R-valor y el espesor del cimiento granular. Alternativamente, k_{∞} puede ser encontrado usando la figura 3-9 basado en: (i) espesor del cimiento; (ii) módulo resiliente del cimiento; y (iii) módulo resiliente del terreno de fundación.
- Si es una fundación rígida, como lecho de roca, y cae dentro de 10 ft de la superficie del terreno de fundación, modifique k_{∞} como se muestra en la figura 3-10.
- Seleccione un factor de pérdida de soporte de la tabla 3-16.
- Encuentre el módulo efectivo de reacción del terreno de fundación usando la figura 3-11 y el factor de pérdida de soporte seleccionado.

Con el módulo efectivo de reacción del terreno de fundación encontrado de los pasos anteriores se ingresa en la ecuación 3-6 o en el programa de cómputo Amospec. El usuario necesitará para evaluar diversas secciones del pavimento con agregados cambiantes y espesores del pavimento para determinar el mayor costo efectivo de la sección transversal del pavimento.

El factor de pérdida de soporte (L_S) es seleccionado basado en la pérdida anticipada de soporte para la estructura del pavimento sobre el período de diseño. Las agencias de diseño no están de acuerdo con respecto a la incorporación de L_S en la ecuación de diseño del pavimento de concreto hidráulico. La Asociación Cemento Portland, sostiene que la pérdida de soporte ya es considerada en el diseño de aproximación AASHTO [1986]; por consiguiente $L_S = 0$. El usuario se recomienda comunicarse con las agencias locales DOT que consideran referente a las prácticas locales para incorporar la pérdida de soporte al diseño de la carretera.

3.2.5.3 Módulo de Ruptura del Concreto Cemento Portland

El módulo de ruptura del concreto cemento portland (S'_c) se requiere solamente para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico. El módulo de ruptura requerido por el procedimiento de diseño, es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios de una viga. Si la practica standard de la agencia indica el uso de la carga en el punto central, deberá hacerse una correlación entre ambos ensayos. Los procedimientos para evaluar módulo concreto de ruptura son proporcionados en los métodos de prueba AASHTO T 97 o ASTM C 78.

Para el diseño de estructuras del pavimento, los valores de S'_c son determinados después de permitir el curado del concreto para un período de 28 días. El módulo de ruptura de un concreto es dependiente de la mezcla del concreto, agregados, y aditivos. Los concretos de calidad fabricados con agregados típicos usualmente muestran fuerzas de flexión dentro del rango de 600 lb/pulg² a 650 lb/pulg². En algunas áreas del país, los agregados del concreto son típicos de tal manera que tienen un módulo de ruptura que pueden ser de 550 lb/pulg². Pueden estimarse valores de S'_c de resistencia a la compresión del concreto usando la tabla 3-17.

Deben notarse que el requerimiento del proyecto típicamente especifica la resistencia a la compresión del concreto y los valores del módulo de ruptura, estos representan valores mínimos. Las características técnicas normalmente permiten sólo un porcentaje pequeño del concreto para fallar con requerimiento de especificación mínimo. El procedimiento de diseño de AASHTO requiere valores de entrada promedio de $S'c$. El factor de fiabilidad de diseño es discutido en la sección 3.2.3.2 incorpora un factor de seguridad en el procedimiento del diseño. Por consiguiente, los valores de $S'c$ de la especificación de construcción se requiere típicamente para ser incrementado a un valor consistente con un valor promedio para la entrada al procedimiento de diseño AASHTO. AASHTO [1986] proporciona más pautas acerca de cómo ajustar el valor de módulo de ruptura en las especificaciones de construcción. Al usuario se recomienda comunicarse con las agencias locales fabricantes de cemento portland para los valores promedio de diseño.

3.2.5.4 Módulo Elástico del Concreto Cemento Portland

El módulo elástico relaciona la deformación elástica al esfuerzo aplicado. Por consiguiente, el módulo elástico es una medida de rigidez del material. El módulo elástico del concreto (E_c) es calculado en el laboratorio usando los procedimientos descritos en ASTM C 469. El módulo elástico de un concreto puede ser estimado de la tabla 3-17. El valor E_c típico esta en el rango entre 4,000,000 lb/pulg² y 5,000,000 lb/pulg².

3.2.5.5 Coeficiente de Transferencia de Carga

El coeficiente de transferencia de carga (J) es usado para controlar la capacidad de la estructura del pavimento de concreto para transferir (distribuir) las cargas a través de discontinuidades tales como juntas o grietas [AASHTO, 1986]. La capacidad de un pavimento para transferir cargas a través de las juntas o grietas es evaluada basado en el tipo de junta y el tipo de soporte del borde dentro del pavimento. El rendimiento de la carretera es asociado con el aumento de la transferencia de carga (valores decrecientes de J).

La transferencia de carga a través de las juntas es dependiente sobre el tipo de junta construido en el pavimento. Los tipos de juntas se describen debajo en orden creciente de transferencia de carga.

- **Pavimento simple con juntas (PJC)** (también conocido como pavimento de concreto simple con juntas). Ningún acero o malla de acero es colocado en las juntas del pavimento. Toda la transferencia de carga resulta del agregado del sistema de enclavamiento o de encerrojamiento.
- **Pavimento concreto articulado (JCP)** (también conocido como pavimento articulado plano). Son colocados dowels de acero liso a través de las juntas de concreto.
- **Pavimento concreto reforzado con juntas (JRCP)** (también conocido como pavimento articulado reforzado). Son construidos dowels de acero liso y malla del alambre en el pavimento.
- **Pavimento concreto continuamente reforzado (CRCP)**. El pavimento es construido con refuerzo continuos de tal manera que se sostienen juntas y grietas firmemente unidos.

Las cargas de tráfico en el borde de un pavimento tienden iniciarse el agrietamiento prematuro y reduce el rendimiento del pavimento. Puede ser mejorado el apoyo en el borde del pavimento a través de la construcción de un carril ensanchada, “loma descubierta” entre el carril y el borde del pavimento, reforzamiento del sardinel y cunetas, y enlace berma lateral de concreto.

La selección de J permite ajustar el rendimiento del pavimento para ambos, la junta y el tipo de apoyo de borde. La Asociación Cemento Portland [1985] presenta recomendaciones de los valores de J para los diversos juntas y apoyos de borde del pavimento. Estas recomendaciones son reproducidas en la tabla 3-18. Las reglas generales siguientes también aplican:

- Para un determinado juego de condiciones, J aumenta generalmente como se incrementa las cargas de tráfico.
- El refuerzo del pavimento debe ser proporcionado para incrementar valores de J para concreto con coeficientes térmicos altos (expansión alta y contracción con temperatura cambiante).

- El refuerzo del pavimento debe ser proporcionado para incrementar valores de J para valores de soporte de cimiento bajos de (k) en el rango de 75 lb/pulg³ a 140 lb/pulg³.
- Los valores de J pueden ser reducidos para carreteras que se expondrán a volúmenes de camiones menores.
- El refuerzo del pavimento debe ser proporcionado para incrementar valores de J para caminos construidos en regiones del país que indican variaciones de temperatura alta.
- Cualquier pavimento que incluye un monolítico o sardinel y cuneta para asegurar la restricción que proporcionan rigidez adicional al borde del pavimento y mantienen tráfico lejos del borde, puede usar valores en la tabla 3-18 para apoyo del borde.

El diseño del pavimento de concreto hidráulico con juntas, refuerzo y los dispositivos de transferencia de carga están más allá del alcance de Amospec y de este trabajo. Para más información que considera estos temas, el lector se envía a AASHTO [1986] o Asociación Cemento Portland para los documentos de guía pertinentes.

3.2.5.6 Aplicación del Catálogo Peruano para el Diseño Estructural de Pavimento del Prof. Ing° Samuel Mora Quiñones.

A continuación se incluye el catálogo propuesto por el Prof. Mora, a fin de verificar los diseños propuestos.

CATALOGO 3-2 PROPUESTA DE UN CATALOGO PERUANO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO

VALORES DE K	TIPO DE TRÁFICO											
	LIVIANO				MEDIANO				PESADO			
< 3.0	DISEÑO ESPECIFICO DE LA ZONA											
3.0 A < DE 6.0												
5.0 A < DE 6.0												
6.0 A < DE 6.5												
	6.5 A < DE 7.0											

LEYENDAS: K = Modulo de Reaccion del Terreno de Fundacion (kg/cm²/cm)
R = Espesor Revestimiento (cm)
C = Espesor Cimiento (cm)
f'c = Resistencia Cilindrica a la Compresion del Concreto Hidraulico

NOTAS:

1. Por razones constructivas se recomienda utilizar una capa de cimiento no menor de 4" (10 cm)
2. Análogamente, se recomienda un espesor de revestimiento no menor de 3" (7.5 cm): WHITE TOPPING
3. Si se realiza un diseño que mejore las características físicas y mecánicas del terreno de fundación, Se recomienda adicionar una capa de cimiento mínimo de 4" (10 cm).

3.2.6.0 DISEÑO DE GEOTEXTILES

El diseño de un geotextil de estabilización requiere la selección de las propiedades de función y durabilidad. Las propiedades de función son aquellas propiedades que son consideradas críticas por el geotextil para realizar funciones deseadas. Las funciones de un geotextil de estabilización son descritas en la sección 3.2.1.2 de este capítulo. Las propiedades de durabilidad son aquellos requeridos por el geotextil para resistir los esfuerzos físicos de la construcción de la carretera.

El programa de cómputo Amospec evalúa los datos de entrada del usuario para proporcionar propiedades de durabilidad del geotextil mínimo recomendado para satisfacer la función de durabilidad. Amospec no evalúa propiedades del geotextil requerido para otras funciones (por ejemplo, filtración y refuerzo). Lo siguiente son discusiones de la función de diseño del geotextil de estabilización para durabilidad.

3.2.6.1 Durabilidad del Geotextil

El geotextil deberá satisfacer ó exceder los requerimientos mínimos de durabilidad. La experiencia anterior indica que el geotextil de estabilización esta sujeta típicamente a la degradación física mínima una vez que el pavimento asfáltico o de concreto hidráulico ha terminado la construcción. Los esfuerzos máximos ejercidos en un geotextil de estabilización ocurren durante la construcción y después de la primera capa de agregado que es colocado sobre el geotextil. Por esta razón, las propiedades de durabilidad para geotextiles de estabilización están seleccionados basado en las condiciones de construcción anticipada.

Las diversas condiciones de construcción se describen en las tablas 3-19 y 3-20 correspondiente a la durabilidad del geotextil requerido mínimo. Los tres grados de durabilidad del geotextil (moderado, alto, y muy alto) relacionan a las condiciones del medio ambiente de severidad creciente. La tabla 3-21 proporciona propiedades del geotextil recomendado mínimo para la durabilidad moderada, alta, y muy alta. Debe notarse que estas categorías de durabilidad recomendado mínimo son basadas en el rendimiento satisfactorio registrado del geotextil instalado. El usuario se recomienda a evaluar las necesidades de durabilidad de cada geotextil de estabilización especificado basados en las condiciones del lugar específico. La condición del proyecto y construcción pueden requerir la selección de

propiedades de mayor durabilidad que aquéllos recomendados en la tabla 3-21. Se recomiendan secciones de prueba de campo para las aplicaciones críticas.

El programa de cómputo Amospec evalúa la durabilidad del geotextil basado en los parámetros de entrada con respecto al lugar y las condiciones de construcción de acuerdo a un sistema de puntaje. La información solicitada por Amospec es presentada en la hoja de cálculo 3-2-4 (hoja de cálculo de durabilidad del geotextil). La hoja de cálculo incluye el número de puntos asignado a cada respuesta. El número total de puntos indica la durabilidad del geotextil recomendado mínimo. Es importante recordar que las preguntas en la hoja de cálculo 3-2-4 aplicar a la construcción la primera capa de agregado sobre el geotextil.

3.2.6.2 Función

Como se discutió en la sección 3.2.1.2, la mayoría diseñan geotextiles de estabilización para la función primaria de separación y la función secundaria de filtración. Los requerimientos de propiedades mínimos recomendado para un geotextil con función primaria de separación son proporcionados en la tabla 3-21. No se recomiendan valores debajo de aquéllos proporcionados en la tabla 3-21. Sin embargo, pueden ser requerido valores mayores por las condiciones del proyecto especificado.

Algunos proyectos requieren diseñar el geotextil de estabilización para filtración. Una carretera construida cerca de una meseta de agua puede ser posible requerir filtración para ser la función primaria del geotextil. El diseño de un geotextil para filtración requiere la selección del tamaño de abertura aparente, permeabilidad, y porcentaje del área abierta. El diseño de geotextiles de filtración está más allá del alcance de este capítulo. Para más información con respecto al diseño de filtración, el usuario debe referirse a Luetlich et al, [1991].

Las propiedades del geotextil recomendadas por Amospec son aplicables a la mayoría de las condiciones del terreno de fundación en que un geotextil de estabilización es requerido para realizar la función primaria de separación y función secundaria de filtración. Amospec no evalúa los datos de entrada del usuario para propiedades de función del geotextil requerida otra que separación. El usuario siempre debe verificar las propiedades del geotextil seleccionado reúnan los requerimientos del proyecto.

3.2.6.3 Factor de Degradación

El espesor del firme o cimiento granular se ha determinado usando AASHTO [1986] y el programa de cómputo Amospec que representa el diseño del espesor granular que deberá mantenerse a través de la vida útil del pavimento. Sin embargo, durante la vida del pavimento, los suelos con terrenos de fundación blandos ($CBR \leq 5$) se introducirá dentro de la capa granular. En la investigación pasada se ha encontrado que la intrusión de un porcentaje relativamente pequeño de partículas de suelos finos del terreno de fundación hacia la capa granular reducirá significativamente la fuerza del agregado (pérdida de capacidad de carga de la base estructural del pavimento). Por consiguiente, el Ingeniero requiere para el diseño de carretera a estimar un incremento del espesor de la capa granular que se perderá por la contaminación debido a los suelos finos del terreno de fundación. El espesor de la capa granular de diseño mínimo se determina de acuerdo con AASHTO [1986] que debe ser aumentado por el espesor del agregado contaminado.

La pérdida de la capa granular debido a la contaminación puede ser expresada como una fracción usando un término definido como el factor degradación del agregado (d_f).

El factor de degradación del agregado es calculado como sigue:

$$d_f = d_a / d_s \quad \text{[Ecuación 3-7]}$$

Donde:

d_a = Espesor del firme o cimiento granular adicional especificada o que está fuera de lo necesitado para el apoyo estructural (pulgadas).

d_s = Espesor del cimiento o firme granular requerido para el apoyo estructural (pulgadas).

Los valores recomendados de d_f son proporcionados en la figura 3-12. La experiencia anterior indica que para suelos de terreno de fundación con CBR de 0.5 a 3.0, entre 120 por ciento ($d_f = 1.2$) y 20 por ciento ($d_f = 0.2$) del espesor capa granular de diseño de la carretera puede perderse debido a la intrusión de finos del terreno de fundación.

Amospec proporcionará al usuario las recomendaciones de dos alternativas de diseño de sección transversal de carretera: un espesor de la capa granular recomendado mínimo proporcionado sin geotextil y la inclusión de consideración para las pérdidas de la

contaminación del agregado, y otro espesor de la capa granular recomendado mínimo proporcionado con un geotextil de estabilización.

3.2.6.4 Comparación del Costo

El programa Amospec proporciona al usuario una producción en la pantalla que muestra una comparación del costo entre dos posibles alternativas de diseño de carretera descrito en la sección 3.2.6.3. Un estudio paramétrico de economía de costo del agregado potencial se efectuó usando el programa de cómputo Amospec. Los resultados del estudio paramétrico son mostrados en la figura 3-13. Esta figura plotea el porcentaje de ahorro del costo agregado de la carretera de diseño alternando con un geotextil versus sin un geotextil para el rango siguiente de variables de entrada:

ESAL	50,000 a 1,000,000
Suelo del terreno de fundación	CBR 0.5 a 6.0
Factor de Degradación del Agregado	Figura 3-12 basado CBR del suelo
Costo Agregado	\$ 15/ton
Densidad Agregado	138 lb/ft ³
M _R Agregado	30 ksi
Costo Geotextil	\$ 0.39/yd ²

La Figura 3-13 sugiere que los geotextiles siempre mantendrán una economía de costo para suelos CBR ≤ 3 . La figura también sugiere que los geotextiles que tienen el potencial para mantener una economía de costo para suelos con CBR ≤ 5 . Aunque los ahorros de costo real son dependientes en los costos relativos del agregado de la carretera y de los geotextiles de estabilización, la figura 3-13 ilustra que los geotextiles siempre deben ser considerado para la construcción de carreteras sobre suelos de terreno de fundación con CBR ≤ 5 .

3.2.7.0 HOJAS DE CÁLCULO DE DISEÑO

Esta sección incluye cuatro hojas de cálculo para el diseño del camino pavimentado. Lo siguiente es una lista de las hojas de cálculo.

- Hoja de cálculo 3-2-1: Evaluación de Tráfico (requerido para el diseño de carretera pavimentado asfáltico y de concreto hidráulico);
- Hoja de cálculo 3-2-2: Diseño del Camino Pavimentado Asfáltico;
- Hoja de cálculo 3-2-3: Diseño del Camino Pavimentado de Concreto Hidráulico; y
- Hoja de cálculo 3-2-4: Durabilidad del Geotextil de Camino Pavimentado (requerido para el diseño de carretera pavimentado asfáltico y de concreto hidráulico).

Se espera que las hojas de cálculo asistan al usuario en la selección de parámetros de entrada para el programa de cómputo Amospec. Cada hoja de cálculo lista los datos requeridos para realizar el diseño de la carretera. Las hojas de cálculo incluyen recomendaciones para la selección de valores para ser usado en el diseño preliminar y el diseño final. En muchos casos, los parámetros de entrada de diseño son dependientes de los materiales de construcción local y prácticas de la construcción. Para estos casos, las hojas de cálculo proporcionan listados de fuentes adicionales obteniendo información de los parámetros de entrada. Las hojas de cálculo también incluyen referencia para secciones apropiadas de este capítulo para las discusiones de valores de entrada.

HOJAS DE CÁLCULO 3-2-1**3.2.7.1 HOJA DE CÁLCULO DE EVALUACIÓN DEL TRÁFICO**

Completar los siguientes ocho pasos para determinar el carril de diseño de la carretera ESAL. Las recomendaciones para los valores de diseño y los valores estimados son proporcionadas en cada paso.

1. Ingrese los tipos de vehículo para la evaluación de tráfico de carretera en la Columna (A) de la tabla W3.1.1.

Tipos de vehículos: Proporcionado en la tabla 3-8A o 3-8B.

Discusión: Sección 3.2.3.3

2. Ingrese el volumen de tráfico inicial anticipado para cada tipo de vehículo en la columna (B) de la tabla W3.1.1

Valor de diseño: Se obtuvo de las agencias locales planificación-urbano.

Basado en los valores ajustados estatal DOT control del camión y datos de peso.

Valor estimado: Basado en los datos de control de tráfico y distribuciones del camión proporcionado en la tabla 3-5.

Basado en los valores ajustados de capacidad de la carretera y distribuciones del camión proporcionado en la tabla 3-5.

Basado en la estimación de ingeniería del volumen de tráfico de carretera y distribuciones del camión proporcionado en la tabla 3-5.

Discusión: Sección 3.2.3.3

3. Tasa de crecimiento selecto del volumen de tráfico anual para cada vehículo.

Valor de diseño: Obtenido de agencias locales planificación-urbano o DOT

Valor estimado: Seleccionado de la tabla 3-6 basado en el tipo del vehículo.

Discusión: Sección 3.2.3.3

4. Ingrese el factor tasa de crecimiento de tráfico para cada tipo de vehículo en la columna (C) de la tabla W3.1.1.

- Valor de diseño: Seleccionado de la tabla 3-7 basado en el período de diseño de carretera y la tasa de crecimiento anual seleccionado en el paso 3.
- Discusión: Sección 3.2.3.3
5. Ingrese el factor ESAL en la columna (D) de la tabla W3.1.1 para cada tipo de vehículo.
- Valor de diseño: Calculado usando los procedimientos perfilados en AASHTO [1986] y estatal DOT, control del camión y datos del peso.
- Valor estimado: Seleccionado de la tabla 3-8A o la tabla 3-8B basado en el tipo del vehículo y sistema de carretera.
- Discusión: Sección 3.2.3.3
6. Calcule ESAL carretera (columna (E)) para cada tipo del vehículo como sigue:
- $$\text{Col (E)} = \text{Col (B)} * \text{Col (C)} * \text{Col (D)}$$
- Discusión: Sección 3.2.3.
7. Sumar todo la columna (E) para llegar a un valor total ESAL para la carretera.
- Discusión: Sección 3.2.3.3
8. Multiplique ESAL carretera por un factor de distribución de dirección (D_D) y factor de distribución de carril (D_L) para llegar al carril de diseño ESAL (W_{18}).
- $$W_{18} = \sum \text{ESAL} * D_D * D_L$$
- Valor de diseño: El valor de D_D basado en el porcentaje de volumen de tráfico anticipado en una dirección (norte, sur, este, el oeste) de carretera.
- Valor de D_L basado en el porcentaje de volumen de tráfico anticipado en el carril de la carretera de volumen más alto.
- Valor Estimado: $D_D = 1.0$ para carretera en una dirección.
 $D_D = 0.5$ para carretera en dos direcciones.
 D_L seleccionado de la tabla 3-9.
- Discusión: Sección 3.2.3.3

HOJA DE CÁLCULO 3-2-2**3.2.7.2 HOJA DE CÁLCULO DE DISEÑO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO**

Determine cada uno de las siguientes variables de entrada para el diseño de un camino pavimentado asfáltico de acuerdo con AASHTO [1986]. Recomendaciones para los valores de diseño y los valores estimados son proporcionadas para cada variable.

I. PROPIEDADES, DENSIDAD Y COSTO MATERIALES,

A. Costo Unitario del Revestimiento Asfáltico \$ _____/ton

Valores típicos: \$20/ton a \$40/ton

Fuentes adicionales: Fábrica del asfalto

B. Densidad del Revestimiento Asfáltico _____ lb/ft³

Valores del diseño: Resultados de ASTM D 2041

Resultados de ASTM D 71

Resultados de AASHTO T 275

Resultados de AASHTO T 166

Resultados de AASHTO T 209

Valores típicos: 120 lb/ft³ a 150 lb/ft³

Fuentes adicionales: Característica técnicas del proyecto

Asfalto del fabricante

C. Costo Unitario del Firme Granular \$ _____/ton

(varía según tipo de material de firme)

Firme granular

Valores típicos: \$5/ton a \$30/ton

Fuentes Adicionales: Agregados del proveedor

D. Densidad del Firme Granular _____ lb/ft³

(varía según tipo de material de firme)

Firme Granular

Valor diseño:	Resultados de ASTM D 1557 Resultados de ASTM D 698 Resultados de AASHTO T 99 Resultados de AASHTO T 180
Valores Típicos:	125 lb/ft ³ a 140 lb/ft ³
Fuentes adicionales:	Especificaciones del proveedor, agregado del proyecto

E. Módulo Resiliente del Firme Granular (E_B) $E_B = \underline{\hspace{2cm}}$ kips/pulg²

(varía según tipo de material)

Valor de diseño:	Resultados de AASHTO T 274 para agregado sin ligante Resultados de ASTM D 4123 para agregado confinado
Valor estimado:	Figura 3-4 para agregado suelto basados en CBR o valor-R Figura 3-6 para agregado confinado basado en estabilidad de Marshall.
Valor típico:	14 kips/pulg ² a 30 kips/pulg ²
Fuentes adicionales:	Fábrica del asfalto
Discusión:	Sección 3.2.4.1

F. Costo Unitario del Cimiento Granular \$ /ton

(varía según tipo de material)

Cimiento Granular

Valor típico:	\$5/ton a \$30/ton
---------------	--------------------

G. Densidad del Cimiento Granular lb/ft³

(varía según tipo de material)

Cimiento Granular

Valor diseño:	Resultados de ASTM D 1557 Resultados de ASTM D 698 Resultados de AASHTO T 99 Resultados de AASHTO T 180
Valor típico:	120 lb/ft ³ a 140 lb/ft ³
Fuentes adicionales:	Especificaciones del proyecto, agregado del proveedor

H. Módulo Resiliente del Cimiento

ESB= _____ kips/pulg²

(varía según tipo material cimiento)

Cimiento Granular

Valor diseño:	Resultados de AASHTO T 274
Valor estimado:	De la Figura 3-5 basado en agregados CBR o valor-R
Valor típico:	10 kips/pulg ² a 20 kips/pulg ²
Fuentes Adicionales:	Agregado del proveedor
Discusión:	Sección 3.2.4.1

II CONDICION DE TRÁFICO Y PROPIEDADES DEL TERRENO DE FUNDACIÓNA. Diseño de vía Carga por Eje Simple Equivalente (W_{18}) W_{18} = _____ ESAL

Valor diseño:	Resultados de la tabla W3.1.1 Evaluación de Tráfico de las hojas de cálculo.
Valor típico:	50,000 a 1,000,000 ESAL
Discusión:	Sección 3.2.3.3

B. Fiabilidad: Desviación Standard Normal

 Z_R = _____

Valor diseño:	Seleccionado de la tabla 3-3 Basado en fiabilidad de la carretera requerida o recomendado en la tabla 3-2
Valor Típico:	-1.7 a 0.0 (nota: signo negativo debe entrar si es aplicable)
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.3.2

C. Fiabilidad: Desviación Standard Total

 S_o = _____

Valor diseño:	Análisis estadístico, datos del rendimiento de carretera local
Valor estimado:	De Tabla 3-4
Valor típico:	0.35 a 0.45 para pavimentos asfálticos
Fuentes adicionales:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.3.2

D. Módulo Resiliente del Terreno de Fundación

 M_R = _____ kips/pulg²

Valor diseño:	Resultados de AASHTO T 274
---------------	----------------------------

Valor estimado:	De la tabla 3-11 basado CBR o valor-R del suelo. De la tabla 3-12 basado clima de región y calidad suelo relativo.
Valor típico:	2.0 kips/pulg ² a 10.0 kips/pulg ²
Discusión:	Sección 3.2.4.1

E. Índice de Serviciabilidad de Carretera Inicial (P_i); y	$P_i =$ _____
Índice de Serviciabilidad de Carretera Terminal (P_t)	$P_t =$ _____
Valor diseño:	Basado en experiencia local
Valor estimado:	De la tabla 3-10
Valor típico;	$P_i = 4.2$; $P_t = 2.0$
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.3.4

III DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

A. Coeficiente Estructural de Capa

Revestimiento de Concreto Asfáltico (a_1)	$a_1 =$ _____
Firme (base) (a_2)	$a_2 =$ _____
Cimiento (subbase) (a_3)	$a_3 =$ _____
Valor diseño:	Basado en experiencia local
Valor estimado:	Para a_1 , usar figura 3-8 basado en módulo elástico del asfalto. Para a_2 , firme granular sin ligante, usar figura 3-4 basado en CBR o valor-R Para a_2 , cimiento granular confinado, usar figura 3-6 basado en estabilidad marshall Para a_3 , cimiento granular, usar figura 3-5 basado en CBR o valor-R
Valor Típico:	$a_1 = 0.39$ a 0.44 para revestimiento de concreto asfáltico $a_2 = 0.11$ a 0.14 para piedra aplastada $a_3 = 0.08$ a 0.11 para arena gruesa
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.4.2

B. Coeficiente Capa de DrenajeFirme (base) (m_2) $m_2 =$ _____Cimiento (subbase) (m_3) $m_3 =$ _____

Valor diseño: Basado en la experiencia local
De la tabla 3-13 basado en las condiciones de humedad y drenaje.

Valor típico: 0.7 a 1.0

Fuente adicional: Local DOT

Discusión: sección 3.2.4.2

C. Factor Degradación Agregado $d_f =$ _____Valor diseño: $d_f = d_a/d_s$

Donde:

$d_a =$ Especificación adicional espesor del firme o cimiento granular que necesita para la compensación de pérdida agregado debido a contaminación (pulgadas); y

$d_s =$ Espesor del firme o cimiento granular que se necesita para apoyo estructural (pulgadas).

Valor estimado: Figura 3-12

Valor típico: 0.1 a 0.8

Discusión: Sección 3.2.6.3

HOJAS DE CÁLCULO 3-2-3

3.2.7.3 HOJA DE CÁLCULO DE DISEÑO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO
HIDRÁULICO

Determine cada uno de las siguientes variables de entrada para el diseño de un camino pavimentado de concreto hidráulico de acuerdo con AASHTO [1986]. Se proporcionan recomendaciones para los valores del diseño y los valores estimados de cada variable.

I. COSTOS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

A. Costo Unitario del Concreto de Cemento Portland \$ _____ /yd³

Valor típico: \$80/yd³ a \$120/yd³

Fuente adicional: Cemento portland del proveedor

B. Costo Unitario del Cimiento \$ _____ /ton

(Varía según el tipo material)

Cimiento Granular

Valor típico: \$5/ton a \$30/ton

Fuente adicional: Agregado del proveedor

C. Densidad del Cimiento _____ lb/ft³

(Varía según el tipo material)

Cimiento Granular

Valor diseño: Resultados de ASTM D 1557

Resultados de ASTM D 698

Resultados de AASHTO T 99

Resultados de AASHTO T 180

Valor típico: 120 lb/ft³ a 140 lb/ft³

Fuente adicional: Especificaciones técnicas del Proyecto, agregado del proveedor

- D. Espesor del Cimiento _____ pulg
- Cimiento Granular
- Valor diseño: Seleccionado a través de la ejecución diseño camino no pavimentado
Basado en tráfico de la construcción.
- Rango de valores: 0 pulg a 24 pulg
- Valor típico: 4 pulg a 12 pulg
- Fuente adicional: Experiencia local. Referencia Asociación Cemento Portland [1984]. Especificaciones del proyecto.
- Discusión: Sección 3.2.5.2 a 3.2.2.5

II. CONDICION DE TRÁFICO Y PROPIEDADES DEL MATERIAL

- A. Diseño Carga por Eje Simple Equivalente (W_{18}) $W_{18} =$ _____ ESAL
- Valor diseño: Resultado del tráfico evaluación de la hoja de cálculo.
- Valor típico: 50,000 a 1,000,000
- Discusión: Sección 3.2.3.3
- B. Fiabilidad: Desviación Standard Normal (Z_R) $Z_R =$ _____
- Valor diseño: Seleccionado de la tabla 3-3 basado en los requerimientos de fiabilidad de la carretera.
- Valor típico: -1.7 a 0.0 (nota: el signo negativo debe entrar si es aplicable).
- Fuente adicional: Local DOT
- Discusión: Sección 3.2.3.2
- C. Fiabilidad: Desviación Normal Total (S_o) $S_o =$ _____
- Valor diseño: Análisis estadístico de datos del rendimiento de la carretera local
- Valor estimado: De la tabla 3-4
- Valor típico: 0.25 a 0.35
- Fuente adicional: Local DOT
- Discusión: Sección 3.2.3.2

D. Módulo Efectivo de Reacción del Terreno de Fundación (k) $k =$ _____ lb/pulg³

Valor diseño:	Resultados de ASTM D 1196
Valor estimado:	De la tabla 3-15 para cimiento granular basado en espesor del cimiento.
Valor típico:	200 lb/pulg ³ a 350 lb/pulg ³
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.5.2

E. Índice de Serviciabilidad de Carretera Inicial (P_i); y $P_i =$ _____
 Índice de Serviciabilidad de Carretera Terminal (P_t) $P_t =$ _____

Valor diseño:	Basado experiencia local
Valor estimado:	Tabla 3-10
Valor típico:	$P_i = 4.5$; $P_t = 2.0$
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.3.4

F. Módulo Elástico del Concreto Cemento Portland (E_c) $E_c =$ _____ lb/pulg²

Valor diseño:	Resultados de ASTM C 469
Valor estimado:	De la Tabla 3-17 basado en fuerza compresiva del concreto
Valor típico:	4,000,000 lb/pulg ² a 5,000,000 lb/pulg ²
Fuente adicional:	Distribuidor del Concreto Cemento Portland. Especificaciones del proyecto.
Discusión:	Sección 3.2.5.4

G. Módulo de Ruptura del Cemento Portland (S'_c) $S'_c =$ _____ lb/pulg²

Valor diseño:	Resultados de AASHTO T 97 Resultados son ASTM C 78
Valor estimado:	Tabla 3-17 basado en fuerza compresiva del concreto
Valor típico:	500 lb/pulg ² a 650 lb/pulg ²
Fuente adicional:	Distribuidor del Concreto Cemento Portland Especificaciones del proyecto.
Discusión:	Sección 3.2.5.3

H. Coeficiente Carga Transferencia (J)

J=_____

Valor diseño:	De la tabla 3-18 basado en experiencia local.
Valor típico:	3.0 a 4.0
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.5.5

I. Coeficiente de Drenaje (C_d) C_d =_____

Valor diseño:	De la tabla 3-14 basado experiencia local.
Valor típico:	0.8 a 1.2
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.5.1

HOJA DE CALCULO 3-2-4

3.2.7.4 DURABILIDAD DEL GEOTEXTIL DEL CAMINO PAVIMENTADO

Las respuestas a las siguientes ocho preguntas cualitativas son evaluadas por Amospec para la selección de una evaluación mínimo recomendado para la durabilidad del geotextil. Cada respuesta a las ocho preguntas se le asigna un puntaje. Lo mínimo recomendado de durabilidad del geotextil es basado en el número total de puntos para todas las ocho preguntas como se muestra la tabla 3.21.1

1. Seleccione la letra apropiada que corresponde a la presión de contacto o presión del neumático máximo anticipado aplicado al firme granular durante la construcción.

			<u>Puntos</u>
A.	0–4 psi	Case 950LPG Dozer	0
B.	4 – 8 psi	Cat D4H Dozer	10
C.	8–35 psi	Loaders Wheel (Rueda)	20
D.	35 – 100 psi	Construcción Trucks	30
E.	más 100 psi	Highway Trucks	40

2. Ingrese el espesor mínimo de capa de cimientto/firme granular que envuelve el geotextil (pulgadas)

$$\text{Puntos} = (-2) * (\text{espesor agregado}) + 48$$

3. ¿Cuál es el máximo diámetro del agregado para ser colocado en contraste de la parte superior del geotextil (pulgadas)?

$$\text{Puntos} = (-2) * (\text{diámetro agregado}) + 1; \text{ y si } (\text{diámetro agregado}) > 1/2 * (\text{espesor agregado}),$$

$$\text{Puntos} = \text{Puntos} + 3; \text{ y si } (\text{diámetro agregado}) > 3/4 * (\text{espesor agregado}), \text{ Puntos} = \text{Puntos} + 3.$$

4. ¿Cuál es la angulosidad del agregado que será puesto en el geotextil?

	<u>Puntos</u>
A. Bien redondeado	0
B. Redondeado	7
C. Subredondeado	15
D. Subangular	23
E. Angular	30

5. ¿Cuál es la condición del suelo debajo del geotextil?

	<u>Puntos</u>
A. Suelo grano-fino con una superficie lisa	0
B. Suelo grano-fino con depresiones excedentes poco profundo que no exceden 6-pulg. de profundidad.	10
C. Superficie de terreno natural con depresiones que no exceden 12-pulg. de profundidad	20
D. Agregado	30
E. Superficie de terreno natural con alguna piedra y/o otras ruinas	30
F. Superficie de terreno natural con depresiones significantes y/o ruinas	40

6. ¿Cuál es la resistencia al corte promedio del suelo terreno de fundación debajo del geotextil?

	<u>CBR</u>	<u>Mod. Reacción del Terreno de fundación</u>	<u>Puntos</u>
A. menos de 500 psf	< 1	< 30 psi/pulg	20
B. 500 – 1000 psf	1 - 2	30 – 60 psi/pulg	15
C. 1000 – 1800 psf	2 - 3	60 – 100 psi/pulg	10
D. 1800 – 3000 psf	3 - 5	100 – 150 psi/pulg	5
E. mayor que 3000 psf	> 5	> 150 psi/pulg	0

7. ¿Qué puntaje de supervisión en la construcción se realizará durante la colocación del geotextil y los materiales agregados superyacente (sobretendido)?

	<u>Puntos</u>
A. Supervisión cerrada	0
B. Supervisión regular	2
C. Supervisión moderada	4
D. Supervisión pequeña	6
E. No Supervisión	10

8. ¿Qué tiempo será permitido el tráfico en la carretera antes de la pavimentación?

	<u>Puntos</u>
A. Ningún tráfico excepto la colocación de pavimento	0
B. 3 días	2
C. 2 semanas	4
D. 2 meses	6
E. más 2 meses	10

3.3.0.0 DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

El programa Amospec diseña el revestimiento realizando cálculos y evaluaciones de Ingeniería para el diseño de revestimiento del pavimento asfáltico para carreteras existentes. Amospec incluye opciones para el diseño de revestimientos en estructuras de pavimento asfáltico o de concreto hidráulico existentes. Amospec asiste al usuario con los siguientes aspectos del diseño revestimiento asfáltico:

- Evaluación de la capacidad estructural de la carretera existente;
- Cálculo del espesor del revestimiento requerido basado en la capacidad estructural de la carretera requerido; y
- Guías de preparación y especificaciones del geotextil-revestimiento.

El programa Amospec proporciona también para el diseño de revestimiento la opción al usuario a la introducción de un diseño revestimiento asfáltico. Basado en la información de los parámetros de diseño, Amospec generará una guía de especificación del geotextil-revestimiento.

En la sección 3.3.1 de este capítulo incluye una discusión general de conceptos de diseños del revestimiento asfáltico. Sección 3.3.2 describe la aproximación usado por Amospec para el diseño del revestimiento asfáltico. Se presentan discusiones de los parámetros de entrada en los diseños del revestimiento asfáltico detallados en las secciones 3.3.3 a través 3.3.6. La sección 3.3.7 incluye hojas de cálculo de diseño que habilita al usuario las variables selectas de introducción al Amospec. El usuario se recomienda realizar copias de las hojas de cálculo y completarlos previamente antes de operar el programa Amospec.

3.3.1.0 CONCEPTOS DE DISEÑO

3.3.1.1 Revestimiento

El propósito de una capa de revestimiento asfáltico es prolongar la vida de servicio del pavimento existente. Las dos funciones generales de un revestimiento son: (i) proporciona mejoras funcionales a la carretera; y (ii) proporciona mejoras estructurales a la carretera. Las

mejoras funcionales son aquéllos que realzan la calidad de la superficie del pavimento de la carretera. Estas mejoras comprenden [Darter et al, 1984]:

- Incremento de la resistencia al patinaje;
- Mejora el perfil del pavimento
- Disminuye la rugosidad de la carretera
- Mejora drenaje en la superficie
- Reduce la infiltración de agua
- Retarda el deterioro del medio ambiente; y
- Realza la apariencia

El concepto de diseño de un revestimiento asfáltico involucra simplemente mejorar la función de la selección de un espesor de revestimiento mínimo requerido para mejorar la calidad superficial de la carretera. Los requerimientos para un espesor mínimo de revestimiento son proporcionados en la sección 3.3.2.2.

Las mejoras estructurales son aquéllos que prolongan la vida de servicio del pavimento existente. El objetivo en este caso es para incrementar la capacidad estructural de la carretera para soportar futuras cargas de tráfico. Los revestimientos no se usan para corregir pumping de la carretera o para mejorar la capacidad estructural debido a la pérdida del agregado de la carretera u otras deficiencias estructurales. Estos tipos de degradaciones del pavimento deben ser corregidos previamente antes de la construcción del revestimiento.

3.3.1.2 Geotextil de Revestimiento

Un geotextil de revestimiento es un geotextil no tejido de 3.5 oz/yd² a 7 oz/yd². El geotextil de revestimiento es colocado sobre el pavimento de la carretera existente después de la aplicación de un riego de liga. Operaciones standards que siguen los geotextiles para su funcionamiento e instalación en la pavimentación.

El riego de liga es absorbido por las fibras del geotextil durante la colocación del revestimiento asfáltico en caliente sobre el geotextil. El resultado es baja-permeabilidad de capa del geotextil entre el revestimiento y el pavimento de la carretera existente. Los siguientes son discusiones de las funciones y beneficios de los geotextiles de revestimiento.

Funciones

El geotextil de revestimiento actúa como una barrera hidráulica y como una capa esfuerzo-absorción dentro de la carretera. Los geotextiles de revestimiento también pueden funcionar como una capa de refuerzo. Sin embargo, esta función no es reconocida del todo por parte de los fabricantes.

La función de barrera hidráulica de un revestimiento asfáltico se refiere al papel que cumple el geotextil de limitar la intrusión de agua a través de la superficie de la carretera al agregado subyacente y a las capas de suelo. El motivo predominante para la reparación de grietas en un pavimento de la carretera es para limitar la intrusión de agua dentro de la estructura del pavimento. El noventa por ciento son problemas de humedad en el firme y en el terreno de fundación que resultan de la intrusión de agua a través de la superficie de la carretera [Forsyth, 1990].

El agua excesiva dentro de la estructura del pavimento puede llevar a: (i) ablandamiento de los materiales del terreno de fundación y del cimiento; (ii) pumping de los materiales del terreno de fundación y del cimiento; y (iii) aumento del volumen o fuerza expansiva del terreno de fundación (“frost heave”). Los geotextiles de revestimiento construidos propiamente muestran valores significativamente bajos de permeabilidad que el asfalto y actúa para limitar la intrusión de agua [Forsyth 1990, y Smith 1984]. Como una barrera hidráulica, los geotextiles de revestimiento pueden significativamente incrementar el servicio de vida del pavimento.

La función esfuerzo-absorción de un geotextil de revestimiento se refiere a la capacidad del geotextil de revestimiento para limitar la transmisión de esfuerzos desde el pavimento existente al revestimiento. El movimiento de la carretera existente conduce a fisuras o agrietamientos del pavimento. Este movimiento puede ser debido a los cambios de temperatura del pavimento (inducido por desintegración térmica) o debido a la carga externa (inducido por sobrecargas). El movimiento y deformación del pavimento de la carretera existente continúan después de la construcción del revestimiento. Si el revestimiento es unido al pavimento original, el esfuerzo y el agrietamiento subsecuente del pavimento existente puede ser transmitido al revestimiento en lo que es llamado agrietamiento reflexivo.

El geotextil de revestimiento actúa para proporcionar una superficie deslizante entre el revestimiento y el pavimento existente. Smith [1984] encontró que en la interface del revestimiento geotextil/asfalto se muestra una resistencia al corte aproximadamente igual a la mitad de una interface de asphalt/asphalt. Esto reduce la resistencia al corte que proporciona una superficie deslizante que permite movimientos ligeros del pavimento existente sin transferir los movimientos al revestimiento asfáltico.

Beneficios

Las evaluaciones de campo realizadas por Caltrans han encontrado geotextiles de revestimiento para ser estructuralmente equivalente a 0.10 pies (1.2 pulg) de revestimiento asfáltico en mitigación de carga-inducida (piel de cocodrilo) reflexión de grietas [Caltrans, 1990]. Las reducciones del espesor de revestimiento asfáltico requerido pueden proporcionar disminuciones significantes en los costos de construcción de revestimiento.

Muchas agencias DOT han informado las mejoras en el rendimiento de la carretera y reducciones en los costos de mantenimiento cuando son usados geotextiles de revestimiento. Pueden esperarse en los revestimientos asfálticos que incluyen geotextiles de revestimiento una resistencia inicial de agrietamiento carga-inducida de 2 a 3 años más de lo normal que las carreteras idénticas construidas sin un geotextil de revestimiento. También se han encontrado que los geotextiles son eficaces para el control de grietas longitudinales en carreteras de pavimento asfáltico [FHWA, 1989]. Sin embargo, se informan resultados mixtos de la capacidad de geotextiles de revestimiento para prevenir los agrietamientos inducidos por desintegración térmica.

3.3.2.0 DISEÑO APROXIMADO

3.3.2.1 Diseño de Aproximación de Amospec

Hay diversos métodos disponibles para diseñar el revestimiento asfáltico del pavimento. Los principios de diseño del revestimiento y los procedimientos presentados en este capítulo realizados por el programa Amospec se fundamentan en el rendimiento y los conceptos de serviciabilidad descritos en AASHTO [1986]. Estos conceptos son idénticos a aquellos descritos para el diseño de caminos pavimentados asfálticos (Secciones 3.2.2, 3.2.3 y 3.2.4).

Se conseguirá un completo entendimiento del diseño de revestimiento asfáltico si el usuario ha repasado estas secciones.

El diseño de aproximación realizada por AASHTO se fundamenta en la evaluación de la capacidad estructural de la carretera expresado por el número estructural (SN). El valor de SN de la carretera debe ser mayor que lo exigido para el servicio de tráfico anticipado. El diseño de AASHTO realizado por Amospec puede ser separado en cuatro pasos de diseños generales como se describen a continuación:

- Paso 1 - Calcular el número estructural requerido de la carretera futura
- Paso 2 - Evaluar las condiciones de la carretera existente
- Paso 3 - Calcular el número estructural de la carretera existente; y
- Paso 4 - Diseño del espesor de revestimiento asfáltico para incrementar la capacidad estructural de la carretera existente para un valor mayor que será requerido encontrado en el paso 1.

Se incluyen los procedimientos y recomendaciones detallados para cada uno de los cuatro pasos en las secciones 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, y 3.3.6 respectivamente. La aproximación de diseño descrito en este capítulo asume la capacidad estructural del terreno de fundación, cimiento y firme que son adecuadas para tráfico futuro. Por consiguiente, si existen degradaciones en el terreno de fundación, cimiento, firme de la carretera estos deben repararse previamente antes de la construcción del revestimiento asfáltico. Las recomendaciones para los geotextiles de revestimientos se fundamentan en las guías preparadas por la Task Force 25 [1985] y en las recomendaciones por Caltrans [1990].

3.3.2.2 Espesor Mínimo de Diseño

Hay tres casos generales recomendados para los espesores de revestimiento asfáltico mínimo que reemplazan a los espesores calculados de acuerdo con las guías de diseño.

Los tres casos son:

- Cuando un revestimiento es requerido solamente para mejoras funcionales;
- Cuando el número estructural (SN_x) de la carretera existente es suficientemente grande para requerir un revestimiento menos de 2.0-pulg. de espesor; y
- Cuando es requerido por las condiciones del medio ambiente, materiales de construcción o para resistir el agrietamiento reflexivo.

La FHWA sugiere que el espesor mínimo recomendado del revestimiento asfáltico se encuentra entre 2 pulg. y 4 pulg. dependiendo de las aplicaciones de carga por eje simple equivalente (ESAL). Tabla 3-22 proporciona el espesor mínimo del revestimiento asfáltico recomendado por FHWA. El Instituto del Asfalto recomienda un mínimo de 4 pulg. de espesor de revestimiento asfáltico sobre pavimentos de concreto hidráulico para prevenir agrietamiento reflexivo. Tabla 3-23 incluye espesores mínimo de revestimiento para pavimentos de concreto hidráulico recomendados por AASHTO [1986]. Porque el agrietamiento reflexivo es causado en parte por la expansión térmica y la contracción del pavimento subyacente, se proporcionan recomendaciones de los espesores mínimos en la tabla 3-23 como una función de la longitud de loza del pavimento de concreto hidráulico existente y la temperatura ambiente máximo que fluctúan en el lugar. La tabla 3-24 resume las fluctuaciones de temperatura máximo anticipado para las ciudades seleccionadas en los Estados Unidos. Darter et .al. [1984] se presenta algunas guías de los espesores mínimas generales basados en los materiales de construcción del revestimiento. Estas guías incluyen lo siguiente:

- El espesor del revestimiento aceptable mínimo es aproximadamente 1.5 veces del tamaño máximo del agregado de revestimiento.
- El espesor del revestimiento mínimo requerido se incrementa con las temperaturas de ambiente decrecientes debido al rápido enfriamiento del asfalto.
- El revestimiento asfáltico debe ser de mayor espesor para resistir la circulación libre en el pavimento existente.
- Si es de mayor espesor el revestimiento asfáltico retarda el desarrollo del agrietamiento reflexivo. El espesor mínimo requerido varía según la severidad del agrietamiento del pavimento existente y la calidad de los materiales de construcción.

Amospec notificará al usuario que si la evaluación estructural de datos de entrada indica que un revestimiento asfáltico no es requerido para la mejora estructural de la carretera. Si no se requiere un revestimiento, Amospec notificará al usuario si la evaluación estructural de datos de entrada indicados en un revestimiento asfáltico no es requerida para la mejora estructural en la carretera. Si un revestimiento no es requerido, Amospec la dará la opción para interrumpir el diseño o para preparar las especificaciones de geotextil de revestimiento preliminar asumiendo un espesor mínimo de revestimiento recomendado. Amospec también tendrá como valor predefinido de un espesor mínimo del revestimiento recomendado cuando

el resultado de los cálculos de capacidad estructural de un espesor de revestimiento esta por debajo de valores recomendados.

Para el revestimiento de pavimentos asfálticos existentes, Amospec es programado con un espesor mínimo de revestimiento predefinido y recomendado de 2.0 pulg. Este valor por defecto se fundamenta en los resultados amplios de una evaluación de campo en el rendimiento del revestimiento realizado por Caltrans [1991].

Para el revestimiento de pavimentos de concreto hidráulico existentes, Amospec es programado con un espesor mínimo de revestimiento predefinido y recomendado de 4.0 pulg. El Ingeniero de diseño es finalmente responsable para determinar espesor mínimo de revestimiento asfáltico basado en el ambiente del proyecto, ambiente de la construcción, materiales de construcción y mitigación de agrietamiento reflexivo. Las agencias locales DOT tienen como requerimiento un espesor mínimo de revestimiento. El ingeniero de diseño se aconseja para darse cuenta de, y adhiere a, políticas de diseños locales.

3.3.2.3 Selección del geotextil de revestimiento

Las propiedades físicas recomendados mínimos para geotextiles de revestimiento asfáltico son proporcionadas en Task Force 25 [1985] y FHWA [1989].

3.3.3.0 NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA UNA CARRETERA

El número estructural de la carretera futura requerido (SN_y) es calculado usando la Ecuación 3-8.

$$\begin{aligned} \log_{10} W_{OL} = & 9.36 * \log_{10}(SN_y + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}[(pi-pt)/(4.2-1.5)]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_{OL} + 1)^{5.19}}} \\ & + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07 - \log_{10} F_R \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 3-8]}$$

Donde:

W_{OL} = Revestimiento del carril de diseño ESAL;

F_r = Factor de fiabilidad de diseño;

P_i = Índice de serviciabilidad de camino inicial;

- P_t = Índice de serviciabilidad de camino terminal;
 M_r = Módulo resiliente del terreno de fundación (lb/pulg²); y
 SN_y = Número estructural de una carretera requerida.

El usuario reconocerá la ecuación 3-8 casi idéntico a la ecuación 3-3 proporcionado en la sección 3.2.4.1. las discusiones de cada uno de los parámetros de entrada en la ecuación 3-8 son presentados en las secciones 3.2.3, y 3.2.4 de este capítulo. Las hojas de cálculo 3-3-2 en la sección 3.3.7 pueden ser usadas para asistir en la selección de parámetros de entrada a la ecuación 3-8. Las hojas de cálculo lista los datos de entrada requeridos e incluye recomendaciones para las selecciones de valores de entrada. Lo siguientes son discusiones adicionales de cada parámetro de entrada ya que ellos relacionan para el diseño del revestimiento.

3.3.3.1 Diseño de Fiabilidad

El factor de diseño de fiabilidad (F_R) es ingresado en la ecuación 3-8 y es calculada desde la ecuación 3-1 proporcionada en la sección 3.2.3.2. Amospec calcula automáticamente F_R basado en los valores de entrada de Z_R y S_o . Tabla 3-2 presenta niveles de fiabilidad sugeridos por AASHTO [1986]. El valor de Z_R es seleccionado de la tabla 3-3 basada en la fiabilidad de diseño deseado. El concepto de fiabilidad de diseño se discutió en detalle en la sección 3.2.3.2. Los valores de S_o son seleccionados basados en el rendimiento de los pavimentos de las carreteras locales. Los valores típicos de S_o son proporcionados en la tabla 3-4. Para diseños preliminares, los usuarios del programa Amospec pueden dar valores de entrada aproximados de S_o basado en las recomendaciones proporcionadas en la tabla 3-4. Para el diseño final, al usuario se le recomienda valores de entrada sugeridos por las agencias locales DOT.

Debido a la consideración del factor de diseño de fiabilidad, el usuario es prevenido a usar estimaciones conservadoras de volumen de tráfico de carretera, la propiedad de los materiales e índices del serviciabilidad. Para todas las evaluaciones de éstos parámetros de entrada, el Ingeniero es recomendado a utilizar las estimaciones más exactas de valores PROMEDIO disponible.

3.3.3.2 Análisis de Tráfico del Revestimiento

El objetivo del análisis de tráfico del revestimiento es para determinar el número anticipadas de aplicaciones ESAL a la carretera de carril de diseño entre el tiempo cuando se ha construido el revestimiento de la carretera y cuando la carretera requerirá un revestimiento subsecuente o rehabilitación. La evaluación de carril de diseño ESAL requiere la selección del período de diseño de la carretera. El período de diseño de la carretera es discutido en detalle en la sección 3.2.3.1. El período de diseño típico para un revestimiento asfáltico se encuentra en el rango de 10 y 20 años.

El carril de diseño ESAL puede ser determinado desde la hoja de cálculo 3-2-1. Detalles con respecto al cálculo del carril de diseño ESAL son presentados en la sección 3.2.3.3. La determinación del tráfico del revestimiento impacta significativamente en el diseño del revestimiento. El Ingeniero se recomienda a esforzarse para llegar a la mejor estimación del valor promedio de ESAL.

3.3.3.3 Serviciabilidad del Revestimiento

El concepto de serviciabilidad de la carretera es discutido en detalle en sección 3.2.3.4. Tabla 3-10 proporciona valores recomendados de serviciabilidad inicial (p_i) y de serviciabilidad terminal (p_t). Los valores de serviciabilidad recomendados son proporcionados en la tabla 3-10 basados en la pérdida de serviciabilidad de carretera debido al tráfico. Sin embargo, la pérdida de serviciabilidad de la carretera debido a las condiciones del medio ambiente también debe ser considerada como se discutió en la sección 3.2.3.4. La serviciabilidad inicial (p_i) debe seleccionarse para ser representativo en la carretera inmediatamente después de la construcción del revestimiento. Los valores de (p_i) se encuentran generalmente entre 4.0 y 4.3. Los valores de (p_t) entre 2.5 y 3.0 son generalmente seleccionados si se espera que la carretera tiene un segundo revestimiento construida al final del primer período de diseño.

3.3.3.4 Módulo Resiliente del Terreno de Fundación

El módulo resiliente in-situ (M_R) de la carretera existente debe ser usado en la ecuación 3-8. La comprobación de laboratorio destructivo (AASHTO Método de ensayo T274) y la comprobación no destructiva puede ser usada para determinar el módulo resiliente del suelo.

AASHTO [1986] sugiere que los valores de M_R sean preferentemente derivados de la comprobación no destructivo. Una discusión detallada del módulo resiliente del suelo del terreno de fundación se presenta en la sección 3.2.4.1. La comprobación no destructiva es discutida en la sección 3.3.4.3.

Las correlaciones aproximadas entre el suelo CBR y M_R , y entre suelo R-valor y M_R son proporcionados en la tabla 3-11. Sin embargo, el usuario debe reconocer que los diversos métodos de prueba usados por diferentes agencias de estado DOT pueden influir en estas correlaciones. Los valores del terreno de fundación M_R recomendados en AASHTO [1986] para las varias regiones climáticas en los Estados Unidos son proporcionados en la tabla 3-12. Las regiones climáticas correspondientes son ilustradas en la figura 3-3. El suelo del terreno de fundación de la carretera muestra valores típicos de M_R en el rango de 2 ksi y 7 ksi.

3.3.4.0 EVALUACIÓN DE CONDICIÓN DE LA CARRETERA EXISTENTE

La condición de la carretera existente es evaluada para los propósitos siguientes:

- Para el estudio de las degradaciones del pavimento existente;
- Para determinar las causas de las degradaciones del pavimento existente;
- Para la determinación de la capacidad estructural efectiva de la carretera existente; y
- Para predecir vida de servicio de carretera restante.

La evaluación y reparación de las degradaciones del pavimento existente es crítico para reconstruir con éxito una carretera. Hay cuatro evaluaciones generales de aproximación para las estructuras de pavimento de carretera. Estas aproximaciones son: (i) observación visual, (ii) comprobación destructiva, (iii) comprobación no destructiva, y (iv) análisis de datos históricos. Lo siguiente son descripciones breves de cada herramienta de evaluación.

3.3.4.1 Observación Visual

La observación visual es usada para la identificación de las degradaciones del pavimento, la estimación de la capacidad estructural del pavimento y la predicción de vida del pavimento restante. Algunos Ingenieros y agencias DOT utilizan sistemas de puntos conjuntamente con la observación visual para la estimación de la capacidad estructural del pavimento y la

predicción de vida restante del pavimento. La hoja de cálculo 3-3-1 proporciona un posible sistema de punto para la evaluación de los caminos pavimentados asfálticos.

La exactitud del método de observación visual no puede confiarse para la selección de un valor de diseño de la capacidad estructural de la carretera debido a la subjetividad de la evaluación y la imposibilidad de observar materiales debajo superficie del pavimento sin la comprobación destructiva. Sin embargo, la aproximación es simple para ejecutar y los resultados son útiles fijando la exactitud y la validez de otros resultados de evaluación. Se proporciona más información con respecto a la aproximación de la observación visual de la evaluación de la carretera en la sección 3.3.5.1.

3.3.4.2 Comprobación Destructiva

La comprobación destructiva involucra traslados físicos de muestras del pavimento de una carretera. Extraer del centro una muestra típica de pavimento de la carretera con un equipo 4-pulg a 6-pulg de diámetro. Las muestras son trasladadas hacia el laboratorio para su respectivo ensayo. El agujero del centro resultante pone en peligro el agregado de la carretera subyacente y los materiales del suelo del terreno de fundación. Pueden realizarse ensayos de carga a través de los agujeros resultantes en los agregados y suelos expuestos o puede extraerse muestras para la comprobación del laboratorio.

Los siguientes parámetros de diseño pueden determinarse a través de la comprobación destructiva:

- Materiales y espesores de los componentes de la carretera;
- Módulo del pavimento; y
- Módulos del firme, cimienta y terreno de fundación in-situ.

Un programa de comprobación destructivo es limitado, se recomienda verificar los resultados de los valores del módulo de la comprobación no destructiva de la carretera. La escala de comprobación destructivo requerida depende de la experiencia en el pasado con un equipo de comprobación no destructivo, la magnitud de la comprobación no destructivo y la exactitud de datos históricos. Los siguientes son discusiones de cada parámetro de diseño que pueden determinarse a través de la comprobación destructiva.

Materiales y Espesores de los Componentes.

Los valores del módulo determinado para cada componente de la carretera que usa la comprobación no destructiva también requieren la determinación anterior de los espesores de los componentes de la carretera. Aunque pueden ser usados datos históricos para determinar los materiales y espesores de los componentes, la comprobación destructiva es el único método disponible para verificar in-situ los materiales y espesores.

Módulo del Pavimento

El módulo elástico del pavimento asfáltico es usado para determinar el coeficiente de capa estructural del pavimento y la capacidad estructural última de la carretera. Igualmente, el módulo de ruptura (S'_c) del Concreto Cemento Portland es una propiedad del material importante para determinar capacidad estructural del pavimento de concreto hidráulico. Las muestras en el centro del pavimento asfáltico pueden ser ensayadas en el laboratorio para el módulo de elasticidad de acuerdo con ASTM D 4123 (Método de Prueba standard para la Prueba de Tensión Indirecta del Módulo Elástico de Mezcla de Bituminosas). Pueden ser ensayadas muestras o bloques en el centro del pavimento de concreto hidráulico de acuerdo con ASTM C 42 (Método de Prueba standard para Obtener y Probar Centros Taladrados y aserrar Vigas de concreto). Este método de prueba incluye procedimientos de ensayo de tensión de hendidura. Los resultados del ensayo a la tracción de hendidura del pavimento de concreto hidráulico correlacionan fácilmente al módulo de ruptura que usa la relación aproximada siguiente:

$$S'_c = 1.25 * F_{ct} \quad \text{[Ecuación 3-9]}$$

Donde:

S'_c = Módulo de ruptura del pavimento de concreto hidráulico (lb/pulg²); y

F_{ct} = Resistencia a la tensión de hendiduras (lb/pulg²).

Debe notarse que los procedimientos anteriores resultan un S'_c representativo de intacto, pavimento no agrietado. La grieta en el pavimento existente tenderían a reducir el módulo efectivo y valor de soporte del pavimento existente. La comprobación no destructiva es recomendado para la evaluación del módulo efectivo de pavimentos agrietados en la carretera.

Módulo del Firme, Cimiento y Terreno de Fundación in-situ.

Una vez que las muestras del pavimento de la carretera han sido removidas, el ensayo in-situ de los agregados o suelos del terreno de fundación de la carretera puede lograrse usando ASTM D 4429 (Método de Prueba standard para la Proporción Productiva de Tierras en el Lugar).

3.3.4.3 Comprobación No destructiva

La comprobación no destructiva involucra la aplicación de una carga conocida en la superficie del pavimento y la medida de las desviaciones del pavimento debido a esa carga. La comprobación no destructiva se fundamenta en el concepto que la extensión y magnitud de la desviación del pavimento es indicativo de la capacidad de una carretera para soportar el tráfico de carga y resistir el ahuellamiento. A través de la comprobación no destructiva, los parámetros de la carretera pueden ser evaluados de la siguiente manera: (i) capacidad estructural del pavimento; (ii) transferencia de junta/carga a los pavimentos de concreto hidráulico; y presencia de vacíos debajo del pavimento de concreto hidráulico. Se considera que la comprobación no destructiva es el método más exacto disponible para la evaluación del módulo de una estructura del pavimento existente in-situ.

Los resultados de la comprobación no destructiva siempre deben ser evaluados en términos de experiencia local. Se recomienda una muestra de comprobación destructiva y la comprobación no destructiva para verificar los resultados de la carretera. El usuario es referenciado a AASHTO [1986], Instituto del Asfalto [1983] y Moore et al [1978] para la información adicional con respecto a la comprobación no destructiva que prueba los procedimientos, análisis y resultados.

Hay una amplia variedad de equipos de comprobación no destructiva y un sistema de colección de datos. Algunos incorporan impulso de carga y otras usan cargas dinámicas. Para la comprobación no destructiva es recomendable un equipo que tenga la capacidad de aplicar cargas de la misma magnitud como aquéllos aplicado por el tráfico de la carretera.

La interpretación de los resultados de los métodos de comprobación no destructivo depende en el tipo del equipo usado. La comprobación no destructiva debe ser conducida en las

secciones del pavimento que muestran agrietamiento y degradaciones del pavimento. Deben realizarse la comprobación no destructiva en el centro de la loza del pavimento.

Hay dos métodos generales de comprobación no destructiva. Estos métodos son (i) Predicción del Módulo de Capa del Pavimento (también conocido como NDT Método 1); y (ii) Predicción directa de la capacidad estructural (también conocido como NDT método 2). NDT Método 1 incluye la medida del ancho y la profundidad de una cubeta de una depresión causada por la aplicación de carga. Este dato es usado para estimar in-situ el módulo de cada componente de la estructura de la carretera. NDT Método 2 solamente es aplicable a los caminos pavimentados asfálticos y el valor del módulo de rendimientos efectivos para el pavimento asfáltico o cimiento confinado sin ligante, y materiales del terreno de fundación. Los valores del módulo resultante para pavimentos asfálticos y materiales de agregados estabilizados asfálticos deben ser ajustados a una temperatura de referencia de 21°C previamente a la evaluación del coeficiente de la capa estructural. Se proporcionan procedimientos por ajustar valores del módulo en AASHTO [1986].

3.3.4.4 Datos Históricos

Los datos históricos incluyen información con respecto al diseño, construcción y carga de tráfico para la carretera existente es también útil para la evaluación de la carretera. Los informes de diseño para la carretera existente pueden incluir información con respecto a las condiciones y propiedades de los suelos del terreno de fundación y los materiales de construcción. Los planos de construcción, especificaciones y notas de campo pueden proporcionar información con respecto a la edad de la carretera, materiales y espesores de los componentes. El control de tráfico y los datos de carga coleccionados durante el servicio de la carretera pueden dar una indicación de la magnitud de tráfico de carga en la carretera existente.

3.3.5.0 CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA EXISTENTE

El propósito de este paso del procedimiento de diseño es para determinar el número estructural del pavimento de la carretera existente. Los procedimientos para hacer que sean diferentes para los pavimentos asfálticos o de concreto hidráulico. Secciones 3.3.5.1 describen aproximaciones recomendados para estimar el número estructural efectivo de una

carretera de pavimento asfáltico (SN_{xf}). Sección 3.3.5.2 describe aproximaciones para estimar el número estructural efectivo de una carretera de pavimento de concreto hidráulico (SN_{xr}).

3.3.5.1 Carretera Pavimento Asfáltico

El número estructural efectivo de una carretera pavimentada asfáltica puede ser determinado por uno de las tres técnicas. Estas técnicas son: (i) cálculo usando la ecuación de la capacidad estructural del pavimento; (ii) resultados del Método NDT 2; y (iii) estimación por observación visual. Lo siguiente es una discusión de cada técnica.

Ecuación de la Capacidad Estructural

La ecuación de la capacidad estructural para los pavimentos asfálticos se presentó inicialmente en la sección 3.2.4.2. La ecuación 3-10 es una fórmula de la medida de la ecuación de la capacidad estructural para el cálculo de SN_{xf} para un pavimento asfáltico existente.

$$SN_{xf} = \sum_{i=1}^n a_{xi} \cdot D_{xi} \cdot m_{xi} \quad \text{[Ecuación 3-10]}$$

Donde:

SN_{xf} = Número estructural carretera asfáltico existente;

a_{xi} = Número estructural capa de componente i^{th} de la carretera existente;

D_{xi} = Espesor de la capa de componente i^{th} de la carretera existente (pulg).

m_{xi} = Coeficiente de capa de drenaje de componente de la carretera existente; y

n = Componentes de la carretera marrón oscuro.

Amospec es programado para calcular SN_{xf} usando la ecuación 3-10 basado en los valores de entrada del espesor del componente del pavimento existente y los coeficientes estructurales. El espesor de cada componente de la carretera puede ser determinado de los datos históricos (los planos de las construcciones, especificaciones, informes de campo, etc.) y verificado con una comprobación destructiva.

Los coeficientes de capa estructural son determinados de la figura 3-4 a través de 3-8 basados en el tipo de material y los valores de módulo elástico para cada componente de la carretera. Los valores del módulo elástico son recomendados para ser determinados del Método 1 NDT como se describió en la sección 3.3.4.3. Es limitada la comprobación destructiva en el programa y se recomienda verificar los resultados de comprobación no destructivo como se discutió en la sección 3.3.4.2.

El coeficiente de drenaje es establecido de las condiciones del pavimento existente basadas en las recomendaciones proporcionadas en la tabla 3-13. Sección 3.2.4.2 incluye discusiones adicionales de coeficientes estructurales de capa y coeficientes de drenaje.

NDT Método 2

Como se discutió en sección 3.3.4.3 NDT método 2, el resultado puede ser usado para calcular directamente SN_{xf} y el módulo del terreno de fundación. Para ingresar los resultados de NDT método 2 en el Amospec, el usuario simplemente selecciona un número estructural de capa asfáltico y el espesor que resulta en SN_{xf} valor determinado de NDT método 2. Los números estructurales de capa y espesores igual a cero son entonces introducidos para todos los componentes de la carretera restante.

Estimación de la Observación Visual

SN_{xf} puede ser estimado desde una observación visual de la carretera en condición en el evento de comprobación destructivo o no destructivo cuando los resultados del ensayo no están disponibles. Debido a la naturaleza subjetiva de esta aproximación, solo la observación visual no es recomendable para el diseño final de un revestimiento asfáltico. Sin embargo, la aproximación es simple para ejecutar y es una herramienta útil para el diseño preliminar.

A través de la observación visual, el Ingeniero puede determinar el factor de condición estructural de carretera (C_x). El factor de condición estructural SN_{xf} relaciona directamente al número estructural inicial de la carretera después de la construcción original (SN_0). Esta relación es descrita a través de la ecuación 3-11.

$$SN_{xf} = C_x * SN_0 \quad \text{[Ecuación 3-11]}$$

Donde:

SN_{xf} = número estructural efectivo del pavimento existente previamente a la construcción del revestimiento;

C_x = factor de condición estructural de carretera; y

SN_0 = número estructural del pavimento existente inmediatamente después de la construcción inicial.

Un valor de SN_0 puede determinarse de los datos históricos o puede ser estimado basado en la experiencia local. C_x es calculado usando la ecuación 3-12.

Donde:

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n C_{vi} * h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad \text{[Ecuación 3-12]}$$

C_x = Factor de condición estructural de la carretera

C_{vi} = Factor de condición de i^{th} capa de la carretera basada en la evaluación visual

h_i = Espesor de i^{th} capa de la carretera; y

n = Número de capas de la carretera

La ecuación 3-12 requiere un factor de la condición visual seleccionado para cada componente de la carretera. Se proporcionan guías para la selección de factores de condición visual en la tabla 3-25. Alternativamente, un solo valor de C_v puede seleccionarse como representativo de la estructura de la carretera total. El factor de condición estructural de la carretera también puede ser calculado de un simple valor efectivo C_v usando la ecuación 3-13.

$$C_x = C_v^2 \quad \text{[Ecuación 3-13]}$$

Un ejemplo de esta aproximación se proporciona en la hoja de cálculo 3-3-1. Usando esta hoja de cálculo, el Ingeniero puede asignar un valor de puntaje para la ocurrencia de varios defectos del pavimento. Un valor de puntaje 0 indica que el defecto considerado no ocurre.

Los valores de puntaje más altos indican las ocurrencias mayores de defectos del pavimento. Los resultados de la suma de puntos en la hoja de cálculo 3-3-1 es un valor indicativo de la condición del pavimento que se convierte a un valor de C_v . El indicador también puede ser usado para estimar la vida restante del pavimento como se discutió en la sección 3.3.6.1.

Hay otros métodos que pueden ser usados para determinar C_x . Estos métodos utilizan datos históricos, datos de control de tráfico y analizan la serviciabilidad para estimar la condición actual del pavimento relativo a la condición inicial. Se proporcionan discusiones de estos acercamientos adicionales en AASHTO [1986] y otras referencias.

3.3.5.2 Carretera Pavimento de Concreto Hidráulico

El número estructural efectivo de una carretera pavimentado de concreto hidráulico es calculado usando la siguiente ecuación de la capacidad estructural pavimento:

$$SN_{xr} = 0.8 * D_{x\text{-eff}} + a_{2r} * D_{2r} * M_{2r} \quad [\text{Ecuación 3-14}]$$

Donde:

SN_{xr} = Número estructural carretera de concreto hidráulico;

$D_{x\text{-eff}}$ = Espesor efectivo del concreto de cemento portland (pulg);

a_{2r} = Número estructural de capa del cimient; y

D_{2r} = Coeficiente capa drenaje del cimient.

El espesor del pavimento y del terreno de fundación puede ser determinado de los datos históricos (planos de construcción, especificaciones, informes de campo etc.) y verificado con la comprobación destructiva. El coeficiente estructural de capa del cimient granular es determinado de la figura 3-5. Los valores del módulo elástico son recomendados para ser determinado de NDT Método 1 como se describió en la sección 3.3.4.3 es limitada en el programa la comprobación destructiva, es también recomendado para verificar los resultados de la comprobación no destructivo como se discutió en la sección 3.3.4.2. El coeficiente de drenaje es determinado de la evaluación de las condiciones del lugar basado en las recomendaciones proporcionadas en la tabla 3-13. En la sección 3.2.4.2 incluye discusiones adicionales de los coeficientes de capa estructurales y coeficientes de drenaje. El espesor efectivo ($D_{x\text{-eff}}$) del pavimento de concreto cemento portland refleja el espesor in-situ y el

módulo del pavimento existente. ($D_{x\text{-eff}}$) puede ser determinado del ensayo de NDT Método 1 o estimado por observación visual. Lo siguiente es una discusión de cada aproximación para la determinación de ($D_{x\text{-eff}}$).

Ensayo NDT Método 1

El NDT Método 1 resultará un módulo del pavimento de concreto hidráulico efectivo (E_c). La figura 3-14 puede ser usado para hallar ($D_{x\text{-eff}}$) basado en el espesor de pavimento in-situ (D_o) y E_c . La comprobación destructiva también puede ser usada para determinar el módulo de pavimento total. Sin embargo, la comprobación destructiva no considerará para una reducción en el apoyo del pavimento debido al agrietamiento

Observación Visual

A través de la observación visual del tamaño nominal de la loza fragmentada del pavimento de concreto hidráulico, el módulo in-situ del pavimento puede determinarse de la figura 3-15. Una vez que el módulo in-situ es establecido, la figura 3-14 puede ser usado para llegar al espesor ($D_{x\text{-eff}}$). El espesor del pavimento efectivo también puede determinarse de la ecuación 3-15

$$D_{x\text{-eff}} = C_x * D_o \quad \text{[Ecuación 3-15]}$$

Donde:

$D_{x\text{-eff}}$ = Espesor del pavimento de concreto hidráulico efectivo (pulg);

C_x = Factor de condición del pavimento; y

D_o = Espesor del pavimento existente (pulg).

El valor de C_x puede ser determinado por observación visual, datos de control de tráfico o análisis de serviciabilidad. La aproximación de la observación visual es ampliamente usado y el método de aproximación práctico particularmente para pavimentos con índices de serviciabilidad cercanas a la serviciabilidad terminal. El lector se envía a AASHTO [1986] para las discusiones de C_x determinación de datos de control de tráfico o análisis de serviciabilidad. Los valores de C_x para las diversas condiciones del pavimento de concreto hidráulico son proporcionados en la tabla 3-25.

El cálculo de $D_{x\text{-eff}}$ por Amospec es basado sobre la información del usuario de D_o y la selección de uno de los cuatro factores de condición del pavimento de concreto hidráulico proporcionado en la tabla 3-25. En la mayoría de los casos, las variaciones ligeras de C_x no afectarán significativamente en el espesor de diseño del revestimiento asfáltico. Sin embargo, en algunos casos el usuario puede desear para considerar valores de C_x entre aquéllos que se muestran en la tabla 3-25. Para hacer que, el usuario simplemente ejecute el programa Amospec de diseño de revestimiento para dos condiciones del pavimento sobre cualquier parte además de la condición del pavimento existente. El diseño del espesor de revestimiento es entonces determinado a través de la interpolación lineal entre los espesores de revestimiento calculado por Amospec.

4.3.6.0 DISEÑO DEL ESPESOR DE REVESTIMIENTO

El revestimiento asfáltico debe ser diseñado para incrementar el número estructural de la carretera existente para esto se requiere las condiciones de tráfico futuro. La ecuación siguiente es usada para determinar el número estructural del revestimiento requerido:

$$SN_{OL} = SN_y - F_{RL} \cdot (SN_x) \quad \text{[Ecuación 3-16]}$$

Donde:

SN_y = Número estructural de carretera con revestimiento;

F_{RL} = Factor de vida restante;

SN_x = Número estructural efectivo de la carretera existente (equivalente a SN_{xf} o SN_{xr}); y

SN_{OL} = Número estructural del revestimiento asfáltico.

El número estructural del revestimiento es determinado usando la ecuación 3-17.

$$SN_{OL} = D_{OL} \cdot a_{OL} \quad \text{[Ecuación 3-17]}$$

Donde :

D_{OL} = Espesor del revestimiento (pulg.); y

a_{OL} = Coeficiente estructural del revestimiento.

Sustituyendo la ecuación 3-17 en la ecuación 3-16 resulta en la expresión siguiente para el espesor requerido del revestimiento asfáltico:

$$D_{OL} = \frac{SN_y - F_{RL}(SN_x)}{a_{OL}} \quad \text{[Ecuación 3-18]}$$

Amospec usa la ecuación 3-18 para determinar el espesor de revestimiento asfáltico requerido. El espesor calculado por Amospec es el espesor mínimo requerido para incrementar el número estructural de la carretera para que sea requerido por el tráfico futuro. Como se discutió en la sección que 3.3.2.2 otras consideraciones pueden requerir mayores espesores de revestimiento.

El número estructural requerido de carretera futura SN_y es determinado como se describió en la sección 3.3.3. El número estructural de carretera existente del pavimento asfáltico (SN_{xe}) o del pavimento de concreto hidráulico (SN_{xe}) está determinado como se describió en la sección 3.3.5. El factor de vida restante (F_{RL}) es un factor de ajuste aplicado a SN_x para reflejar una valor más realista de la capacidad efectiva del pavimento existente y el nuevo revestimiento del pavimento. El coeficiente estructural de capa de asfalto (a) correlaciona el espesor de revestimiento asfáltico a su fuerza. Sección 3.3.6.1 proporciona el procedimiento usado para determinar F_{RL} . Sección 3.3.6.2 proporciona una discusión relacionada para la determinación de (a).

3.3.6.1 Factor de Vida Restante

La selección del factor de vida restante se fundamenta en lo siguiente:

- La vida restante del pavimento existente (R_x) previamente antes de la construcción del revestimiento; y
- La vida restante deseada del revestimiento asfáltico (R_y) en la conclusión de vida del revestimiento o en el tiempo de rehabilitación de la carretera subsecuente.

Por consiguiente, el factor de vida restante considera inmediatamente la magnitud de daño incurrido hacia el pavimento existente inmediatamente previo la construcción del revestimiento, y el nivel deseado del daño para el revestimiento previamente a la construcción subsecuente. La figura 3-16 es usado para determinar F_{RL} basado en R_x y R_y . Amospec automáticamente calcula R_x y R_y y selecciona F_{RL} basado en la relación ilustrada en la figura 3-16. Lo siguiente son discusiones de R_x y R_y .

3.3.6.2 Pavimento Existente

La vida restante del pavimento existente puede ser determinada desde factor de condición estructural de la carretera (C_x) usando una correlación proporcionada en AASHTO [1986]. Esta correlación es reproducida en la figura 3-17. Los valores de entrada del usuario C_x son usados por Amospec para determinar R_x basado en la relación dado en la figura 3-17.

La discusión con respecto a la selección de C_x para carreteras de pavimento asfáltico y de concreto hidráulico está proporcionados respectivamente en la sección 3.3.5.1 y 3.3.5.2. Las dos aproximaciones comunes descritos en estas secciones para la determinación C_x son basadas en la comprobación no destructiva o la observación visual. AASHTO [1986] presenta los siguientes tres métodos adicionales para estimar R_x : (i) análisis de tráfico; (ii) análisis de tiempo; y (iii) análisis de serviciabilidad.

Análisis de Tráfico

Pueden ser usados control de tráfico histórico y datos de carga para estimar R_x de un pavimento existente. En este caso, la vida restante del pavimento es definida como una proporción de aplicaciones de futuras ESAL estimadas que la carretera puede mantener para la vida de diseño total ESAL. Esta definición se describe en la ecuación 3-19.

$$R_x = \frac{N_x - x}{N_x} \quad \text{[Ecuación 3-19]}$$

Donde:

R_x = Factor de vida restante del pavimento existente

N_x = ESAL acumulativo aplicado para la carretera de serviciabilidad inicial (p_i) a una serviciabilidad terminal (p_t) de 2.0 si ningún revestimiento se ha construido en la carretera existente; y

x = ESAL acumulativo aplicado para la carretera de serviciabilidad inicial para la aplicación de revestimiento asfáltico.

Los datos de tráfico es una de las aproximaciones más cercanos para la evaluación R_x cuando hay datos de control de tráfico exacto. Sin embargo, los datos de tráfico de una carretera no son disponibles con frecuencia y la exactitud de este método disminuye como los años de la

carretera y la serviciabilidad terminal es aproximada. Bajo estas condiciones, el análisis de serviciabilidad es recomendada sobre los análisis de datos de tráfico.

Análisis de Tiempo

Cuando la información de tráfico exacto no está disponible, la condición de la carretera puede ser evaluada en términos de vida de servicio. La figura 3-18 es usado para el análisis de tiempo de R_x . Este análisis de aproximación es relativamente inexacto en la estimación de R_x a menos que una base de datos de rendimiento de la carretera local y tasas de crecimiento de tráfico sean establecidas.

Análisis de Serviciabilidad

La figura 3-19 puede ser usado para calcular R_x si el índice de serviciabilidad presente y el índice de serviciabilidad inicial de la carretera existente sean conocidos. La sección 3.3.3.3 proporciona una discusión de serviciabilidad de la carretera. Los métodos mecánicos están disponibles a la medida de rugosidad de la carretera para determinar el índice de serviciabilidad presente de una carretera. Un numero de estos métodos son descritos en la *Colección y Uso de Datos de Condición de Pavimento, Síntesis Práctica de la Carretera No. 76* publicados por consejo de Investigación de Transporte [1981]. La predicción de R_x del análisis de serviciabilidad de la carretera es típicamente inexacta. Los Ingenieros deben evaluar los resultados basados en datos de rendimiento de la carretera local y considerar la pérdida de serviciabilidad debidos a los factores del medio ambiente.

3.3.6.3 Revestimiento

La vida restante del revestimiento R_y representa un porcentaje de vida restante del revestimiento en el momento de rehabilitación de la carretera subsecuente. La vida restante de un revestimiento cero ($R_y = 0$) es considerada para ocurrir en un índice serviciabilidad de fracaso de $p_f = 2.0$. Por consiguiente, R_y para un revestimiento es fijo por la selección de una serviciabilidad terminal de un revestimiento (p_t). La ecuación 3-20 es usada para calcular R_y .

$$R_y = \frac{N_y - Y}{N_y} \quad \text{[Ecuación 3-20]}$$

Donde:

R_y = Factor de vida restante del revestimiento asfáltico;

N_y = ESAL acumulativo aplicado a la carretera de serviciabilidad inicial a una serviciabilidad de fracaso de $p_f = 2.0$; y

Y = ESAL acumulativo aplicado a la carretera de serviciabilidad inicial a la aplicación subsecuente de otro revestimiento asfáltico.

3.3.6.4 Coeficiente Estructural del Revestimiento

El coeficiente de serviciabilidad del revestimiento (a_{01}) correlaciona el espesor del revestimiento asfáltico para la fuerza del revestimiento. Los valores típicos de a_{01} se encuentran en el rango de 0.39 a 0.44. Una discusión detallada de coeficiente de estructural del asfalto es proporcionada en la sección 3.2.4.2.

3.3.7.0 HOJAS DE CÁLCULO DE DISEÑO

Esta sección incluye tres hojas de cálculo para el diseño de carretera pavimentado. Lo siguiente es una lista de las hojas de cálculo:

- Hojas de cálculo 3-3-1: Evaluación de Condición del Pavimento Asfáltico;
- Hojas de cálculo 3-3-2: Diseño del Revestimiento para el Pavimento Asfáltico; y
- Hojas de cálculo 3-3-3: Diseño del Revestimiento para el Pavimento de Concreto Hidráulico.

Las hojas de cálculo asisten al usuario seleccionar parámetros de entrada al programa Amospec. Cada hoja de cálculo lista los datos requeridos para realizar el diseño del revestimiento. Las hojas de cálculo incluyen recomendaciones para la selección de valores a ser usado para el diseño preliminar y el diseño final. Las hojas de cálculo también incluyen valores típicos para cada parámetro de entrada. En muchos casos, los parámetros de entrada son dependientes de los materiales y prácticas de construcción local. Para estos casos, las hojas de cálculo proporcionan un listado de fuentes adicionales obteniendo información para los parámetros de entrada recomendados. Finalmente, las hojas de cálculo incluyen referencias para destinar secciones de este capítulo para las discusiones de entrada de los parámetros y conceptos de diseño.

HOJA DE CALCULO 3-3-1

3.3.7.1 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

CALLE O RUTA _____ CIUDAD O PROVINCIA _____

LONGITUD DE PROYECTO _____ ANCHO _____

TIPO DE PAVIMENTO _____ DATO _____

(Nota: Una evaluación de "0" indica que el defecto no ocurre)

DEFECTOS		RATING
Agrietamiento Transversal	0 – 5	
Agrietamiento Longitudinal	0 – 5	
Piel de cocodrilo	0 – 10	
Reducción Agrietamiento	0 – 5	
Ahuellamientos	0 – 10	
Corrugaciones	0 – 5	
Desintegración Total	0 – 5	
Desplazamientos o Corrimientos	0 – 10	
Nido de gallina	0 – 10	
Exceso de Asfalto	0 – 10	
Agregado Pulido	0 – 5	
Drenaje Deficiente	0 – 10	
Calidad pavimento total (0 es excelente; 10 es muy pobre)		
Suma de defectos		

Factor Condición Carretera $C_x = [(100 - \text{suma de defectos})/100]^2$ $C_x = [(100 - \text{_____})/100]^2$ $C_x = \text{_____}$

Adaptado del Instituto Asfalto [1983]

HOJA DE CÁLCULO 3-3-2

3.3.7.2 DISEÑO DEL REVESTIMIENTO PARA EL PAVIMENTO ASFÁLTICO

Determine cada uno de las siguientes variables de entrada para el diseño de un revestimiento para un camino pavimentado asfáltico de acuerdo con AASHTO [1986]. Las recomendaciones para los valores de diseño y los valores estimados son proporcionadas para cada variable.

I. PROPIEDADES DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EXISTENTE

A. Condición del Pavimento Existente

(Seleccionar letra a, b ó c que mejor describe condición de la carretera)

CONDICIÓN DE CARRETERA	FACTOR CONDICIÓN ESTRUCTURAL (C_x)
a. Sólido, estable e integro	0.95
b. Estable con un poco de agrietamiento y ahuellamientos	0.85
c. Significativamente agrietado y ahuellado	0.70
d. Extensivamente agrietado y ahuellado	0.60

Bases de diseño: Resultados NDT del Método 1
 Resultados NDT del Método 2
 Resultados de comprobación destructiva.

Estimación: Resultados de la hoja de cálculo 3-3-1

Valores típicos: b y c

Discusión: Sección 3.3.4

B. Coeficiente de Capa Estructural Existente

Revestimiento del Concreto Asfáltico (a_1) $a_1 =$ _____

Firme (Base) (a_2) $a_2 =$ _____

Cimiento (Subbase) (a_3) $a_3 =$ _____

Valor diseño: Para a_1 usar figura 3-8 basado en módulo elástico del asfalto
 Para a_2 de firme granular sin ligante usar figura 3-4 basado
 en CBR o R-valor

Para a_3 de cimiento granular usar figura 3-5 basado en CBR o R-valor

Valor típico:	$a_1 = 0.20$ a 0.35 para revestimiento de concreto asfáltico
	$a_2 = 0.08$ a 0.12 piedra chancada
	$a_3 = 0.04$ a 0.10 para arena gruesa
Bases de diseño:	Resultados NDT Método 1
Discusión:	Sección 3.3.5.1 y 3.3.4.2

C. Coeficiente de Capa de Drenaje Existente

Revestimiento de Concreto Asfáltico (m_1)	$m_1 =$ _____
Firme (Base) (m_2)	$m_2 =$ _____
Cimiento (Subbase) (m_3)	$m_3 =$ _____
Valor diseño:	De tabla 3-13 basado en la humedad existente y condiciones de drenaje
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Secciones 3.3.5.1 y 3.2.4.2

D. Espesor del Componente Existente

Revestimiento de Concreto Asfáltico (t_1)	$t_1 =$ _____
Firme (Base) (t_2)	$t_2 =$ _____
Cimiento (Subbase) (t_3)	$t_3 =$ _____
Valor diseño:	De comprobación destructiva.
Valor estimado:	De los planos del proyecto original

II. CONDICIONES DE TRÁFICO Y PROPIEDADES DEL MATERIAL

A. Carril de Diseño Carga por Eje Simple Equivalente (W_{18}) $W_{18} =$ _____ ESAL

Valor diseño:	Resultados de la hoja de cálculo 3-2-1
Valor típico	50,000 a 1,000,000 ESAL
Discusión	Sección 3.3.3.2 y 3.2.3.3

B. Fiabilidad: Desviación Standard Normal (Z_R) $Z_R =$ _____

Valor diseño:	Seleccionado de tabla 3-3 basado en Fiabilidad carretera requerido
---------------	--

- Valor típico -1.7 a 0.0 (nota: el signo negativo debe ser ingresado si es aplicable).
- Fuente adicional: Local DOT
- Discusión: Sección 3.3.3.1 y 3.2.3.2
- C. Fiabilidad: Desviación Standard Total (S_o) $S_o = \underline{\hspace{2cm}}$
- Valor diseño: Análisis de datos estadístico del rendimiento de la carretera local
- Valor estimado: De la tabla 3-4
- Valor típico: 0.45 para carretera pavimentado asfáltico
- Fuente adicional: Local DOT
- Discusión: Sección 3.3.3.1 y 3.2.3.2
- D. Módulo Resiliente del Terreno de Fundación (M_R) $M_R = \underline{\hspace{2cm}}$ Kips/pulg²
- Valor diseño: Resultados de AASHTO T 274
- Valor estimado: De tabla 3-11 basado en CBR o R-valor del suelo.
De tabla 3-12 Basado región climática U.S. y la calidad del suelo relativo
- Valor típico: 2.0 kips/pulg² a 10.0 kips/pulg²
- Discusión: Sección 3.2.4.1
- E. Módulo Resiliente del Cimiento (E_{SB}) $E_{SB} = \underline{\hspace{2cm}}$ Kips/pulg²
(varía según el tipo material para cimiento)
- Cimiento Granular
- Valor diseño: Resultados de AASHTO T 274
- Valor estimado: De figura 3-5 basado en CBR o R-valor del agregado
- Valor típico: 10 kips/pulg² a 20 kips/pulg²
- Fuente adicional: Proveedor de agregados
- Discusión: Secciones 3.3.5.1 y 3.2.4.1
- F. Módulo Resiliente del Firme (E_B) $E_B = \underline{\hspace{2cm}}$ Kips/pulg²
(varía según el tipo material)
- Valor diseño: Resultados de AASHTO T 274 para agregados sin ligante
Resultados de ASTM D 4123 para agregados confinados

Valor estimado: De figura 3-4 para agregado suelto basado en CBR o R-valor.
 Fuente adicional: Fabrica del Asfalto
 Discusión: Secciones 3.3.5.1 y 3.2.4.1

G. Índice Serviciabilidad Carretera Inicial (p_i); y $p_i =$ _____

Índice Serviciabilidad Carretera Terminal (p_t) $p_t =$ _____

Valor diseño: Basado en la experiencia local

Valor estimado: De tabla 3-10

Valor típico: $p_i = 4.2$; $p_t = 2.0$

Fuente adicional: Local DOT

Discusión: Sección 3.3.3.3 y 3.2.3.4

III. COSTO Y DENSIDAD DEL ASFALTO

A. Costo Unitario del Revestimiento Asfáltico \$ _____/ton

Valor típico: \$ 20/ton a \$ 40/ton

Fuente adicional: Fabrica del asfalto

B. Densidad del Revestimiento Asfáltico _____ lb/ft³

Valor diseño: Resultados de ASTM D 2041

Resultados de ASTM D 71

Resultados de AASHTO T 275

Resultados de AASHTO T 166

Resultados de AASHTO T 209

Valor típico: 120 lb/ft³ a 150 lb/ft³

Fuente adicional: Especificaciones del proyecto, Fabricante de Asfalto.

HOJA DE CÁLCULO 3-3-3

3.3.7.3 DISEÑO DEL REVESTIMIENTO PARA EL PAVIMENTO CONCRETO HIDRÁULICO

Determine cada uno de las variables siguientes de entrada para el diseño de un revestimiento para un camino pavimentado de concreto hidráulico de acuerdo con AASHTO [1986]. Las recomendaciones para los valores de diseño y los valores estimados son proporcionadas para cada variable

I. PROPIEDADES DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EXISTENTE

A. Condición del pavimento existente _____

(Letras selectas a, b o c que mejor describe la condición de la carretera)

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	FACTOR DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL (C_x)
a. No agrietado, estable y subsellado	0.95
b. Estable y subsellado c/ algunas grietas	0.85
c. Progresivamente agrietado c/ algunos pumping	0.70
d. Muy malamente agrietado	0.60

Bases de diseño: Resultados NDT del Método 1

Estimación: De figura 4-21 y $E_{pcc}/20,000$ para E_{pcc} pulg.lb/pulg².

Valores típicos: b y c

Discusión: Sección 3.3.4

B. Coeficiente de Capa Estructural Existente

Cimiento (Subbase) (a_3) $a_3 =$ _____

Valor diseño: De figura 3-5 basado en CBR o R-valor

Fuente adicional: Local DOT

Discusión: Sección 3.3.5.1 y 3.2.4.2

C. Coeficiente de Capa Drenaje Existente

Cimiento (Subbase) (m_3) $m_3 =$ _____

Valor diseño: De tabla 3-13 basado en la humedad existente y condiciones de drenaje

Fuente adicional: Local DOT

Discusión: Sección 3.3.5.1 y 3.2.4.2

D. Espesor del Componente Existente

Concreto Cemento Portland (t_1) $t_1 =$ _____

Cimiento (subbase) (t_3) $t_3 =$ _____

Valor diseño: De comprobación destructiva

Valor estimado: De planos del proyecto original.

II. CONDICIONES DE TRÁFICO Y PROPIEDADES DEL MATERIAL

A. Carril de diseño carga por eje simple equivalente (W_{18}) $W_{18} =$ _____ ESAL

Valor diseño: Resultados de la hoja de cálculo 3-2-1

Valor típico: 50,000 a 1,000,000 (ESAL)

Discusión: Sección 3.3.3.2 y 3.2.3.3

B. Fiabilidad: Desviación Standard Normal (Z_R) $Z_R =$ _____

Valor diseño: Seleccionado de tabla 3-3 en la fiabilidad carretera requerida

Valor típico: -1.7 a 0.0 (nota: el signo negativo debe ser ingresado si es aplicable)

Fuente adicional: Local DOT

Discusión: Secciones 3.3.3.1 y 3.2.3.2

C. Fiabilidad: Desviación Standard Total (S_o) $S_o =$ _____

Valor diseño: Análisis de datos estadístico de rendimiento de carretera local

Valor estimado: De tabla 3-4

Valor típico: 0.35 a 0.45 para carretera pavimento asfáltico

Fuente adicional: Local DOT

Discusión: Secciones 3.3.3.1 a 3.2.3.2

D. Modulo Resiliente del Terreno de Fundación (M_R) $M_R =$ _____ Kips/pulg²

Valor diseño: Resultados de AASHTO T 274

Valor estimado:	De tabla 3-11 basado en CBR o R-valor del suelo. De tabla 3-12 Basado región climática U.S. y la calidad del suelo relativo
Valor típico:	2.0 kips/pulg ² a 10.0 kips/pulg ²
Discusión:	Sección 3.2.4.1

E. Índice Serviciabilidad Carretera Inicial (p_i); y	$p_i =$ _____
Índice Serviciabilidad Carretera Terminal (p_t)	$p_t =$ _____
Valor diseño:	Basado en experiencia local
Valor estimado:	De tabla 3-10
Valor típico:	$p_i = 4.2$; $p_t = 2.0$
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Secciones 3.3.3.3 y 3.2.3.4

III. COSTO Y DENSIDAD DEL ASFALTO

A. Costo unitario del Revestimiento Asfáltico	\$ _____/ton
Valor típico:	\$ 20/ton a \$ 40/ton
Fuente adicional:	Fabrica del Asfalto
B. Densidad del Revestimiento Asfáltico	_____ lb/ft ³
Valor diseño:	Resultados de ASTM D 2041 Resultados de ASTM D 71 Resultados de AASHTO T 275 Resultados de AASHTO T 166 Resultados de AASHTO T 209
Valor típico:	120 lb/ft ³ a 150 lb/ft ³
Fuente adicional:	Especificaciones proyecto, Asfalto del fabricante.

3.4.0.0 DISEÑO DEL CAMINO NO PAVIMENTADO

Amospec efectúa los cálculos de un diseño de aplicación en conjunto de un camino no pavimentado para un espesor de agregados de la carretera requerido mínimo no pavimentado y las propiedades del geotextil de estabilización. Amospec es programado para diseñar carreteras no pavimentado con ó sin geotextil de estabilización colocado entre la capa granular de carretera y el terreno de fundación. Para cada diseño, Amospec muestra un costo de comparación del geotextil-estabilizado y una carretera tradicional. Amospec también proporciona una copia de impresión de las especificaciones del geotextil de estabilización. Una opción también es disponible con el programa Amospec para la selección de un geotextil de estabilización basado en la entrada de un diseño de camino no pavimentado.

En la sección 3.4.1 presenta una discusión general de conceptos de diseños de una carretera no pavimentado. La aproximación del diseño usado por el programa de cómputo Amospec se describe en la sección 3.4.2. Las discusiones detalladas de los métodos de diseño y recomendaciones por Amospec de los parámetros de entrada son presentadas en las secciones 3.4.3 y 3.4.4. La sección 3.4.5 incluye hojas de cálculo de diseño que habilita al usuario a las variables selectas de entrada rápidas para el Amospec. El usuario se recomienda hacer copias de las hojas de cálculo y completarlos previamente antes de operar el programa Amospec.

3.4.1.0 CONCEPTOS DE DISEÑO

3.4.1.1 Espesor del agregado

El propósito de un agregado de carretera es para reducir los esfuerzos de tráfico a niveles que son capaces para ser soportados por el suelo del terreno de fundación. Se requieren espesores mayores del agregado para los suelos de terrenos de fundación débiles y las cargas de tráfico superior. El diseño de espesor del agregado para la carretera no pavimentado puede ser resumido como sigue:

- Evaluar las condiciones de carga de tráfico;
- Seleccionar un agregado que puede soportar la carga de tráfico de carretera;
- Evaluar la resistencia al corte del suelo del terreno de fundación; y

- Diseñar el espesor del agregado de la carretera para reducir esfuerzos aplicados a aquéllos que pueden ser soportados por el terreno de fundación subyacente.

3.4.1.2 Geotextil de Estabilización

Los geotextiles son usados extensivamente para la construcción de carreteras no pavimentadas. En esta aplicación, el geotextil es colocado sobre el suelo del terreno de fundación previamente a la colocación del agregado de carretera. Lo restante de esta sección describirá las funciones y beneficios de los geotextiles de estabilización para las carreteras no pavimentadas.

Funciones

El geotextil puede realizar las siguientes funciones en la aplicación de una carretera no pavimentada: (i) filtración; (ii) separación; y (iii) refuerzo. Lo siguiente es un resumen de cada función.

- La **función de filtración** se refiere al papel que cumple el geotextil de permitir a los fluidos atravesar el plano del geotextil mientras se retienen las partículas de suelo.
- La **función de la separación** se refiere al papel que cumple el geotextil en prevenir el mezclado del suelo del terreno de fundación con el agregado de la carretera.
- La **función del refuerzo** se refiere al papel que cumple el geotextil como miembro de tensión dentro de la carretera.

Separación y refuerzo son las funciones más significantes para la estabilización de una carretera no pavimentada. La función de separación se manifiesta para limitar la deformación de la subrasante y la falla del terreno de fundación local hasta completar la fuerza del suelo del terreno de fundación que es movilizado [FHWA, 1986]. Los estudios anteriores han mostrado que la función de separación del geotextil puede incrementar la capacidad resistencia efectiva del terreno de fundación de la carretera por un factor de dos a tres [Bender y Barenberg, 1978].

El refuerzo del geotextil juega un papel significativo si las cargas de rueda son suficientes para causar ahuellamientos (deformación plástica) del suelo del terreno de fundación. Como se muestra en la figura 3-20 la deformación de la subrasante induce una fuerza de tensión en

el geotextil. Con un geotextil propiamente diseñado, esta fuerza de tensión actúa para reducir el esfuerzo máximo empleado sobre el terreno de fundación. Para los geotextiles típicos, la función de refuerzo resulta en una reducción del agregado de 20 por ciento a 60 por ciento para suelos con un California Bearing Ratio (CBR) de 1 [Giroud, Noiray, 1981].

Beneficios

Los beneficios de un geotextil incluyen: (i) facilitan la construcción de la carretera; (ii) reducen los costos en la construcción; y (iii) mejora el rendimiento de la carretera. La construcción de carretera con un agregado resulta la perturbación de los suelos en la superficie. Esta perturbación puede ser severa para los suelos húmedos, débiles y puede resultar en una reducción de la resistencia al corte en el suelo. Estos fenómenos son evidentes cuando por el incremento de pumping en el terreno de fundación debido al tráfico continuado de la construcción. Ablandando el terreno de fundación se incrementa las dificultades en la construcción. Un geotextil de estabilización construido sobre suelo de terreno de fundación previamente antes de la colocación del agregado pueden reducir la perturbación del terreno de fundación y mejorar la construcción de la carretera no pavimentado.

Típicamente se requiere menos agregado para la construcción de una carretera no pavimentado cuando es usado un geotextil de estabilización. Un geotextil de estabilización puede también reducir la excavación requerida de materiales impropios del terreno de fundación. Estas reducciones producen una economía directa en los costos de la construcción. Diversos estudios también han mostrado que los geotextiles mejoran el rendimiento de la carretera no pavimentado [Kinney y Barenberg, 1980; Stewart, J., al. et., 1977; Webster y Alford, 1978; Webster y Watkins, 1977].

3.4.2.0 DISEÑO APROXIMADO

3.4.2.1 General

Hay dos filosofías de diseño general de carretera no pavimentado. El primero solamente considera la función de separación del geotextil e ignora cualquier refuerzo que el geotextil puede proporcionar. El segundo considera la función de separación y refuerzo. Los métodos

de diseños que ignora la función de refuerzo son considerados para ser más aplicable a carreteras no pavimentadas que son expuestas a niveles bajo cargas vivas y son requeridos para realizar con ahuellamientos pequeños (profundidades de huella menos de 3 pulg). Los análisis de diseño que consideran refuerzo parecen ser apropiado para las cargas vivas mayores y la profundidad de huella superior a 12 pulg [FHWA, 1989].

3.4.2.2 Diseño Aproximado Amospec

El programa Amospec le permite al usuario a seleccionar una aproximación que considera sólo la separación del geotextil o una aproximación que considere separación y refuerzo. Amospec usa el Método de Capacidad Resistencia Modificado cuando sólo la separación es para ser considerado. Amospec usa un método desarrollado por Giroud y Noiray [1981] (aquí llamado el Método Giroud Noiray) cuando la separación y refuerzo del geotextil son para ser considerados. Las discusiones de cada uno de éstos diseños de aproximación se proporcionan en las secciones 3.4.3 y 3.4.4 respectivamente. Las secciones incluyen detalles de procedimientos de diseño y recomendaciones para la selección de parámetros de entrada de diseño. La aproximación utilizado por amospec no es esperada para ser usada para el diseño de terraplenes sobre terrenos blandos. El diseño del camino no pavimentado que resulta un espesor de agregado mayor o igual a 36 pulg debe evaluarse como terraplenes sobre terrenos blandos.

3.4.2.3 Requerimientos de Diseño Mínimo

Sin tener en cuenta el método de diseño seleccionado, una carretera construida con un geotextil de estabilización debe reunir dos requerimientos mínimos de diseño; aquéllos de durabilidad del geotextil y espesor del agregado mínimo. Cada uno de estos requerimientos mínimos se discute a continuación.

Durabilidad del Geotextil

Los esfuerzos máximos ejercidas sobre un geotextil de estabilización normalmente ocurren durante la construcción después de la primera capa de agregado que es colocado sobre el geotextil. La experiencia anterior indica que los geotextiles de estabilización son sometidos típicamente a degradación física mínima una vez que se completa la estructura de la carretera

que se construye. Por esta razón, la propiedad de durabilidad de los geotextiles de estabilización está seleccionado basados en las condiciones de construcción anticipadas.

Diversas condiciones de construcción se describen en las tablas 3-19 y 3-20 con evaluaciones mínimas recomendadas de durabilidad del geotextil correspondientes. Las tres evaluaciones de durabilidad (moderado, alto y muy alto) correlacionan las condiciones de incremento de severidad. Tabla 3-21 proporciona las propiedades del geotextil recomendado mínimo para las evaluaciones de durabilidad moderadas, altas, y muy altas. Esto debería también ser notable que estas evaluaciones de durabilidad recomendado mínimo están basados en el rendimiento satisfactorio registrado en la instalación de los geotextiles. El usuario se recomienda a evaluar las necesidades de durabilidad de cada geotextil de estabilización especificado, basado en condiciones del sitio específico. El proyecto y condiciones de construcción puede requerir la selección de propiedades de durabilidad mayores que aquéllos recomendados en tabla la 3-21. Se recomiendan secciones de prueba de campo para las aplicaciones críticas [FHWA, 1989].

Amospec evalúa la durabilidad del geotextil basado en los parámetros de entrada con respecto a las condiciones de construcción del lugar. Un sistema de puntaje es utilizado por Amospec en conjunto con los parámetros de entrada para realizar esta evaluación. Las variables de entrada y el sistema de puntaje usados por Amospec son proporcionados en la hoja de cálculo 3-4-1. Ninguna propiedad física adicional u otro aquello se requieren para la durabilidad de los geotextiles de estabilización deseado para realizar la separación. Por consiguiente, para el método de capacidad resistencia modificada, Amospec selecciona propiedades del geotextil requerido mínimo basado solamente sobre los requerimientos de durabilidad anterior. Los geotextiles de estabilización usados para el refuerzo también debe encontrarse propiedades de fuerza de tensión mínimo. Por consiguiente, para el Método Giroud Noiray, Amospec selecciona propiedades del geotextil que se encuentran entre la fuerza de tensión y el criterio de durabilidad.

Espesor Mínimo del Agregado

El espesor mínimo del agregado requerido es dependiente del lugar, tráfico y condiciones de construcción. Por consiguiente, la selección de un espesor mínimo de agregado es finalmente responsabilidad del Ingeniero del proyecto. Sin embargo, en la carretera no pavimentado

espesor del agregado no está recomendado para menos de 4 pulg. El proyecto y las condiciones de construcción pueden requerir espesores de agregado mayor o menor que estas pautas sugeridas.

3.4.3.0 MÉTODO DE CAPACIDAD RESISTENCIA MODIFICADO CBR

La base teórica para el Método de Capacidad Resistencia Modificado se fundamenta en la teoría de capacidad resistencia original presentada por Terzaghi [1943] y en los estudios de campo realizados por varios investigadores. El Método de Capacidad Resistencia Modificado de diseño del camino no pavimentado considera la separación como la función primaria del geotextil. Este método se juzga por ser muy aplicable para carreteras sometidas bajo las cargas vivas y el desarrollo de profundidades de huella en el orden de 3 pulg. o menos.

Amospec realiza cálculos de diseño de acuerdo con el Método de Capacidad Resistencia Modificado. La hoja de cálculo 3-4-2 proporcionada en la sección 3.4.5 de este capítulo presenta todos los parámetros de entrada requerida para el diseño de una carretera no pavimentado de acuerdo con el Método de Capacidad Resistencia Modificado.

3.4.3.1 Hipótesis

Las suposiciones siguientes se usaron en el desarrollo del Método de Capacidad Resistencia Modificado:

- El agregado de la carretera es de una calidad que soportará las cargas de tráfico (este requerimiento es reunido para agregados que muestren un CBR mayor que o igual a 80);
- La fricción entre el geotextil y el agregado es suficiente para prevenir el deslizamiento del agregado en la superficie del geotextil (esta condición se encuentra a todos los agregados de alta calidad recomendado para la construcción de carreteras); y
- El suelo del terreno de fundación es saturado y se comporta como un suelo no drenado bajo condiciones de carga rápida.

El desarrollo original de este método es deseado para carreteras expuestas para circular 10,000 ejes o menos. Sin embargo, la experiencia del campo indica que el rendimiento de carreteras no pavimentado mejora con el tiempo [FHWA, 1986]. Por esta razón, el Método

de Capacidad Resistencia Modificado es esperado ser apropiado para números más grandes de aplicaciones de carga de tráfico.

3.4.3.2 Diseño del Espesor del Agregado

El método de capacidad resistencia modificado considera un cambio de la capacidad resistencia en el suelo del terreno de fundación debido al confinamiento del suelo por el geotextil. La capacidad de resistencia de suelos no drenado fue definida por Terzaghi [1943] como sigue:

$$q = N_c * C \quad \text{[Ecuación 3-21]}$$

Donde:

q = capacidad de resistencia del suelo (lb/ft^2);

N_c = factor de capacidad resistencia del suelo (adimensional); y

C = resistencia al corte de suelos no drenado (lb/ft^2).

La ecuación anterior todavía es la base para el cálculo de la capacidad resistencia no drenado en los suelos de fundaciones. Terzaghi encontró que esta falla de corte local (localizado movimiento del suelo inmediatamente debajo de la aplicación de carga) es asociada con un valor de N_c de aproximadamente 3.8. La falla de corte general (máxima falla capacidad resistencia del suelo y el desarrollo una superficie de falla de corte más grande) es asociada con un valor de N_c aproximadamente 5.7.

Modelos del laboratorio realizados por Bender y Barenberg [1978] indican que el rendimiento de carreteras no pavimentado también puede ser descrito en términos de la ecuación capacidad resistencia de Terzaghi. Se construyeron modelos usando agregados y un geotextil no tejido de baja-fuerza en un terreno de fundación blando. Bender y Barenberg encontraron que sin un geotextil, significa que pudieran ser predecidos ahuellamientos en la carretera usando la ecuación de Terzaghi con N_c igual a aproximadamente 3.3. Con un geotextil, significa ahuellamiento de la carretera (mayor que 2 pulg.) puede ser predecidos usando la ecuación de Terzaghi con N_c igual ó aproximadamente 6. Los resultados de este estudio, consideración el factor capacidad resistencia clásica de Terzaghi, implica que el geotextil restringe la deformación de terreno de fundación y la falla local del terreno de

fundación para que los suelos del terreno de fundación de tal manera que complete la capacidad resistencia que puede ser movilizado [FHWA, 1986].

La investigación adicional tiene preferencia para algunas variaciones pequeñas en los valores de N_c usados para el diseño de carreteras no pavimentados [Kinney y Barenberg 1980 y 1982; y Steward et al. 1977]. Basado en esta investigación, los siguientes factores de capacidad resistencia siguiente son recomendado para el diseño de carretera no pavimentado:

- Carreteras construidos sin un geotextil de separación: $N_c = 3.1$.
- Carreteras construidos con un geotextil de separación: $N_c = 6.2$.

Amospec calcula la capacidad de resistencia última del terreno de fundación de la carretera de acuerdo con la ecuación 3-21 que usan los factores de capacidad resistencia proporcionado anteriormente. Amospec usa la ecuación de Boussinesq de distribución de esfuerzos para resolver el espesor agregado requerido (z). La ecuación de Boussinesq proporciona la relación entre el nivel de esfuerzo dentro del suelo debido a las cargas de tráfico versus la profundidad debajo de la superficie del suelo. Por consiguiente, la ecuación 3-22 resulta la profundidad mínima (z) requerido para reducir el esfuerzo aplicado a niveles debajo de la capacidad resistencia del terreno de fundación (q). La ecuación de Boussinesq es como sigue:

$$z = \frac{R}{\left[\frac{1}{(1 - q/p)^{0.67}} - 1 \right]^{0.5}} \quad \text{[Ecuación 3-22]}$$

Donde:

- q = Capacidad de resistencia del terreno de fundación (lb/pulg^2);
- R = Radio de contacto aparente del neumático del vehículo (pulg);
- p = Presión del neumático o presión de contacto (lb/pulg^2); y
- z = Espesor agregado requerido (pulg).

El radio de contacto aparente (R) de ruedas simple o dual es descrito por la ecuación siguiente:

$$R = \left[\frac{0.5 P}{3.14 * p} \right]^{0.5} \quad \text{[Ecuación 3-23]}$$

Donde:

P = carga(s) eje de diseño (lb); y

p = presión de contacto (lb/pulg²).

3.4.3.3 Diseño del Geotextil

Como se resumió en la sección 3.4.2.3, Amospec selecciona las propiedades del geotextil de separación mínimo requerido como es ordenado por los datos de entrada de durabilidad. Las propiedades del geotextil recomendadas por Amospec son aplicables a la mayoría de las condiciones del terreno de fundación en que un geotextil de estabilización es requerido para realizar la función primaria de separación y la función secundaria de filtración. Algunos proyectos requieren que el geotextil de estabilización también sean diseñados para la filtración. Una carretera construida sobre de suelos finos limosos saturados puede requerir a la filtración para ser la función primaria o secundaria del geotextil. El diseño de filtración de geotextiles está más allá del alcance del Amospec y de este capítulo. Para mayor información con respecto al diseño de filtración, el usuario se recomienda para referirse a Luetlich et. al., [1991]. El usuario siempre debe verificar que las propiedades del geotextil seleccionadas reúnan los requerimientos de función de proyecto.

3.4.3.4 Recomendación de Parámetros de Entrada de Diseño

Las siguientes son recomendaciones para la selección de los parámetros de entrada para el diseño de carreteras no pavimentado usando el Método de Capacidad Resistencia Modificado. Se proporcionan recomendaciones para cada parámetro de entrada a continuación:

- Densidad y costo unitario del agregado;
- Costo unitario del geotextil
- Resistencia al corte del terreno de fundación;
- Carga por eje de diseño; y
- Presión de inflado del neumático.

Densidad y Costo Unitario del Agregado

Amospec utiliza el costo unitario del agregado (\$/ton) y la densidad (lb/ft³), los parámetros de entrada para calcular el costo agregado de la carretera (\$/yd²). Los costos del agregado se encuentran típicamente en el rango \$ 6.00/ton y \$ 15.00/ton. La densidad de los agregados están determinados de las pruebas del laboratorio para densidad del proctor (ASTM D 1557, ASTM D 698, AASHTO T 99 o AASHTO T 180). Rango de valores típicos entre 130 lb/ft³ y 150 lb/ft³. Pueden contactarse con canteras locales para aplicar los costos unitarios y también pueden tener datos de la densidad del proctor.

Costo Unitario del Geotextil

Los costos del geotextil varían basados de acuerdo a la ubicación, las cantidades requeridas y otros factores. Deben ponerse en contacto con los proveedores locales de los geotextiles para el costo unitario. El costo del geotextil de estabilización es compensado a menudo por la economía del costo asociado con la reducción del espesor del agregado. Amospec le proporcionará al usuario el costo unitario de construcción de la carretera con y sin un geotextil de estabilización. El costo de comparación sólo considera el costo de los materiales de construcción (agregado y geotextil). El usuario debe considerar otras economías del costo relacionado al uso de geotextiles de estabilización. Estas economías incluyen:

- Acceso de construcción mejorado;
- Incremento de la resistencia al corte del terreno de fundación a través de una reducción de perturbación en el terreno de fundación;
- Reducción en la profundidad de excavación requerida; y
- Mejora el rendimiento de la carretera.

RESISTENCIA AL CORTE DEL TERRENO DE FUNDACIÓN (C_u)

El Método de Capacidad Resistencia Modificado CBR requiere el suelo para ser descrito en términos de resistencia al corte no drenado ó cohesivo. La resistencia al corte del suelo no drenado puede ser determinada desde el campo o del ensayo de laboratorio. Lo siguiente es una lista parcial de pruebas del campo que puede ser usado para determinar la resistencia al corte no drenado de los suelos del terreno de fundación:

- Cono Penetrometro (ASTM D 3441, y Robertson y Campanella [1989]);
- Pocket penetrometro;
- CBR In-situ (ASTM D 4429);
- Veleta de corte (ASTM D 2573);
- Torvane corte; y
- Prueba de penetración standard (SPT)(ASTM D 1586).

También pueden usarse las pruebas del laboratorio siguientes:

- Resistencia al corte Triaxial (U.S. Army, EM 1110-2-1906-X); y
- CBR (ASTM D 1883 o AASHTO T 193).

Algunas relaciones de resistencia al corte pueden ser usadas para el diseño preliminar de la carretera. Tabla 3-26 proporciona relaciones aproximadas entre las varias propiedades del suelo y la resistencia al corte del terreno de fundación. Las relaciones siguientes pueden ser usadas:

$$C = \frac{q_c}{10} \quad \text{[Ecuación 3-24]}$$

Donde:

q_c = Resistencia cono penetración (lb/ft²); y

C = Resistencia al corte del suelo no drenado (lb/ft²).

$$C = 626.8 * (\text{CBR}) \quad \text{[Ecuación 3-25]}$$

Donde:

CBR = California Bearing Ratio

Carga por Eje de Diseño

Carga por eje de diseño (P) introducido en el Método Capacidad de Resistencia Modificado es la máxima carga total llevada por un eje tándem o simple. Los rangos típicos de carga por eje simple para varios camiones y equipos de construcción son proporcionados en la tabla 3-27. Los camiones full con ejes traseros tandem tendrían cargas aproximadamente dos veces aquéllos mostrados en la tabla 3-27. La máxima carga por eje simple para la mayoría de los vehículos de carretera en los estados es 18,000 lbs. El rango de cargas por eje simple típico

varia entre 6,000 lbs y 20,000 lbs. El eje de carga para los scrapers y camiones todo terreno son normalmente menos que 100,000 lbs.

Presión de Inflado de los Neumáticos

La presión promedio de contacto de un neumático que un vehículo ejerce sobre una carretera es aproximadamente igual a la presión de inflado de neumático. Se proporcionan presiones de inflado de neumático típico en la tabla 3-28. La presión de neumático de un camión de carretera varia típicamente de 90 lb/pulg² a 100 lb/pulg².

3.4.4.0 MÉTODO GIROUD NOIRAY

El método de Noiray Giroud para el diseño de carreteras no pavimentado considera el refuerzo como la función primaria del geotextil. Este método es considerado por ser más aplicable a carreteras sometidas a cargas vivas mayores y el desarrollo de huellas entre 3-pulg. y 12-pulg. de profundidad. La base teórica para el Método de Giroud Noiray se explica mejor en el documento original “Geotextil-Reinforced Unpaved Road Design” por Jean-Pierre Giroud, M ASCE, y Laure Noiray [1981]. El resto de este capítulo listará las hipótesis de esta aproximación, proporcionará el procedimiento y la ecuación de diseño final, y nos proporcionará una guía para la selección de los parámetros de entrada.

3.4.4.1 Hipótesis

Las hipótesis siguientes se usaron en desarrollo del Método Giroud Noiray:

- El agregado de la carretera es de una calidad que soportara las cargas de tráfico (este requerimiento se reúne para agregados que muestran un CBR mayor o igual a 80);
- La fricción entre el geotextil y los agregados es suficiente para prevenir el deslizamiento del agregado en la superficie del geotextil (esta condición se reúnen para agregados de alta calidad recomendados para la construcción de carretera);
- Se asumen cargas de rueda para inducir una distribución de esfuerzos piramidal; y
- El suelo del terreno de fundación es saturado y se comporta como un suelo no drenado bajo condiciones de carga rápida.

El desarrollo original de este método es deseado para carreteras expuestas a 10,000 ejes de circulación o menos. Las pruebas de escala completa fueron realizadas por el cuerpo Ingenieros del ejército de los Estados Unidos para verificar la fiabilidad de este diseño aproximado [Webster y Watkins, 1977; y Webster y Alford, 1978]. Las escalas de pruebas completas mostraron un acuerdo adecuado con los resultados teóricos del Método Giroud Noiray para menos que 10,000 ejes de circulación. Sin embargo, la experiencia del campo indica que mejora con el tiempo el rendimiento de los caminos no pavimentado [FHWA, 1986]. Por esta razón, para carreteras diseñadas para 10,000 ejes de circulación usan el Método Giroud Noiray, son esperados para ser apropiado para un número mayor de aplicaciones de carga de tráfico.

3.4.4.2 Ecuación de Diseño

Las relaciones geométricas mostradas por Giroud, y Noiray [1981] resulta en la ecuación siguiente que relaciona el espesor del agregado para el máximo esfuerzo aplicado a un suelo de terreno de fundación sin refuerzo, camino no pavimentado.

$$\pi c = \frac{P}{2(B+2h_0 \tan \alpha_0)(L+2h_0 \tan \alpha_0)} \quad [\text{Ecuación 3-26}]$$

Donde:

- B = Ancho de área de contacto del neumático (pulg.);
- L = Longitud de área de contacto del neumático (pulg.);
- c = Resistencia al corte no drenado del terreno de fundación (lb/pulg²);
- h₀ = Espesor del agregado de la carretera sin refuerzo (pulg.); y
- α = Angulo de distribución de carga (deg.) (Asuma α = 0.6°).

Esta ecuación puede resolver el espesor del agregado (h₀) para carreteras sin refuerzo. El espesor agregado (h) requerido para el refuerzo, la carretera no pavimentado puede usar la ecuación siguiente:

$$(\pi + 2)c = \frac{P}{2(B+2h \tan \alpha)(L+2h \tan \alpha)} - \frac{K\varepsilon}{a [1+(a/2s)^2]^{1/2}} \quad [\text{Ecuación 3-27}]$$

Donde:

h_o = Espesor del agregado de la carretera reforzado (pulg.);

K = Módulo secante geotextil (lb/pulg²);

ε = Deformación del geotextil (adimensional);

a = Ancho medio de huella (pulg.) (Ver figura 3-20); y

s = Asentamiento bajo los neumáticos (pulg.).

La diferencia entre h y h_o ó (Δh) representa la economía en el agregado debido a la inclusión de un geotextil de estabilización. Sin embargo la ecuación 3-31 ni la ecuación 3-32 consideran el número de aplicaciones de carga requerido para determinar el espesor del agregado.

La ecuación empírica siguiente puede ser usada para determinar el espesor del agregado requerido a un sin refuerzo, carretera no pavimentado considerando el número de aplicaciones de carga:

$$h'o = \frac{119.24 \log N + 470.98 \log P - 279.01r - 2283.34}{c^{0.63}} \quad [\text{Ecuación 3-28}]$$

Donde:

$h'o$ = Espesor del agregado de carretera sin refuerzo considerando el número de aplicaciones de carga (pulg.);

N = Número de circulaciones del eje (adimensional);

P = Diseño del eje de carga (lbs);

r = Profundidad de huella aceptable (pulg.); y

c = Resistencia al corte no drenado del suelos del terreno de fundación (lb/pulg²).

Asumiendo el valor de Δh no es dependiente en el número de aplicaciones de carga, el espesor del agregado requerido para una carretera no pavimentado reforzada considerando el número de aplicaciones de carga que puede determinarse como sigue:

$$h' = h'o - \Delta h \quad [\text{Ecuación 3-29}]$$

Donde:

h' = Espesor del agregado de carretera no pavimentado reforzado (pulg)
considerando aplicaciones de carga;

$h'o$ = Espesor del agregado carretera no pavimentado sin refuerzo (pulg)
considerando aplicaciones de carga; y

Δh = Economía del agregado (pulg) sin considerar aplicaciones de carga debido a
que no está reforzado.

3.4.4.3 Diseño Aproximado de Amospec

Amospec evalúa el espesor requerido del agregado de carretera no pavimentado de acuerdo con la ecuación 3-34. Los diseños de la carretera reforzada son realizados por Amospec usando las siguientes telas de geotextiles fabricado por tejidos la compañía de fibras Amoco: CEF 2000; CEF 2002; CEF 2006; y CEF 2044. Las curvas de esfuerzo-deformación de diseño para cada producto aplicable a la estabilización de carretera son proporcionadas en la figura 3-21. El diseño se cumple en la sucesión siguiente:

<u>Paso</u>	<u>Acción</u>
1	Se selecciona el espesor del agregado 4 pulg.
2.	La deformación del geotextil requerida es calculada para el ancho de huella del vehículo dado y la profundidad de huella usando los procedimientos esbozados en Giroud y Noiray [1981].
3.	Se selecciona el geotextil candidato basado en criterio de durabilidad.
4	El esfuerzo del geotextil es calculado para la deformación encontrada en el paso 2 de la curva esfuerzo versus deformación.
5.	Se calcula la resistencia al corte no drenado de los suelos requeridos usando la ecuación 3-27.
6.	Si la resistencia al corte no drenado requerido es mayor que la resistencia al corte no drenado del usuario-entrada, Amospec aumenta el espesor del agregado por 0.5 pulg. Y retorna al paso 4. Si la resistencia al corte no drenado requerido es menor que la resistencia al corte no drenado del usuario-entrada, Amospec continúa en el paso 7.
7.	El diseño del espesor agregado con un geotextil es calculado usando la ecuación 3-29 considerado el tráfico de carga.
8.	El diseño del espesor del agregado sin geotextil es calculado usando la ecuación 3-28.

9. El diseño anterior repite el proceso hasta que todos los productos de geotextil candidato sean evaluados.

3.4.4.4 Consideraciones de Diseño de los Geotextiles

Para la aproximación de Giroud Noiray, Amospec selecciona propiedades del geotextil que encuentran durabilidad y criterio de refuerzo. El usuario siempre debe verificar que las propiedades del geotextil seleccionadas reúnen todos los requerimientos de función del proyecto. Algunos proyectos requieren el geotextil de estabilización para ser también diseñados por filtración. Una carretera construida sobre suelos de limos finos saturados puede exigir a la filtración ser la función primaria o la función secundaria del geotextil. El diseño de geotextiles de filtración esta más allá del alcance de Amospec y de este capítulo. Para más información con respecto al diseño de filtración, el usuario se recomienda para referirse a Luecttich. et. al., [1991].

3.4.4.5 Recomendaciones de los Parámetros de Entrada de Diseño.

Las hojas de cálculo 3-4-3 proporcionan en la sección 3.4.5 de este capítulo la lista de los parámetros de entrada requeridos para el diseño de una carretera no pavimentado de acuerdo con el Método Giroud Noiray. A continuación las recomendaciones para la selección de parámetros de entrada para el diseño. Las recomendaciones son proporcionadas para cada parámetro de entrada a continuación:

- Densidad y costo unitario del agregado
- Costo unitario del geotextil
- Resistencia al corte del terreno de fundación;
- Carga de Diseño;
- Presión de inflado del neumático; y
- Profundidad de huella aceptable

Densidad y Costo Unitario del Agregado

Amospec usa costo unitario agregado (\$/ton) y densidad (lb/ft³) parámetros de entrada para calcular el costo del agregado por yarda cuadrada de carretera. Los costos del agregado varían típicamente entre \$ 6.00/ton y \$ 15.00/ton. La densidad del agregado es determinada

de las pruebas del laboratorio para densidad del proctor (ASTM D 1557, ASTM D 698, AASHTO T 99 o AASHTO T 180). Rango de valores típicos entre 130 lb/ft³ y 150 lb/ft³. Pueden contactarse canteras locales para los costos unitarios aplicables y también pueden tener datos de la densidad del proctor.

Costo Unitario del Geotextil

Los costos del geotextil varían basado de acuerdo a la ubicación, cantidades requeridas y otros factores. Deben contactarse con proveedores locales del geotextil para los costos unitarios. El costo de un geotextil de estabilización es compensado a menudo por la economía del costo asociado con la reducción del espesor del agregado. Amospec le proporcionará al usuario los costos unitarios de materiales de construcción de carretera con y sin un geotextil de estabilización. El costo de comparación considera sólo el costo de materiales de construcción (agregado y geotextil). El usuario debe considerar otras economías de costo relacionado para ser usado los geotextiles de estabilización. Estas economías incluyen:

- Mejora la comodidad de acceso de la construcción;
- Se incrementa la resistencia al corte del terreno de fundación a través de una reducción de la perturbación en el terreno de fundación;
- Reducciones de la profundidad de excavación requerida; y
- Mejora el rendimiento de la carretera.

Resistencia al Corte del Terreno de Fundación

El Método Giroud Noiray exige requiere el suelo para describir en términos de resistencia al corte no drenado o cohesivo. La resistencia al corte del suelo no drenado puede ser determinada en el campo o en el laboratorio. A continuación la lista parcial de pruebas del campo que pueden ser usados para determinar la resistencia al corte de suelos terreno de fundación no drenado.

- Cono Penetrometro (ASTM D 3441, y Robertson y Campanella [1989]);
- Pocket Penetrometro;
- CBR In-situ (ASTM D 4429);
- Veleta de corte (ASTM D 2573);
- Torvane corte; y

- Prueba de penetración standard (SPT)(ASTM D 1586).

También pueden ser usadas las pruebas de laboratorio siguientes:

- Resistencia al corte Triaxial (U.S. Army, EM 1110-2-1906-X); y
- CBR (ASTM D 1883 o AASHTO T 193).

Algunas relaciones de resistencia al corte que puede ser usada para el diseño preliminar de la carretera. La tabla 3-26 proporciona relaciones aproximadas entre las varias propiedades del suelo y la resistencia al corte del terreno de fundación. Las relaciones siguientes también pueden ser usadas:

$$C = \frac{q_c}{10} \quad \text{[Ecuación 3-30]}$$

Donde:

q_c = Resistencia cono de penetración (lb/ft²); y

C = Resistencia al corte no drenado (lb/ft²).

$$C = 626.8 * (\text{CBR}) \quad \text{[Ecuación 3-31]}$$

Donde:

CBR = California Bearing Ratio

Carga de Diseño

La carga de diseño comprende dos partes: (i) diseño de carga por eje simple; y (ii) número de circulación por eje diseño. Para construcción de carreteras de transporte comercial, la carga por eje de diseño y el número de circulación son relativamente fácil para establecer. Para tráfico mixto de carga el ingeniero tiene tres condiciones potenciales que pueden requerir análisis críticos. Estas condiciones son:

- Eje de carga anticipado máximo;
- Eje de carga asociada con el número anticipado máximo de circulación; y
- Número total de circulación por eje de una carga por eje simple equivalente (ESAL).

La máxima carga anticipada en una carretera sólo puede ocurrir en pocas ocasiones. La carga asociada con el número máximo de circulación en la mayoría de los casos es significativamente es menos que la carga anticipado máximo. Sin embargo, debido al número mayor de circulación, este puede ser la condición de carga más crítica. La evaluación de diseño para las aplicaciones de ESAL debe ser indicativa de la carga de tráfico total. El ingeniero puede calcular ESAL usando los procedimientos como se describió en la sección 3.2.3.3 y usando las hojas de cálculo 3-2-1. Cuando se diseña la carretera no pavimentado, el Ingeniero se recomienda para evaluar las tres condiciones de carga. Esto puede ser logrado ejecutando tres veces el programa Amospec.

Los rangos típicos por eje de carga para camiones varios y equipo de construcción están proporcionados en la tabla 3-27. La máxima carga por eje legal de los vehículos de carretera en la mayoría de los estados es 18,000 lbs. La carga por eje típico varía entre 6,000 lbs y 20,000 lbs. La carga por eje para los scrapers y camiones todo terreno normalmente es menos 100,000 lbs.

Presión de Inflado del Neumático

La presión de contacto del neumático promedio que un vehículo ejerce sobre una carretera es aproximadamente igual a la presión del neumático. La presión de inflado de neumático típico es proporcionada en la tabla 3-28. La presión neumática de un camión de carretera varía típicamente de 90 lb/pulg² a 110 lb/pulg².

Profundidad de Huella Aceptable

La profundidad de huella aceptable es la distancia vertical desde la parte superior de la cima del suelo movido que está entre las cargas de rueda hacia la depresión directamente debajo de la carga de rueda. Esta distancia determina la magnitud para que la resistencia de tensión dentro del geotextil sea movilizada. La mayor profundidad de huella, la mayor resistencia de tensión del geotextil movilizado y el mayor potencial para la economía del agregado.

Sin ahuellamientos, no se desarrollará la tensión del geotextil y el geotextil no proporcionará refuerzo. Para suelos blandos sobre carreteras no pavimentado, la profundidad recomendable de huella varía en el rango de 6 pulg. a 12 pulg. Durante servicio de la carretera, estas huellas

pueden ser llenados con un agregado adicional para proporcionar un nivel superficie de camino (eliminar irregularidades en el perfil de la superficie de camino). El mantenimiento de la carretera con adición de agregados se requiere una vez después de que la huella se ha desarrollado.

3.4.5.0 HOJAS DE CÁLCULO DE DISEÑO

En esta sección incluye tres hojas de cálculo para el diseño de carreteras no pavimentado. Se intenta que las hojas de cálculo asistan al usuario a seleccionar parámetros de entrada al programa de cómputo de Amospec. Cada hoja de cálculo lista de los datos requeridos para realizar el diseño de la carretera. Las hojas de cálculo incluyen recomendaciones para la selección de valores para ser usados para el diseño preliminar y el diseño final. En muchos casos, los parámetros de entrada de diseño son dependientes en los materiales de construcción local y prácticas de la construcción. Para estos casos, las hojas de cálculo proporcionan un listado de fuentes adicionales para obtener información de parámetro de entrada. Las hojas de cálculo también incluyen referencia para secciones apropiadas de este capítulo para la discusión de conceptos de diseño de los parámetros de entrada. A continuación una lista de las hojas de cálculo.

- Hoja de cálculo 3-4-1, Durabilidad del geotextil (requerido para el Método Capacidad Resistencia Modificado y el Método de Giroud Nioray);
- Hoja de cálculo 3-4-2, Método de diseño Capacidad Resistencia Modificada; y
- Diseño Método Giroud Noiray.

HOJA DE CÁLCULO 3-4-1

3.4.5.1 DURABILIDAD GEOTEXTIL DE CAMINO NO PAVIMENTADO

Las respuestas a las siguientes ocho preguntas cualitativas son evaluadas por Amospec para la evaluación de la selección de rating durabilidad del geotextil recomendado mínimo. Cada respuesta a las ocho preguntas se asigna un valor de puntos. La durabilidad del geotextil recomendado mínimo es basada en el número total de puntos para todas las preguntas como se muestra en la tabla 3.28.1

1. Seleccione la letra apropiada que corresponde a la presión de contacto anticipado máximo o la presión del neumático aplicado a la primera capa granular durante la construcción.

			<u>Puntos</u>
A.	0 - 4 psi	Case 950I LPG Dozer	0
B.	4 - 8 psi	Cat D4H Dozer	10
C.	8 - 35 psi	Wheel Loaders	20
D.	35 - 100 psi	Construction Trucks	30
E.	más 100 psi	Highway trucks	40

2. Ingrese el espesor de capa mínimo del firme/cimiento granular que cubre el geotextil (pulg)

$$\text{Puntos} = (-2) * (\text{espesor agregado}) + 48$$

3. Cuál es el diámetro del agregado máximo para ser colocado en la parte superior del geotextil (pulg)?

$$\text{Puntos} = (2) * (\text{diámetro agregado}) + 1; \text{ y}$$

$$\text{Sí (diámetro agregado)} > 1/2 * (\text{espesor agregado}), \text{ Puntos} = \text{Puntos} + 3; \text{ y}$$

$$\text{Sí (diámetro agregado)} > 3/4 * (\text{espesor agregado}), \text{ Puntos} = \text{Puntos} + 3.$$

4. ¿Cuál es la angulosidad del agregado que será colocado sobre el geotextil?

		<u>Puntos</u>
A.	Bien redondeado	0
B.	Redondeado	7
C.	Subredondeado	15
D.	Subangular	23
E.	Angular	30

5. Qué tipo de suelo está debajo del geotextil?

	<u>Puntos</u>
A. Suelos grano fino con una superficie lisa	0
B. Suelos grano fino con depresiones poco profundo que no exceden 6-pulg. de profundidad	10
C. Superficie de terreno natural con depresiones que no exceden 12-pulg. de profundidad	20
D. Agregado	30
E. Superficie de terreno natural con algunas rocas y otros restos	30
F. Superficie de terreno natural con significantes rocas y restos	40

6. ¿Cuál es la resistencia al corte promedio del terreno de fundación del suelo debajo del geotextil?

	<u>CBR</u>	<u>Mod. Reacción del Terreno de fundación</u>	<u>Puntos</u>
A. menos de 500 psf	< 1	< 30 psi/pulg	20
B. 500 – 1000 psf	1 - 2	30 – 60 psi/pulg	15
C. 1000 – 1800 psf	2 – 3	60 – 100 psi/pulg	10
D. 1800 – 3000 psf	3 – 5	100 – 150 psi/pulg	5
E. mayor que 3000 psf	> 5	> 150 psi/pulg	0

7. ¿Qué puntaje de supervisión en la construcción se realizará durante la colocación del geotextil y los materiales agregados superyacente (sobretendido)?

	<u>Puntos</u>
A. Supervisión cerrada	0
B. Supervisión regular	2
C. Supervisión moderada	4
D. Supervisión pequeña	6
E. no Supervisión	10

HOJA DE CÁLCULO 3-4-2

3.4.5.2 DISEÑO CAMINO NO PAVIMENTADO MÉTODO CAPACIDAD DE RESISTENCIA MODIFICADA

Determine cada uno de las variables de entrada siguientes para el diseño de un camino no pavimentado de acuerdo con el Método Capacidad Resistencia Modificado. Se mantienen recomendaciones para los valores del diseño y los valores estimados cada variable.

I. COSTO Y DENSIDAD DEL MATERIAL

A. Costo del agregado \$ _____ ton

Valor típico: \$ 5/ton a \$ 30/ton

Fuente adicional: Agregado del proveedor

B. Densidad del agregado _____ lb/ft³

Valor diseño: Resultados de ASTM D 1557

Resultados de ASTM D 698

Resultados de AASHTO T 99

Resultados de AASHTO T180

Valor típico: 120 lb/ft³ a 140 lb/ft³

Fuente adicional: Especificaciones del proyecto
Proveedor del agregado

C. Costo del geotextil \$ _____ yd²

Valor típico: \$ 0.90/yd² a \$ 3.00/yd²

Fuente adicional: Proveedor del geotextil

Discusión: Sección 3.4.3.4

II. CONDICIONES DE TRÁFICO Y PROPIEDADES DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

A. CBR del Terreno de Fundación _____

Valor diseño: Resultados ensayo de resistencia al corte triaxial

(EM 1110-2-1906-X) y ecuación 3-26

Resultados de ASTM D 3441 y ecuación 3-26

Resultados de ASTM D 1883

Resultados de ASTM D 4429

Resultados de AASHTO T 193.

Valor estimado: De la tabla 3-26

Valor típico: 0.5 a 5

Discusión: Sección 3.4.3.4

B. Diseño carga por eje

\$ _____ lb

Valor diseño: Basado en carga por eje tandem o simple anticipado máximo

Valor típico: De tabla 3-27

Discusión: Sección 3.4.3.4

C. Presión de inflado de neumático

_____ lb/pulg²

Valor diseño: Basado en la presión anticipado máximo

Valor estimado: De tabla 3-28

Valor típico: Camiones de carretera – 90 lb/pulg² a 100 lb/pulg²

Discusión: Sección 3.4.3.4

HOJA DE CÁLCULO 3-4-3

3.4.5.3 DISEÑO CAMINO NO PAVIMENTADO MÉTODO GIROUD NOIRAY

Determine cada uno de las variables de entrada siguiente para el diseño de un camino no pavimentado de acuerdo con el Método Giroud Noiray. Se mantienen las recomendaciones para los valores de diseño y los valores estimados para cada variable.

I. COSTOS Y DENSIDAD DEL MATERIAL

A. Costos del Agregado		\$ _____ ton
Valor típico:	\$ 5/ton a \$ 30/ton	
Fuente adicional:	Proveedor del agregado	
B. Densidad del Agregado		_____ lb/ft ³
Valor diseño:	Resultados de ASTM D 1557	
	Resultados de ASTM D 698	
	Resultados de AASHTO T 99	
	Resultados de AASHTO T 180	
Valor típico:	120 lb/ft ³ a 140 lb/ft ³	
Fuente adicional:	Especificaciones del proyecto, Proveedor del agregado	
C. Costo del Geotextil		\$ _____ /yd ²
Valor típico:	\$ 0.90/yd ² a 3.00/yd ²	
Fuente adicional:	Proveedor del geotextil	

II. CONDICIONES DEL TRÁFICO Y PROPIEDADES DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

A. CBR del terreno de fundación		_____
Valor diseño:	Resultados ensayo resistencia al corte triaxial (EM 1110-2-1906-X) y ecuación 3-26	
	Resultados de ASTM D 3441 y ecuación 3-26	

Resultados de ASTM D 1883

Resultados de ASTM D 4429

Resultados de AASHTO T 193

Valor estimado: De tabla 3-26

Valor típico: 1 a 5

Discusión: Sección 3.4.4.5

B. Diseño carga por eje simple o Carga por _____ lb
eje simple equivalente

Valor diseño: Basado en las aplicaciones de carga critico potencial:
(i) máxima carga; (ii) máximo numero de circulación;
y (iii) máximo ESAL (hojas de cálculo 3-2-1).

Valor estimado: De tabla 3-27

Valor típico: Vehículo de carretera– 18,000 lb.
Off- Highway vehículo – 60,000 lb. a 90,000 lb.

Discusión: Sección 3.4.4.5

C. Ancho de huella de la rueda _____ ft

Valor diseño: Fabricante del vehículo

Valor estimado: De tabla 3-28

Valor típico: Vehículos de carretera - 4.2 ft. a 6.2 ft.
Off- vehículo carretera 5 ft. a 16 ft.

Discusión: Sección 3.4.3.4

D. Numero Circulación de Carga por Eje _____

Valor diseño: Basado en la aplicación de carga critico potencial:
(i) máxima carga; (ii) máximo numero de circulación;
y (iii) máximo ESAL (hojas de cálculo 3-1).

Valor típico: 10,000

Discusión: Sección 3.4.4.5

E. Presión de Inflado del Neumático _____ lb/pulg²

Valor diseño: Basado en el tipo de vehículo

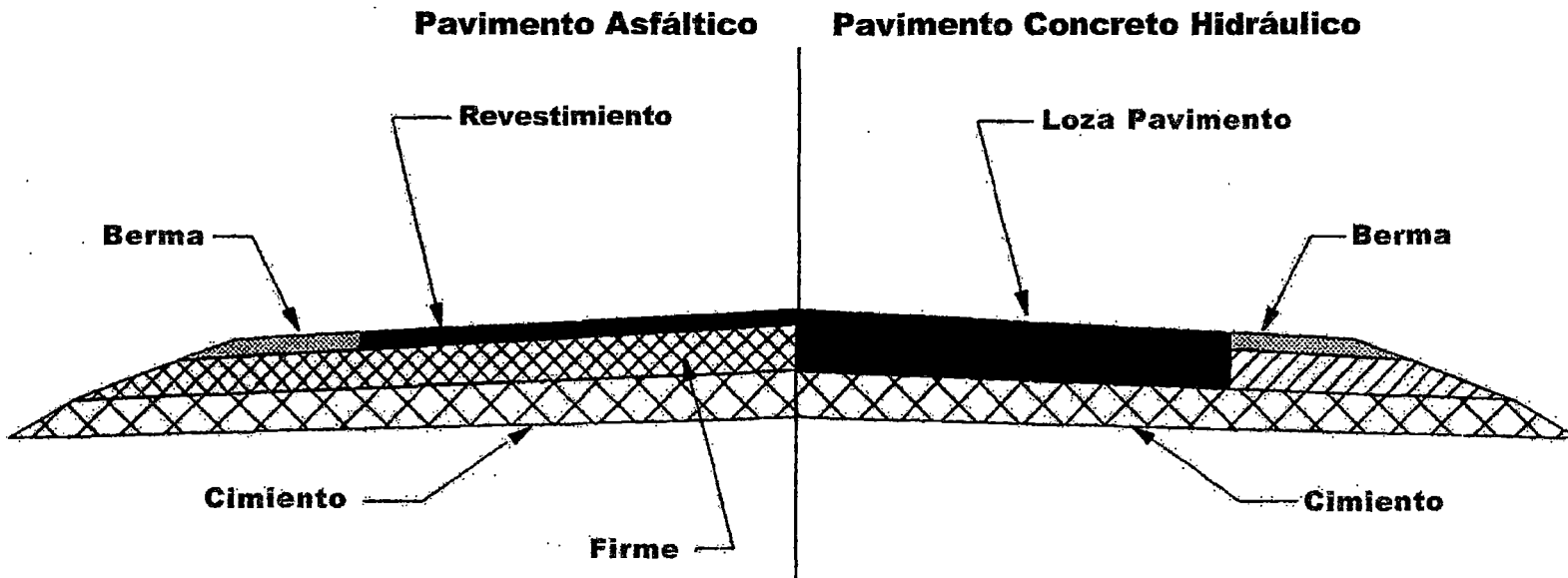
Valor estimado: De tabla 3-28

Valor típico: Camiones de carretera – 95 lb/pulg² a 120 lb/pulg².
Discusión: Sección 3.4.3.4

F. Profundidad de Huella Aceptable _____ pulg.

Valor diseño: Basado en la práctica del mantenimiento de carretera
Valor típico: 3 pulg. a 12 pulg.
Discusión: Sección 3.4.4.5

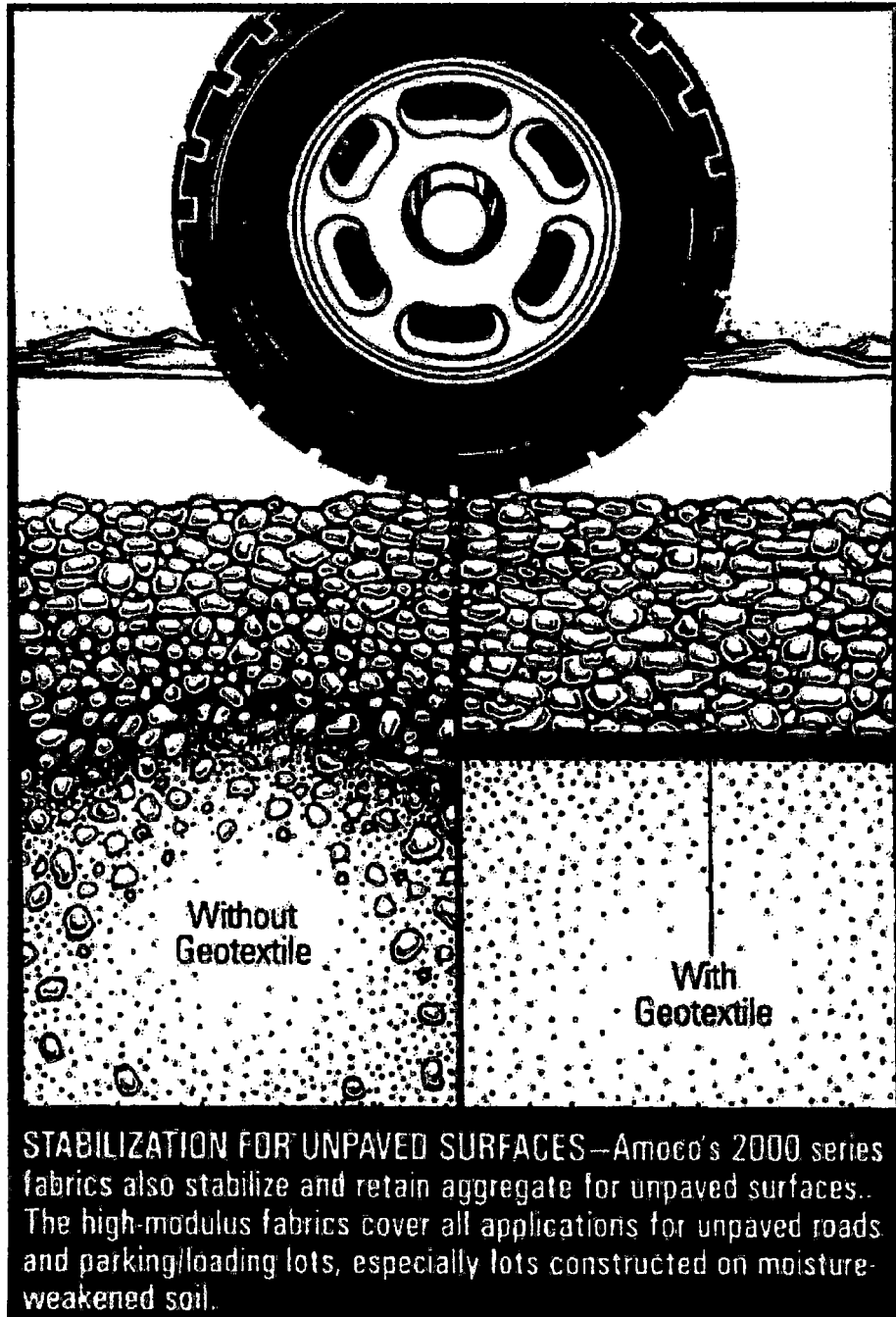
GRAFICOS Y TABLAS



Sección Transversal Típico de un Pavimento

Figura 3-1

FIGURA 3-2 FUNCION SEPARACION DEL GEOTEXTIL ESTABILIZACION



- (a) Sin geotextil de estabilización los suelos húmedos o blandos pueden contaminar los agregados de la carretera resultando prematuro el ahuecamiento o agrietamiento en la superficie del pavimento.
- (b) Con un geotextil de separación se evita la contaminación entre la capa granular y el terreno de fundación.

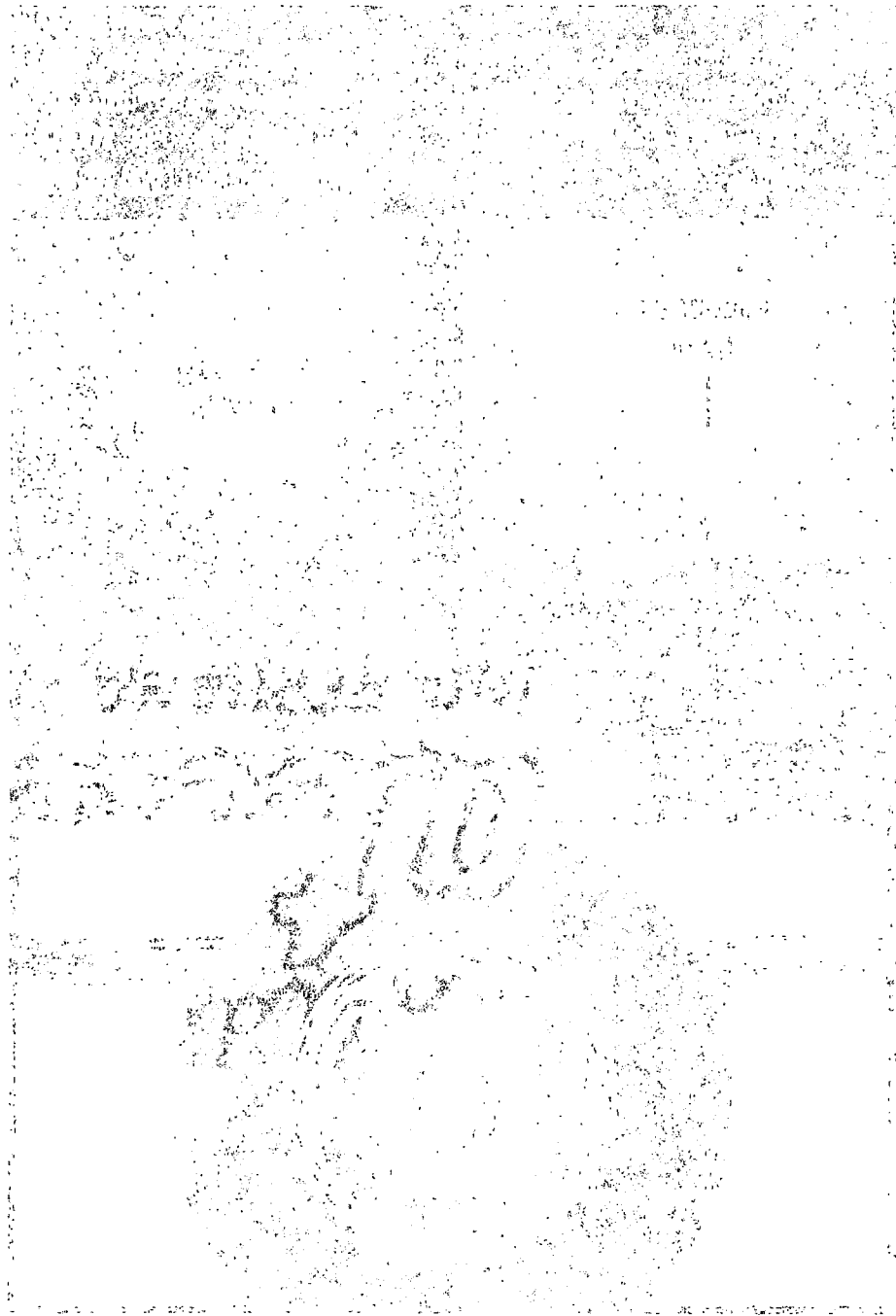


TABLA 3-1 PERÍODO DE ANÁLISIS DE DISEÑO CARRETERA RECOMENDADO [AASHTO, 1986]

CONDICIONES DE LA CARRETERA	PERÍODO DE ANÁLISIS (AÑOS) ⁽¹⁾
Urbano volumen carretera	30 - 50
Rural alto volumen	20 - 50
Bajo volumen	15 - 25

Nota: 1. Período de análisis que puede incluir uno o más períodos de diseño.

TABLA 3-2 NIVELES DE FIABILIDAD SUGERIDAS PARA VARIAS CLASIFICACIONES FUNCIONALES [AASHTO, 1986]

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL FIABILIDAD RECOMENDADO	
	URBANO	RURAL
Interestatales y otras vías libres	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteria principal	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

TABLA 3-3 DESVIACIÓN STANDARD NORMAL (Z_R) VALORES QUE CORRESPONDEN A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE FIABILIDAD DE DISEÑO [AASHTO, 1986]

FIABILIDAD (%)	DESVIACIÓN STANDARD NORMAL, Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

TABLA 3-4 VALORES TÍPICOS DE DESVIACIÓN STANDARD [AASHTO, 1986]

CONDICIÓN DISEÑO	DESVIACIÓN STANDARD
Variación en la predicción de performance del pavimento	0.25 concreto hidráulico 0.35 asfáltico
Variación total en predicción de performance del pavimento y estimación de tráfico	0.35 concreto hidráulico 0.45 asfáltico

TABLA 3-5. DISTRIBUCION DE CAMIONES SOBRE DIFERENTES TIPOS DE CARRETERAS ESTADOS UNIDOS ⁽¹⁾

CLASE DE CAMION	PORCENTAJE DE CAMIONES DE VOLUMEN DE TRÁFICO TOTAL											
	SISTEMAS RURALES						SISTEMAS URBANOS					
	Inter estatal	Otras principales	Menor arterial	Colectoras		Rango	Inter estatal	Otras vías libres	Otras principales	Menor arterial	Colectoras	Rango
Mayor				Menor								
Unidades simples de camiones												
2 ejes, 4 llantas	43	60	71	73	80	43-80	52	66	67	84	86	52-86
2 ejes, 6 llantas	8	10	11	10	10	8-11	12	12	15	9	11	9-15
3 ejes o más	2	3	4	4	2	2-4	2	4	3	2	<1	<1-4
Todas las unidades simples	53	73	86	87	92	53-92	66	82	85	95	97	66-97
Unidades múltiples de camiones												
4 ejes o menos	5	3	3	2	2	2-5	5	5	3	2	1	1-5
5 ejes ⁽²⁾	41	23	11	10	6	6-41	28	13	12	3	2	2-28
6 ejes o más ⁽²⁾	1	1	<1	1	<1	<1-1	1	<1	<1	<1	<1	<1-1
Todas las unidades múltiples	47	27	14	13	8	8-47	34	18	15	5	3	3-34
Todos los camiones	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	

NOTAS: 1. Compilado de los datos suministrados por la División de Estadísticas de Carreteras, U.S. Federal Highway Administración.
 2. Incluyendo combinaciones con trailers en algunos estados

TABLA 3-6. TASA DE CRECIMIENTO VOLUMEN TRÁFICO

TIPO VEHÍCULO	TASA CRECIMIENTO ANUAL ⁽¹⁾
Automóviles	2-5
Buses	2-5
Camiones Solo-unidad	4-9
Camiones Semi-trailer	4-9
Camiones Doble-trailer	5-9

Nota: 1. Tasas de crecimiento tráfico de la carretera interestatal pueden exceder en diez por ciento.

**TABLA 3-7. FACTORES CRECIMIENTO VOLUMEN TRÁFICO
[AASHTO, 1986]**

PERÍODO DE DISEÑO (AÑOS)	TASA CRECIMIENTO ANUAL, PORCENTAJE							
	0	2	4	5	6	7	8	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.1
3	3	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5	5.2	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6	6.31	6.63	6.8	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7	7.43	7.9	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8	8.58	9.21	9.55	9.9	10.26	10.64	11.44
9	9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.5	24.52
14	14	15.97	18.29	19.6	21.02	22.55	24.21	27.97
15	15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17	20.01	23.7	25.84	28.21	30.84	33.75	40.54
18	18	21.41	25.65	28.13	30.91	34	37.45	45.6
19	19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20	24.3	29.78	33.07	36.79	41	45.76	57.27
25	25	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

NOTA: 1. Factor crecimiento volumen tráfico = $[(1+g)^n - 1]/g$
donde: g = [tasa crecimiento anual]/100 y es diferente de cero
n = periodo análisis diseño (años)

TABLA 3-8A FACTORES DE ESAL PARA CARRETERAS RURALES Y TIPOS VEHICULOS VARIOS ⁽¹⁾

TIPO VEHÍCULO	FACTORES ESAL					
	SISTEMA RURAL					
	INTER ESTATAL	OTRAS PRINCIPALES	MENOR ARTERIAL	COLECTORES		RANGO
MAYOR				MENOR		
Automóviles	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Buses	0.681	0.681	0.681	0.681	0.681	0.681
<u>Unidades simples camiones</u>						
2 ejes, 4 llantas	0.003	0.003	0.003	0.017	0.003	0.003-0.01
2 ejes, 6 llantas	0.21	0.25	0.28	0.41	0.19	0.19-0.41
3 ejes o mas	0.61	0.86	1.06	1.26	0.45	0.45-1.26
Todas unidades simples	0.06	0.08	0.08	0.12	0.03	0.03-0.12
<u>Camiones trayler</u>						
4 ejes o menos	0.62	0.92	0.62	0.37	0.91	0.37-0.91
5 ejes	1.09	1.25	1.05	1.67	1.11	1.05-1.67
6 ejes o mas	1.23	1.54	1.04	2.21	1.35	1.04-2.21
Todas las unidades múltiples	1.04	1.21	0.97	1.52	1.08	0.97-1.52
Todos los camiones	0.52	0.38	0.21	0.30	0.12	0.12-0.52

NOTA: 1. Adaptado del Instituto del Asfalto [1991] y AASHTO [1986].

TABLA 3-8B FACTORES DE ESAL PARA CARRETERAS URBANOS Y TIPOS VEHICULOS VARIOS ⁽¹⁾

TIPO VEHICULO	FACTORES ESAL					
	SISTEMA URBANO					
	INTER ESTATAL	OTRAS VIAS LIBRES	OTRAS PRINCIPALES	MENOR ARETRIAL	COLEC TORES	RANGO
Automóviles	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Buses	0.681	0.681	0.681	0.681	0.681	0.681
<u>Unidades simples camiones</u>						
2 ejes, 4 llantas	0.002	0.015	0.002	0.006	0.003	0.006-0.015
2 ejes, 6 llantas	0.17	0.13	0.24	0.23	0.13	0.13-0.24
3 ejes o más	0.61	0.74	1.02	0.76	0.72	0.61-1.02
Todas unidades simples	0.05	0.06	0.09	0.04	0.16	0.04-0.16
<u>Camiones trayler</u>						
4 ejes o menos	0.98	0.48	0.71	0.46	0.40	0.40-0.98
5 ejes	1.07	1.17	0.97	0.77	0.63	0.63-1.17
6 ejes o más	1.05	1.19	0.90	0.64		0.64-1.19
Todas las unidades múltiples	1.05	0.96	0.91	0.67	0.53	0.53-1.05
Todos los camiones	0.39	0.23	0.21	0.07	0.24	0.07-0.39

NOTA: 1. Adaptado del Instituto del Asfalto [1991] y AASHTO [1986].

TABLA 3-9 FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE CARRILES TÍPICO

Nº DE CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN CARRIL (D _L) (%)
1	1.0
2	0.8 – 1.0
3	0.6 – 0.8
4	0.5 – 0.75

TABLA 3-10 VALORES ÍNDICE SERVICIABILIDAD DE CARRETERA RECOMENDADO [AASHTO, 1986]

CONDICIÓN	INDICE FIABILIDAD
Serviciabilidad Inicial	
Pavimento asfáltico	4.2
Pavimento concreto hidráulico	4.5
Serviciabilidad Final	
Carreteras mayores	2.5 o más alto
Otras carreteras	2.0
Carreteras de bajo-volumen	1.5 – 2.0
Parques de estacionamiento (carriles de mayor trayecto)	2.0 – 2.5

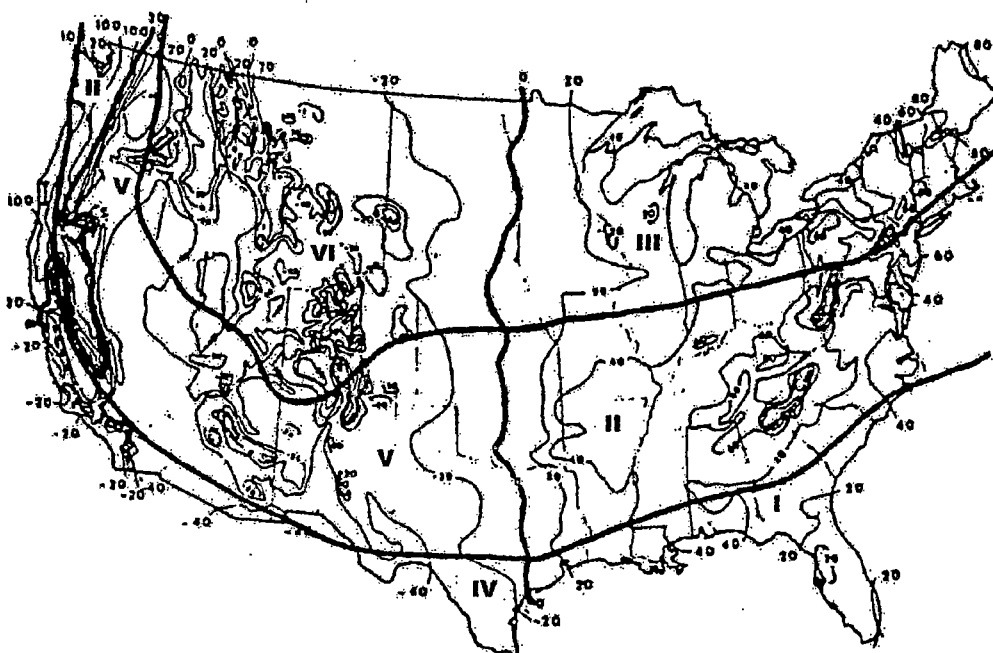
TABLA 3-11 CORRELACIONES ENTRE CALIFORNIA BEARING RATIO SUELO DEL TERRENO DE FUNDACION CBR(1) Y MODULO RESILIENTE M_R Y ENTRE R-VALOR(2) DEL SUELO Y MODULO RESILIENTE

CBR ¹	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
M_R (ksi)	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	
R-VALUE ⁵	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

NOTAS:

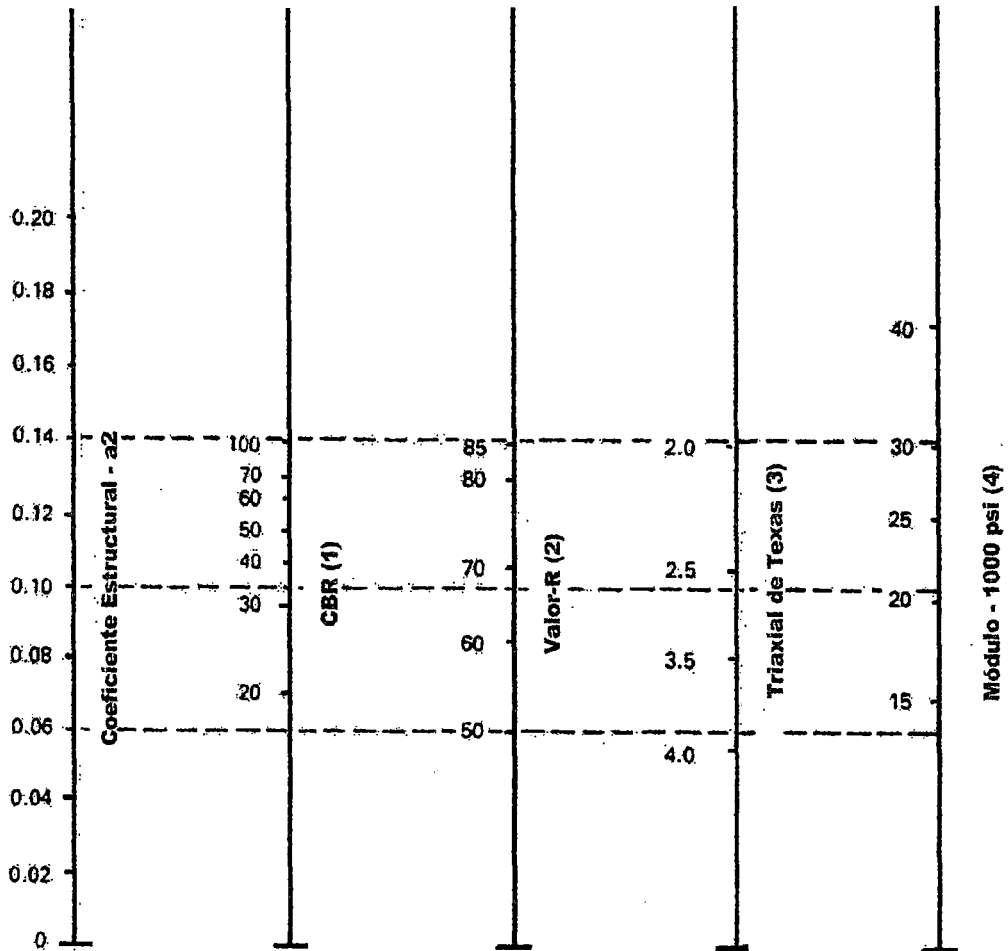
1. CBR medido de acuerdo con ASTM-D-1883 o AASHTO T 193. Muestra compactada de acuerdo con ASTM-D-1557 metodo B o D o AASHTO T 180.
2. Valor-R medido de acuerdo con ASTM D 2844 o AASHTO T 190
3. Las correlaciones son validas para: (i) suelos clasificados como CL,CH,ML, Sc, Sm, y SP de acuerdo con el sistema de clasificacion de suelo unificado; (ii) para suelos clasificados como A-7, A-6,A-5, A-4 y fino A-2 de acuerdo con AASHTO M 145; y (iii) para materiales que exhiben un modulo de resiliente de 30,000 psi o menos.
4. $M_R=1.5*(CBR)$ para M_R en unidad de 1,000 psi [Instituto Asfalto, 1991]
5. $M_R= 1+0.555(R\text{-valor})$ para M_R en unidad de 1,000 psi [AASHTO 1986]

**FIGURA 3-3 LAS SEIS REGIONES CLIMATICAS EN LOS E.E.U.U.
[LISTER, 1972]**



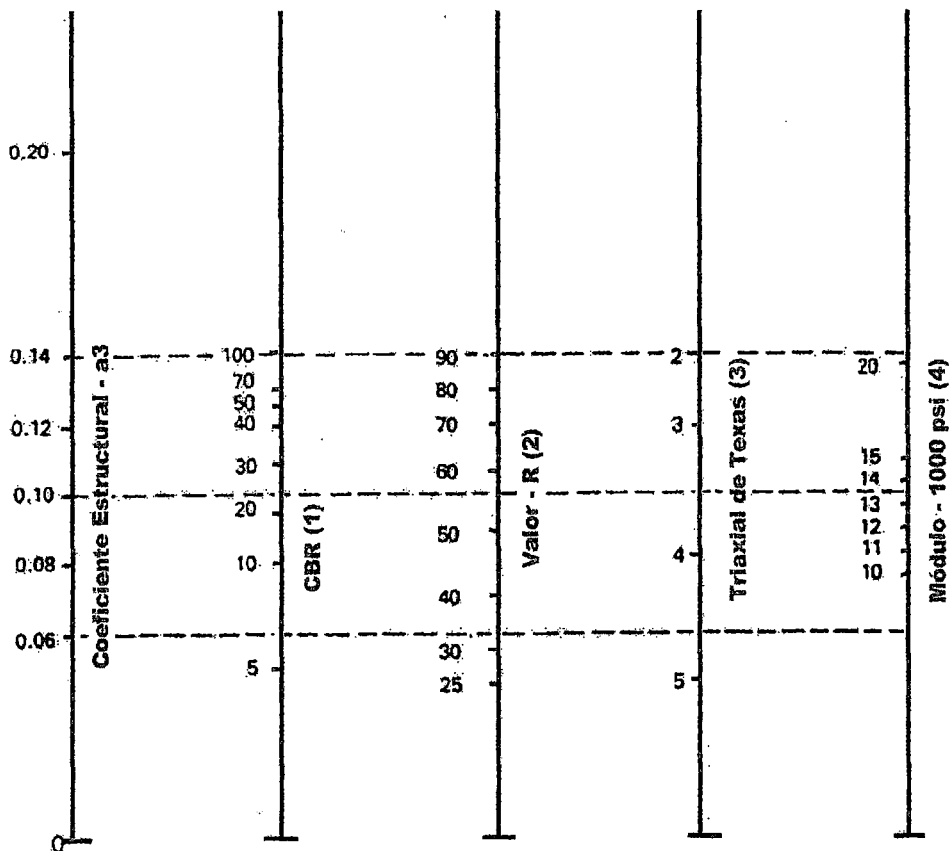
REGION	CARACTERISTICAS
I	Húmedo, No helado
II	Húmedo, helado-deshielo cíclico
III	Húmedo, helado-sólido, deshielo primaveral
IV	Seco, No helado
V	Seco, helado-deshielo cíclico
VI	Seco, Helado-sólido, deshielo primaveral

FIGURA 3-4 VARIACION EN EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPA DEL FIRME (a2) CON DIFERENTES PARAMETROS DE RESISTENCIA [AASHTO, 1986].



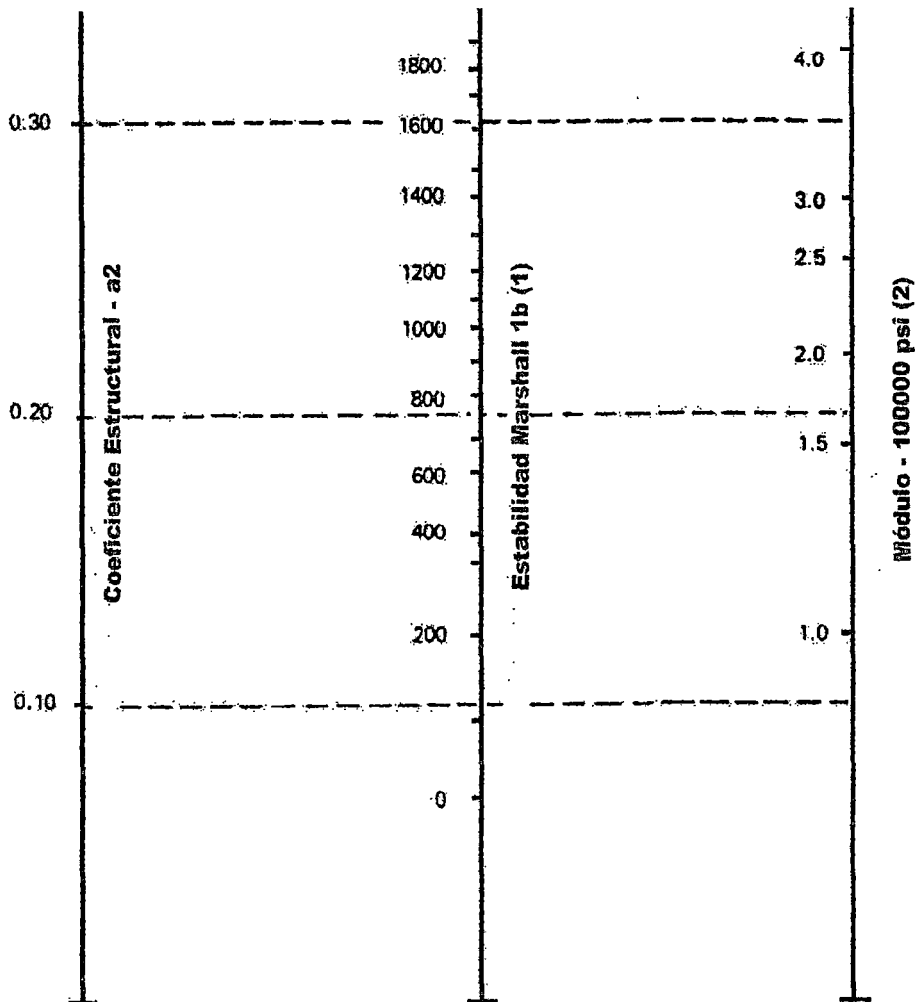
- (1) Escala derivada promediando correlaciones obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada promediando correlaciones obtenidas de California, Nuevo México y Wyoming
- (3) Escala derivada promediando correlaciones obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP

FIGURA 3-5 VARIACIONES EN EL COEFICIENTE DE CAPA DE CIMIENTO GRANULAR (a3) CON DIFERENTES PARAMETROS DEL CIMIENTO (RESILIENTE) [AASHTO, 1986].



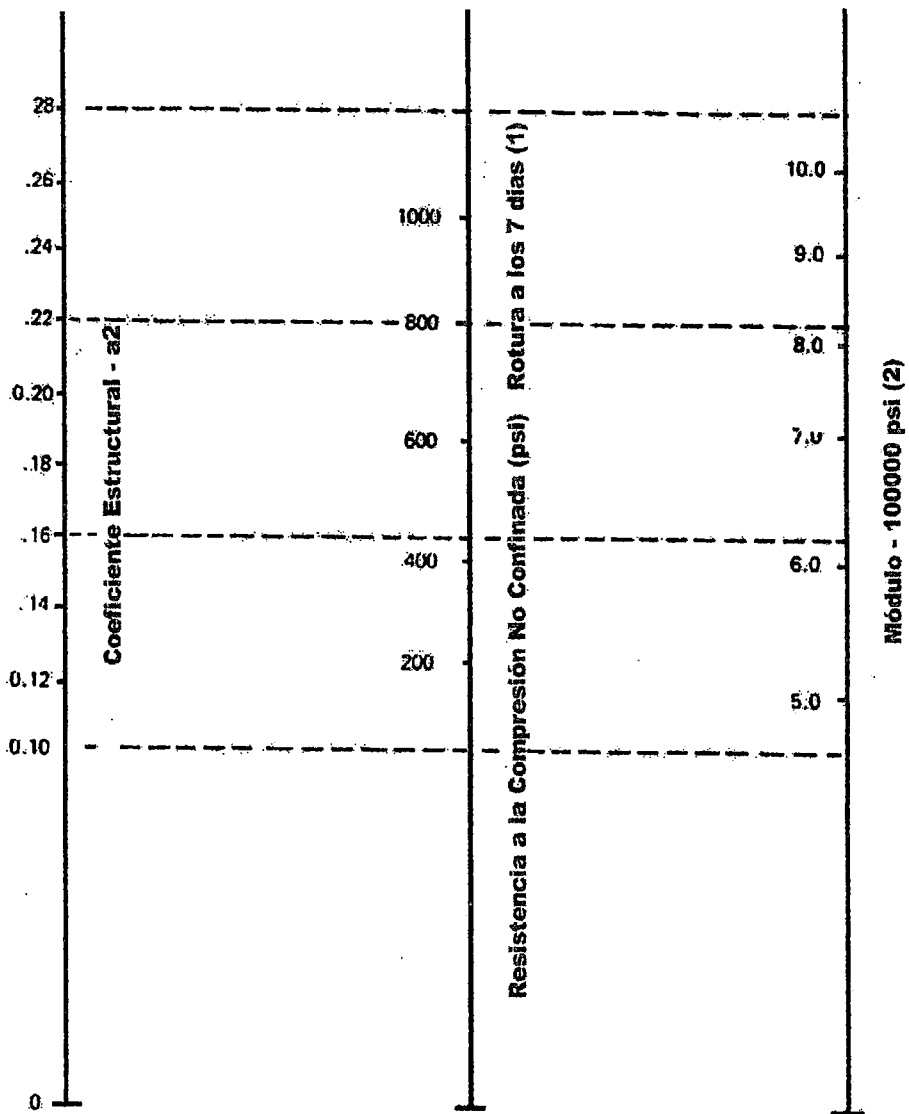
- (1) Escala derivada de las correlaciones obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada de las correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, Nuevo México y Wyoming.
- (3) Escala derivada de las correlaciones obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP

FIGURA 3-6 VARIACIÓN DE a_2 EN BASES TRATADAS CON BITUMEN CON LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA DEL FIRME [AASHTO, 1986]



- (1) Escala derivada por correlaciones obtenidas de Illinois.
 (2) Escala derivada del proyecto NCHRP.

FIGURA 3-7 VARIACIÓN DE a_2 EN BASES TRATADAS CON CEMENTO CON LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL FIRME [AASHTO,1986]



- (1) Escala derivada promediando las correlaciones obtenidas de Illinois, Lousiana y Texas.
 (2) Escala derivada del proyecto NCHRP.

FIGURA 3-8 CARTA PARA LA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO DE GRADACIÓN DENSA BASADO EN EL MÓDULO ELÁSTICO [AASHTO,1986]

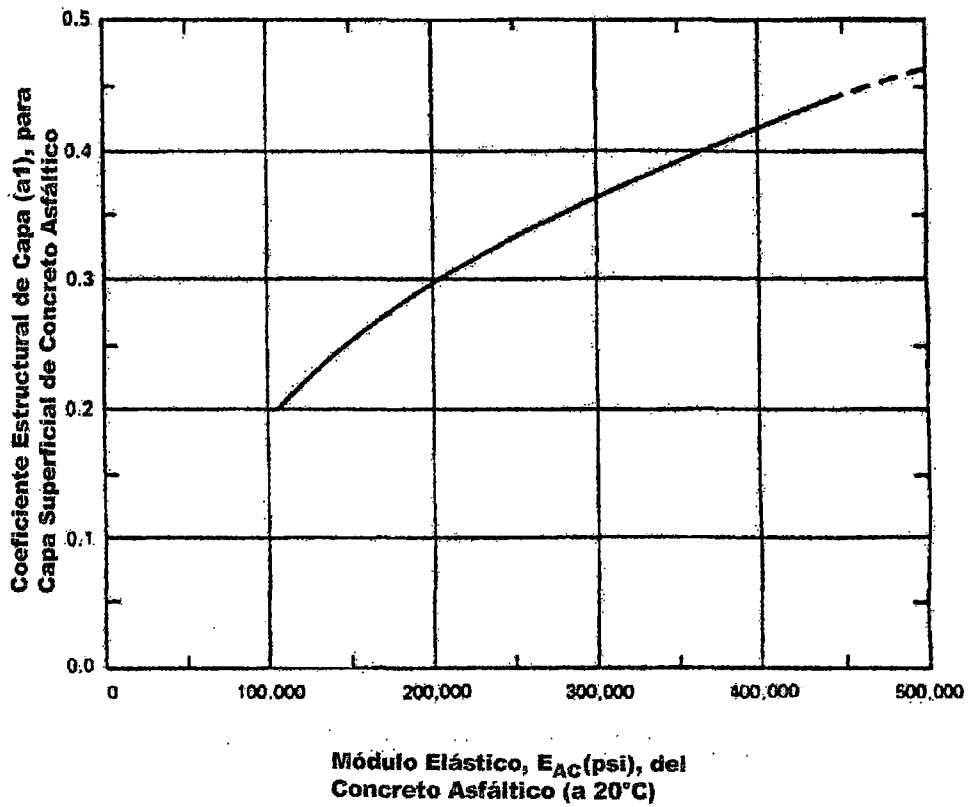


TABLA 3-12 MÓDULO RESILIENTE DEL SUELO TERRENO DE FUNDACIÓN SUGERIDO (M_R) (LB/PULG²) VALORES BASADOS EN REGIÓN CLIMÁTICA U.S. Y CALIDAD PLATAFORMA RELATIVA [AASHTO, 1986]

REGIÓN CLIMÁTICA U. S.	CALIDAD RELATIVA PLATAFORMA DEL SUELO				
	MUY POBRE	POBRE	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
I	2,800	3,700	5,000	6,800	9,500
II	2,700	3,400	4,500	5,500	7,300
III	2,700	3,000	4,000	4,400	5,700
IV	3,200	4,100	5,600	7,900	11,700
V	3,100	3,700	5,000	6,000	8,200
VI	2,800	3,100	4,100	4,500	5,700

TABLA 3-13 COEFICIENTES DE DRENAJE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO (m) [AASHTO, 1986]

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO DE REMOSIÓN DEL AGUA	PORCENTAJE DEL TIEMPO QUE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTA A NIVELES DE HUMEDAD CERCANOS A LA SATURACIÓN			
		< 1 %	1 - 5%	5 - 25 %	> 25 %
EXCELENTE	2 HORAS	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
BUENA	1 DÍA	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
REGULAR	1 SEMANA	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
POBRE	1 MES	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
MUY POBRE	NO DRENAJE	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

TABLA 3-14 COEFICIENTES DE HUMEDAD DEL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO (C_d) [AASHTO, 1986]

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO DE REMOSIÓN DEL AGUA	PORCENTAJE DE TIEMPO QUE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PROXIMOS A LA SATURACIÓN			
		< 1 %	1 - 5%	5 - 25 %	> 25 %
EXCELENTE	2 HORAS	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
BUENA	1 DÍA	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
REGULAR	1 SEMANA	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
POBRE	1 MES	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
MUY POBRE	NO DRENAJE	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

TABLA 3-15. VALORES DEL MÓDULO TÍPICO DE REACCIÓN DEL TERRENO DE FUNDACIÓN (K) PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS SOBRE FIRME GRANULAR SUELTO⁽¹⁾

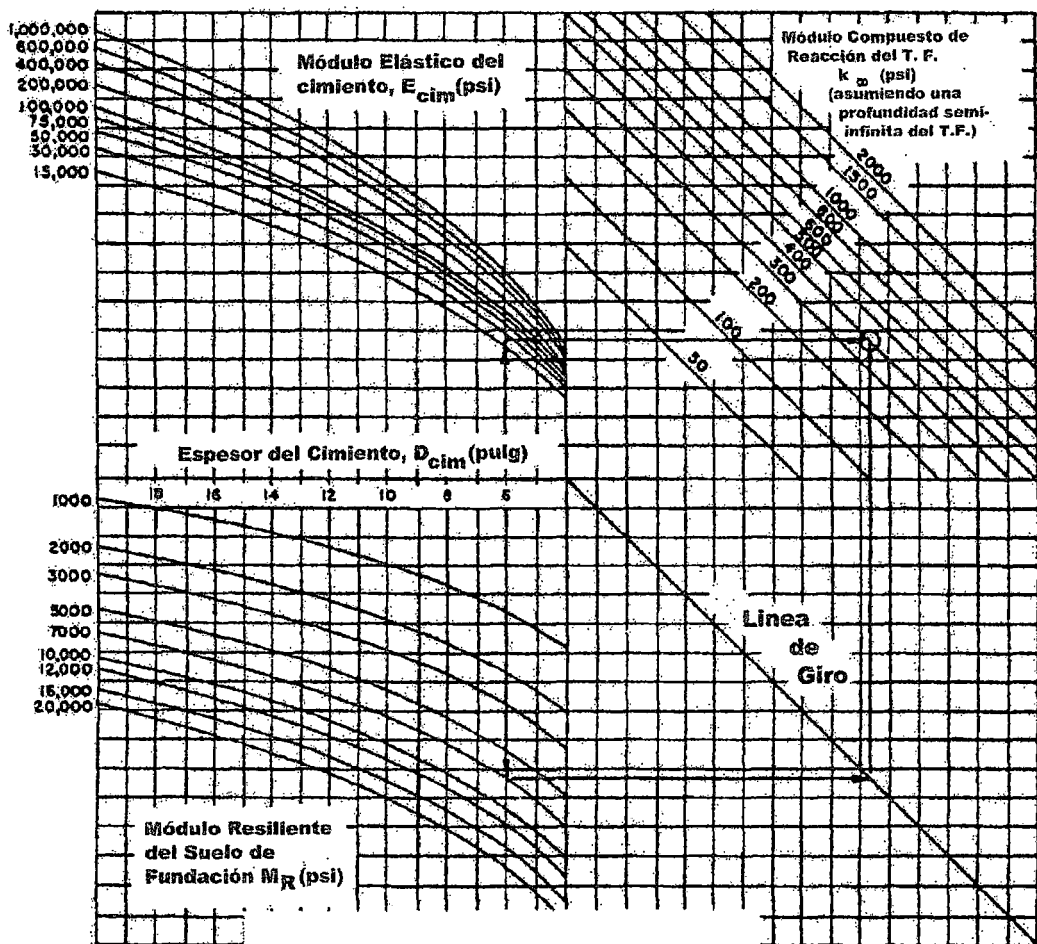
TIPO DE SUELO DEL TERRENO FUNDACION ⁽²⁾	SOPORTE DEL SUELO	TERRENO FUNDACION CBR	TERRENO FUNDACION R-VALOR	ESPESOR CIMENTO(SUBBASE) (PULG.)						
				0	4	6	8	10	12	16
Suelos de grano-fino con predominación limos y partículas de arcilla	BAJO	3	8	100	130	140	150	175	190	210
Arenas y mezclas de arena grava con moderadas cantidades de limos y arcillas.	MEDIO	5	23	150	170	185	200	225	250	290
		10	46	200	220	230	250	280	320	350
Arena y mezclas de grava arena, relativamente libre de plásticos finos	ALTO	20.0	67	250	290	300	310	325	350	400
		27.0	-	300	320	350	390	375	430	450
		32.0	-	350	380	400	420	425	450	
		38.0	-	400	410	425	450	450		

NOTAS:

1. Valores de k basado en el módulo elástico cemento igual a 20,000lb/pulg².
2. Después Instituto Cemento Portland.

FIGURA 3-9 CARTA PARA ESTIMAR LOS MODULOS DE REACCIÓN DEL TERRENO DE FUNDACIÓN COMPUESTO, K , ASUMIENDO UN ESPESOR SEMI-INFINITO DE LA SUBRASANTE

(para propósitos prácticos se considera un espesor semi-infinito al que es mayor de 3 m. por debajo de la superficie del terreno fundación).



EJEMPLO:

D_{cim} = 6 pulgadas
 E_{cim} = 20,000 psi
 M_R = 7,000 psi
 solución: k_m = 400 pci

FIGURA 3-10 CARTA PARA MODIFICAR EL MODULO DE REACCION DEL TERRENO DE FUNDACION, CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE UNA CIMENTACION RIGIDA CERCA DE LA SUPERFICIE (dentro de 3 m.) [AASHTO, 1986]

Módulo de Reacción del Terreno de Fundación, k_{∞} (pci)
 Asumiendo una profundidad semi-infinita del Terreno de Fundación.

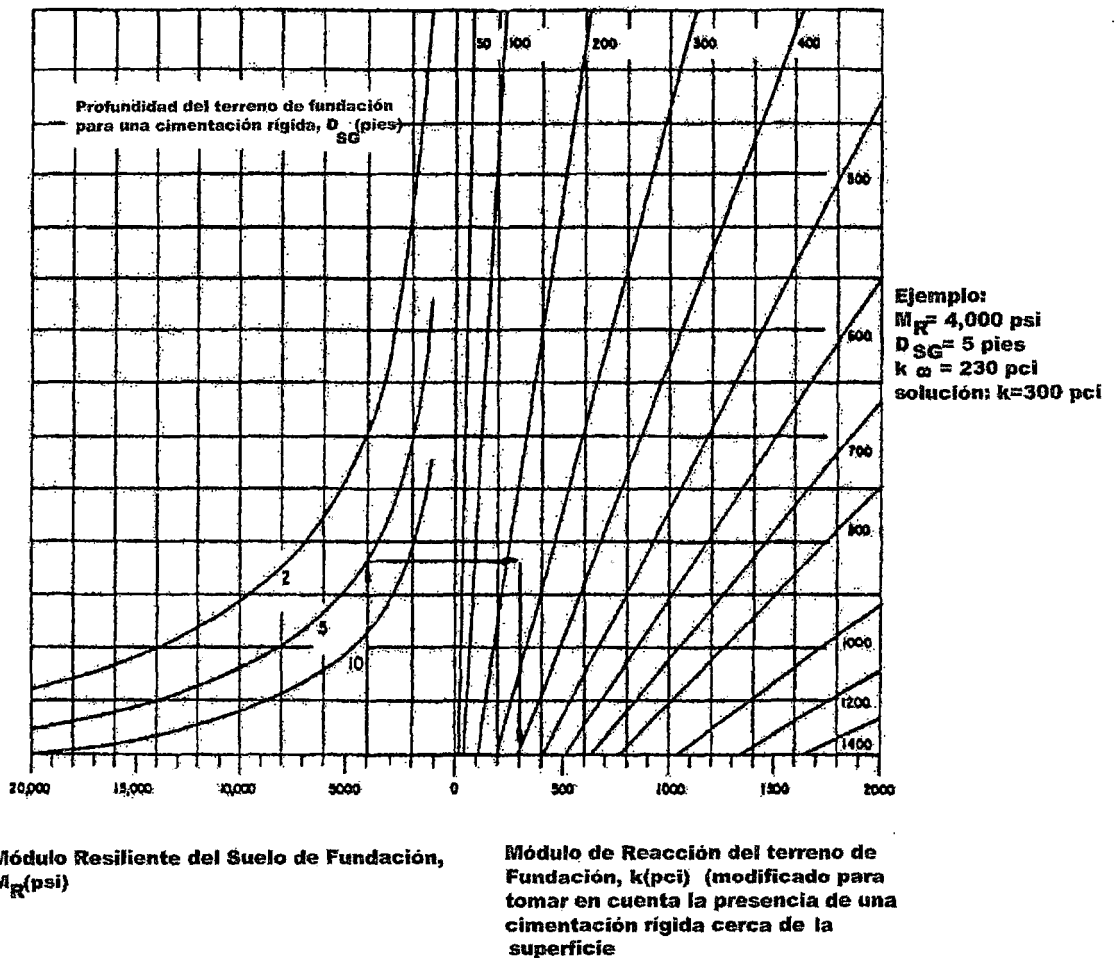


TABLA 3-16 RANGOS TÍPICOS DE LOS FACTORES DE PÉRDIDA DE SOPORTE (L_s) [AASHTO, 1986]

TIPO DE MATERIAL	PÉRDIDA DE SOPORTE (L_s)
Materiales Granulares Suelos (sin ligante) (E = 15,000 a 45,000 psi)	1.0 a 3.0
Materiales granulares finos o terreno de fundación natural (E = 3,000 a 40,000 psi)	2.0 a 3.0

NOTA: E, Se refiere al módulo elástico o resiliente del material.

FIGURA 3-11 CORRECCIÓN DEL MÓDULO EFECTIVO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA PERDIDA POTENCIAL DE SOPORTE DEL TERRENO DE FUNDACIÓN [AASHTO, 1986].

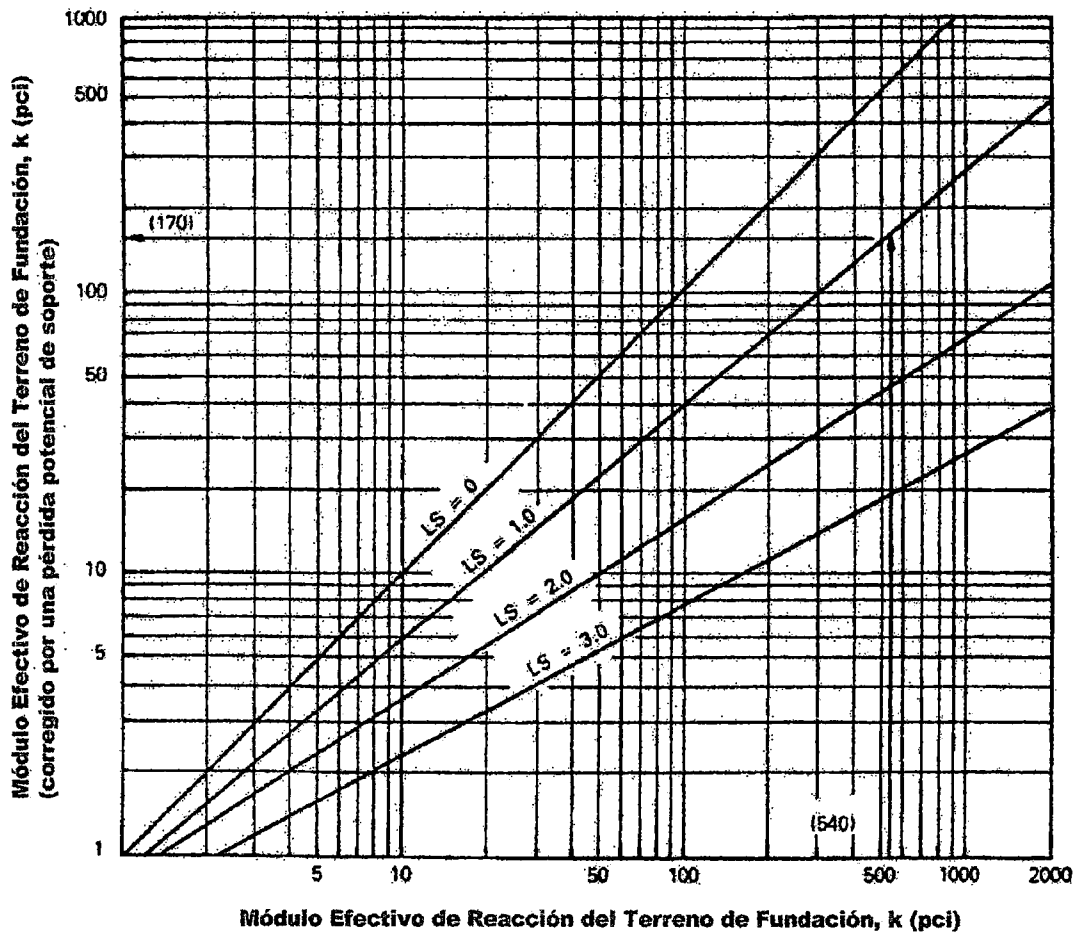


TABLA 3-17 VALORES ESTIMADOS DEL MÓDULO ELÁSTICO
Y MÓDULO DE RUPTURA PARA CONCRETO
PORTLAND CEMENTO.

FUERZA DE COMPRESION (lb/pulg ²)	MÓDULO DE ¹ RUPTURA (lb/pulg ²)	MÓDULO ² ELASTICO (lb/pulg ²)
1,000	230	1,800,000
1,500	290	2,200,000
2,000	330	2,500,000
2,500	370	2,800,000
3,000	410	3,100,000
3,500	440	3,300,000
4,000	470	3,600,000
4,500	500	3,800,000
5,000	530	4,000,000
5,500	550	4,200,000
6,000	580	4,400,000
6,500	600	4,500,000
7,000	620	4,700,000
7,500	640	4,900,000
8,000	670	5,000,000
8,500	690	5,200,000
9,000	710	5,400,000

NOTAS:

1. $E_c = 57,000 * \text{SQR}(f'_c)$. Donde: E_c = módulo elástico cemento Portland (lb/pulg²), y f'_c = Fuerza compresión cemento portland (lb/ft²) [AASHTO, 1986].
2. $f_r = 7.5 * \text{SQR}(f'_c)$. Donde: f_r = módulo ruptura cemento portland (lb/pulg²)

TABLA 3-18 COEFICIENTE DE TRASFERENCIA DE CARGA RECOMENDADO [ASOCIACIÓN CEMENTO PORTLAND, 1985]

ESAL (1 * 10 ⁶)	PJC		JCP O JRCP		CRCP		CLASES DE PAVIMENTO
	SIN APOYO DE BORDE	CON	SIN APOYO DE BORDE	CON	SIN APOYO DE BORDE	CON	
0 a 0.3	3.2	2.7	3.2	2.8	-	-	CALLES
0.3 a 1	3.2	2.7	3.4	3.0	-	-	LOCALES & CAMINOS
1 a 3	3.2	2.7	3.6	3.1	-	-	
3 a 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	ARTERIAS Y CARRETERAS
10 a 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	
sobre 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

NOTAS: El apoyo de borde incluye ancho del carril mayor que 0.40 m, berma lateral concreto confinado, y concreto confinado sardinel y cuneta o completo

TABLA 3-19 GRADO REQUERIDO DE DURABILIDAD DEL GEOTEXTIL COMO UNA FUNCION DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO DE FUNDACION Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION [ADAPTADO DE FHWA, 1985]

CONDICIONES DEL TERRENO DE FUNDACIÓN	EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN Y 6 PULG. A 12 PULG. MATERIAL DE CUBIERTA INICIAL DE ESPESOR DE CAPA		
	Terreno bajo Equipo de presión (≤ 4 psi)	Terreno Medio Equipo de presión (.4 psi, ≤ 8 psi)	Terreno alto Equipo de presión (> 8 psi)
Limpiar residuos pasados todo obstáculo de pasto, hierbas malas, hojas de árbol y restos de maderas finas del Terreno de fundación. Si la superficie es suave y no hay depresiones de nivel de agua poco profundas y montículos que no excedan de 6 pulg. de profundidad y altura. Todas depresiones grandes serán rellenadas. Alternativamente, una tabla suave trabajo puede ser colocada.	Moderado	Moderado	Alto
Limpiar residuos pasados y obstáculos grandes, tamaños pequeños y moderados de ramas de árbol y rocas. Troncos y trozos de Arbol deben ser removidos o cubrirlo con una tabla de trabajo parcial. Depresiones y montículos no deben exceder de 18 pulg de profundidad y altura. Las depresiones grandes deben ser rellenadas.	Moderado	Alto	Muy alto
Preparación de la zona mínima será requerida. Los arboles pueden ser cortados, rebanados y torcidos en el sitio. Los trozos deben ser cortados para el proyecto no más de 6 pulg +- sobre el terreno de fundación. La tela puede estar cubierta directamente sobre troncos de arboles, trozos, depresiones grandes y montículos, hoyos, canales de riachuelo, y rocas grandes redondas. Los objetos deben ser removidos sólo si en la colocación tela de y material de cubierta sobre ellos distorsionará la superficie al finalizar el camino.	Alto	Muy alto	No recomendable

NOTAS.

- Las recomendaciones son para 6 a 12 pulg. espesor de capa inicial. Para otros espesores de capa inicial.
 12 a 18 pulg. : reduce requerimiento durabilidad 1 nivel.
 18 a 24 pulg. : reduce requerimiento durabilidad 2 niveles.
 > 24 pulg. : reduce requerimiento durabilidad 3 niveles.

Son niveles de durabilidad, en orden de incremento: bajo, moderado, alto, y muy alto.

- Para técnicas de construcción especial tal como pre-ahuellamientos, el incremento de durabilidad requerido de la tela 1 nivel.
- Colocación de espesor material de cubierta inicial excesiva puede causar la falla de soporte del terreno de fundación blando.

TABLA 3-20 GRADO REQUERIDO DE DURABILIDAD DE LA TELA COMO UNA FUNCIÓN DE MATERIAL DE CUBIERTA Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN [ADAPTADO DE FHWA, 1986]

	6 pulg a 12 pulg espesor capa inicial		12 pulg a 18 pulg espesor capa inicial		18 pulg a 24 pulg espesor capa inicial	> 24 pulg espesor capa inicial
	Terreno bajo Equipo de presión (< 4 psi)	Terreno medio Equipo de presión (> 4 psi. < 8 psi)	Terreno medio Equipo de presión (> 4 psi. < 8 psi)	Terreno alto Equipo presión (> 8 psi)	Terreno alto Equipo de presión (> 8 psi)	Terreno alto Equipo de presión (> 8 psi)
Arena fina +2 pulg. diámetro grava, redondeado a subangular.	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Agregado grueso con diámetro superior a 1/2 de espesor de capa planeado, puede ser angular.	Moderado	Alto	Moderado	Alto	Moderado	Moderado
Algunos a más agregados con mayores diámetros que 1/2 espesor de capa planeado, angular y afilado en los bordes, pocos finos.	alto	Muy alto	Alto	Muy alto	alto	Moderado

NOTAS:

1. Para técnicas de construcción especial tal como pre-ahuellamientos, el incremento de durabilidad requerido de la tela 1 nivel.
2. Colocación de espesor material de cubierta inicial excesiva puede causar la falla de soporte del terreno de fundación blando.

TABLA 3-21 FUERZA DEL GEOTEXTIL REQUERIDO PARA DURABILIDAD [ADAPTADO DE FHWA, 1986]

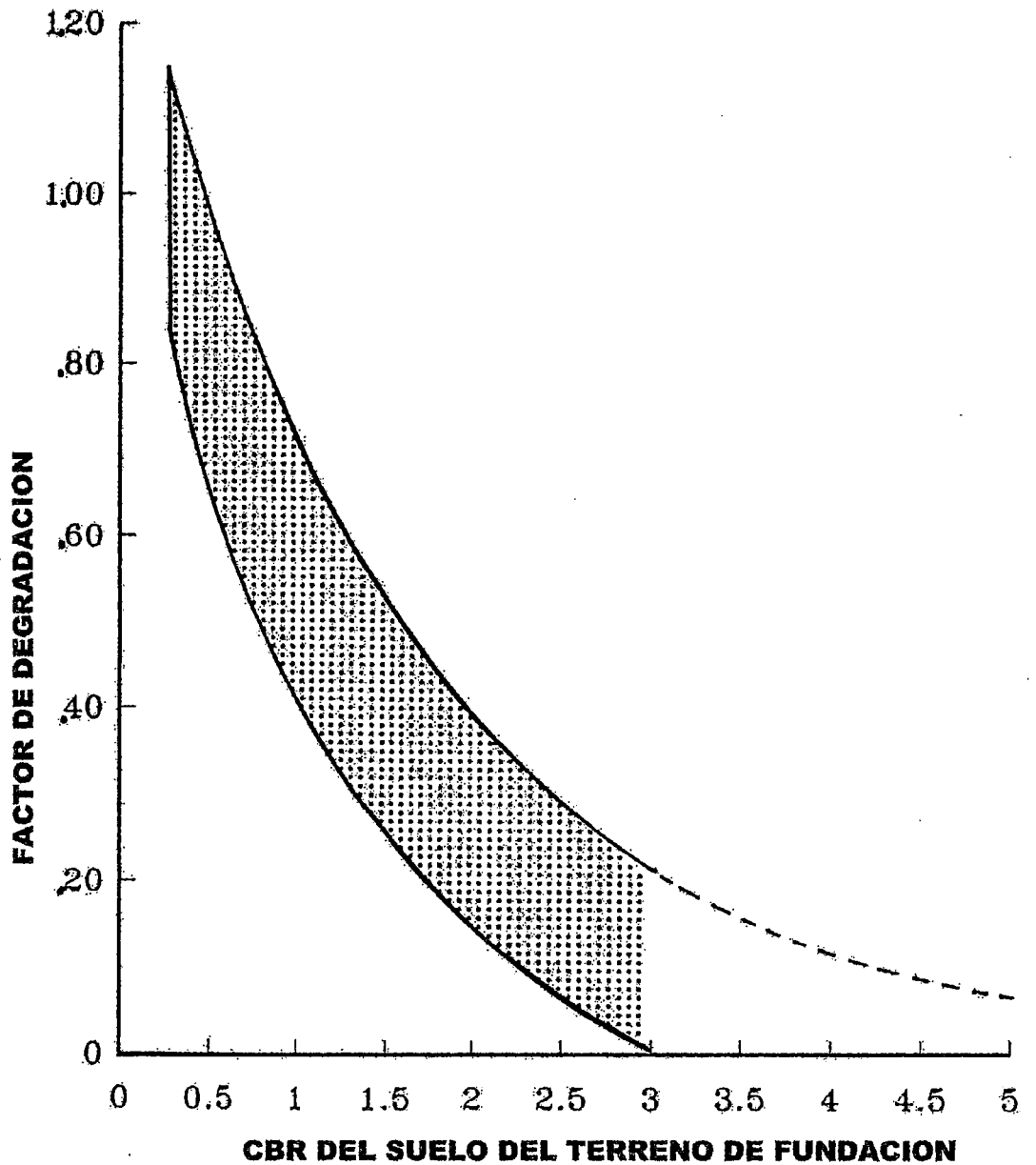
GRADO REQUERIDO DE DURABILIDAD DE LA TELA	FUERZA GRAB ⁽²⁾ (VALORES MINIMOS)	FUERZA DE PERFORACION ⁽³⁾ (LBS)	FUERZA DE EXPLOSION ⁽⁴⁾ (PSI)	ROTURA DE SEPARACION (LBS)
Muy alto	270	110	430	75
Alto	180	75	290	50
Moderado	130	40	210	40

NOTAS:

1. Todos los valores representan valores del rollo promedio mínimo (i.e., ningún rollo en un lote debe presentar o exceder los valores mínimos en esta tabla). Nota: estos valores son normalmente 20% más bajo que los valores típicos reportados de los fabricantes.
2. ASTM D 4632, Método Grab.
3. ASTM D 4833.
4. ASTM D 3787, método de ensayo del diafragma.
5. ASTM D 4535, cualquier dirección principal.

TABLA 3.21.1 RATING DURABILIDAD DEL GEOTEXTIL RECOMENDADO MÍNIMO

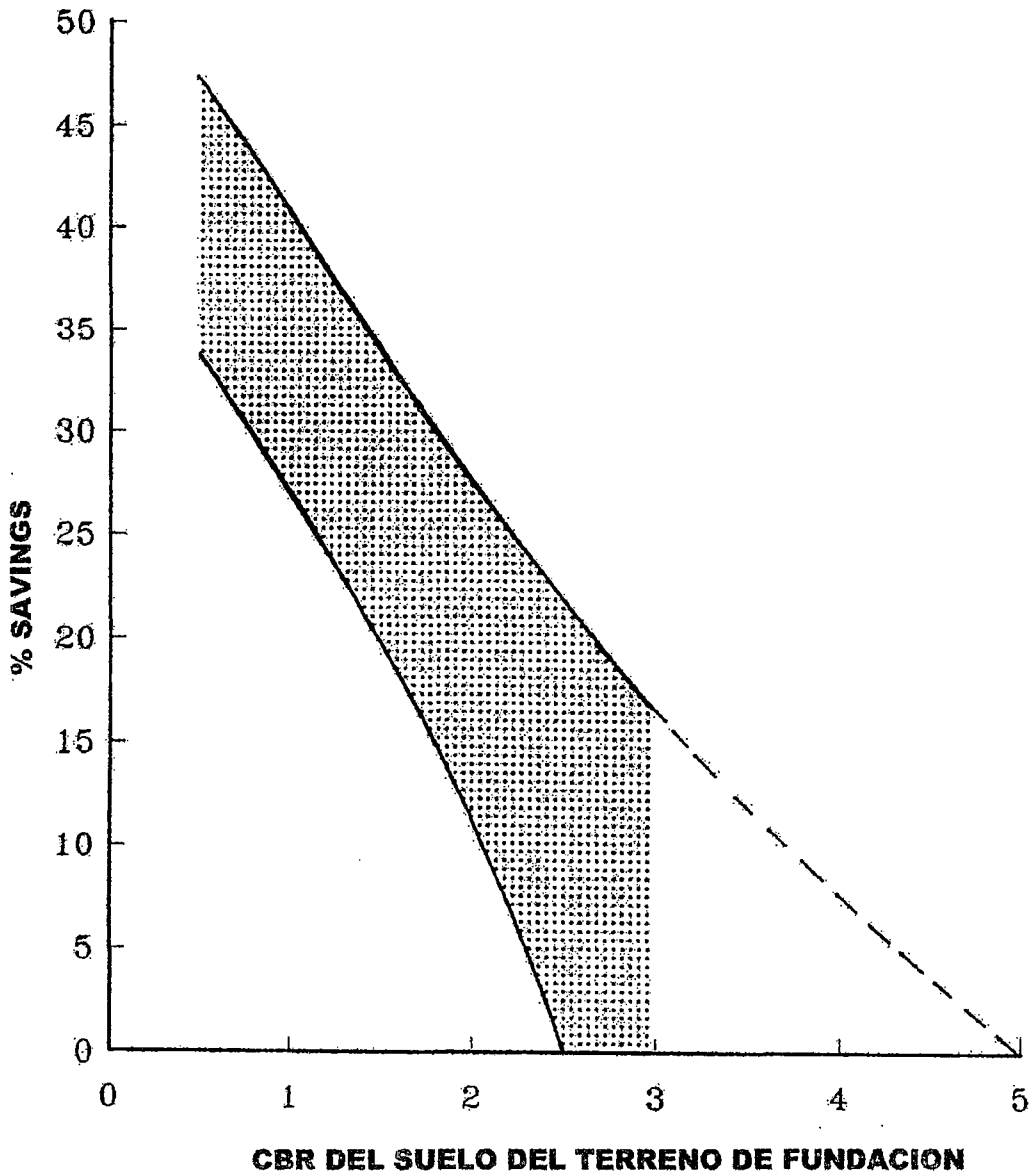
NUMERO TOTAL DE PUNTOS		RATING DURABILIDAD RECOMENDADO MÍNIMO	AMOCO GEOTEXILES RECOMENDADO
Mayor que o igual a	Menos que		
	91	Moderado	CEF 2000
91	108	Alto	CEF 2002
108	119	Muy Alto	CEF 2006
119	180	Máximo	CEF 2044
180		N/A	N/A



Adaptado de FHWA (JUN. 1989)

Nota: Línea de trazos representa extrapolación de datos publicados

FIGURA 3-12 PERDIDA DE SOPORTE DE LOS AGREGADOS DEBIDO A LA INTRUSION DE FINOS EN EL TERRENO DE FUNDACION DE SUELOS BLANDOS.



Nota: La línea de trazos representa la extrapolación de datos publicados

FIGURA 3-13 COSTO ECONOMICO TIPICO DEL AGREGADO DE CARRETERA

TABLA W3.1.1 HOJA DE CÁLCULO DE EVALUACION DE TRAFICO

(A) TIPO DE VEHICULO	(B) VOLUMEN TRÁFICO ACTUAL (vehículos/año)	(C) FACTOR CRECIMIENTO TRÁFICO	(D) FACTOR DE ESAL	(E) ESAL DE CARRETER A

Σ Carretera ESAL = _____

Factor de distribución dirección (D_D) = _____

Factor de distribución carril (D_L) = _____

$W_{18} = (\Sigma \text{carretera ESAL}) * (D_D) * (D_L)$

$W_{18} = (\text{_____}) * (\text{_____}) * (\text{_____})$

TABLA 3-22 ESPESOR REVESTIMIENTO DE ASFALTO RECOMENDADO MÍNIMO (PULG) PARA GEOTEXTILES¹ DE REVESTIMIENTO [ADAPTADO DE FHWA, 1987]

TIPO PAVIMENTO EXISTENTE	PROMEDIO DIARIO ESAL		
	< 2,000	2,000 – 3,500	> 3,500
ASFÁLTICO	2.0	2.0	2.5
CONCRETO HIDRÁULICO	2.0	3.0	4.0

NOTA: 1. La tabla asume todo la deterioración significativa y reparar fallas localizados previamente para construcción del revestimiento.

TABLA 3-23 ESPESOR REVESTIMIENTO DE ASFALTO MÍNIMO (PULG) PARA PAVIMENTOS PCC [AASHTO, 1985]

Longitud de la loza efectiva PCC (ft)	DIFERENCIAL TEMPERATURA ANUAL MAXIMA (°F)					
	30	40	50	60	70	80
10	4	4	4	4	4	4
15	4	4	4	4	4	4
20	4	4	4	4	5	5.5
25	4	4	4	5	6	7
30	4	4	5	6	7	8
35	4	4.5	6	7	8.5	(1)
40	4	5.5	7	8	(1)	(1)
45	4.5	6	7.5	9	(1)	(1)
50	5	7	8.5	(1)	(1)	(1)
60	6	8	(1)	(1)	(1)	(1)

NOTA: 1. Otras alternativas que incrementen el espesor de revestimiento de asfalto deben considerarse para minimizar el agrietamiento reflexivo

TABLA 3-24 DIFERENCIAL DE TEMPERATURA ANUAL MAXIMA

STATE	CITY	TEMP. DIFF. (°F)	State	City	Temp. Diff.
AL	Mobile	49	NV	Reno	73
AK	Juneau	46	NH	Concord	73
AZ	Phoenix	67	NJ	Atlantic City	61
AR	Little Rock	64	NM	Albuquerque	69
CA	Los Angeles	30	NY	Albany	71
	Sacramento	56		Buffalo	62
	San Francisco	32		New York	59
CO	Denver	71	NC	Charlotte	
CT	Hartford	68		Raleigh	58
DE	Wilmington	62	ND	Bismark	87
DC	Washington	61	OH	Cincinnati	64
FL	Jacksonville	46		Cleveland	61
	Miami	31		Columbus	64
GA	Atlanta	53	OK	Oklahoma City	67
HI	Honolulu	22	OR	Portland	47
ID	Boise	69	PA	Philadelphia	62
IL	Chicago	68		Pittsburgh	62
	Peoria	70	RI	Providence	61
IN	Indianapolis	66	SC	Columbia	58
IA	Des Moines	74	SD	Sioux Falls	81
KS	Wichita	71	TN	Memphis	60
KY	Louisville	63		Nashville	61
LA	New Orleans	47	TX	Dallas-Fort Worth	62
ME	Portland	67		El Paso	64
MD	Baltimore	62		Houston	53
MA	Boston	59	UT	Salt Lake City	74
MI	Detroit	64	VT	Burlington	73
	Sault Ste Marie	69	VA	Norfolk	54
MN	Duluth	77		Richmond	61
	Minn - St. Paul	79	WA	Seattle-Tacoma	42
MS	Jackson	57		Spokane	65
MO	Kansas City	69	WV	Charleston	60
	St. Louis	66	WI	Milwaukee	69
MT	Great Falls	72	WY	Cheyenne	69
NE	Omaha	76	P.R.	San Juan	19

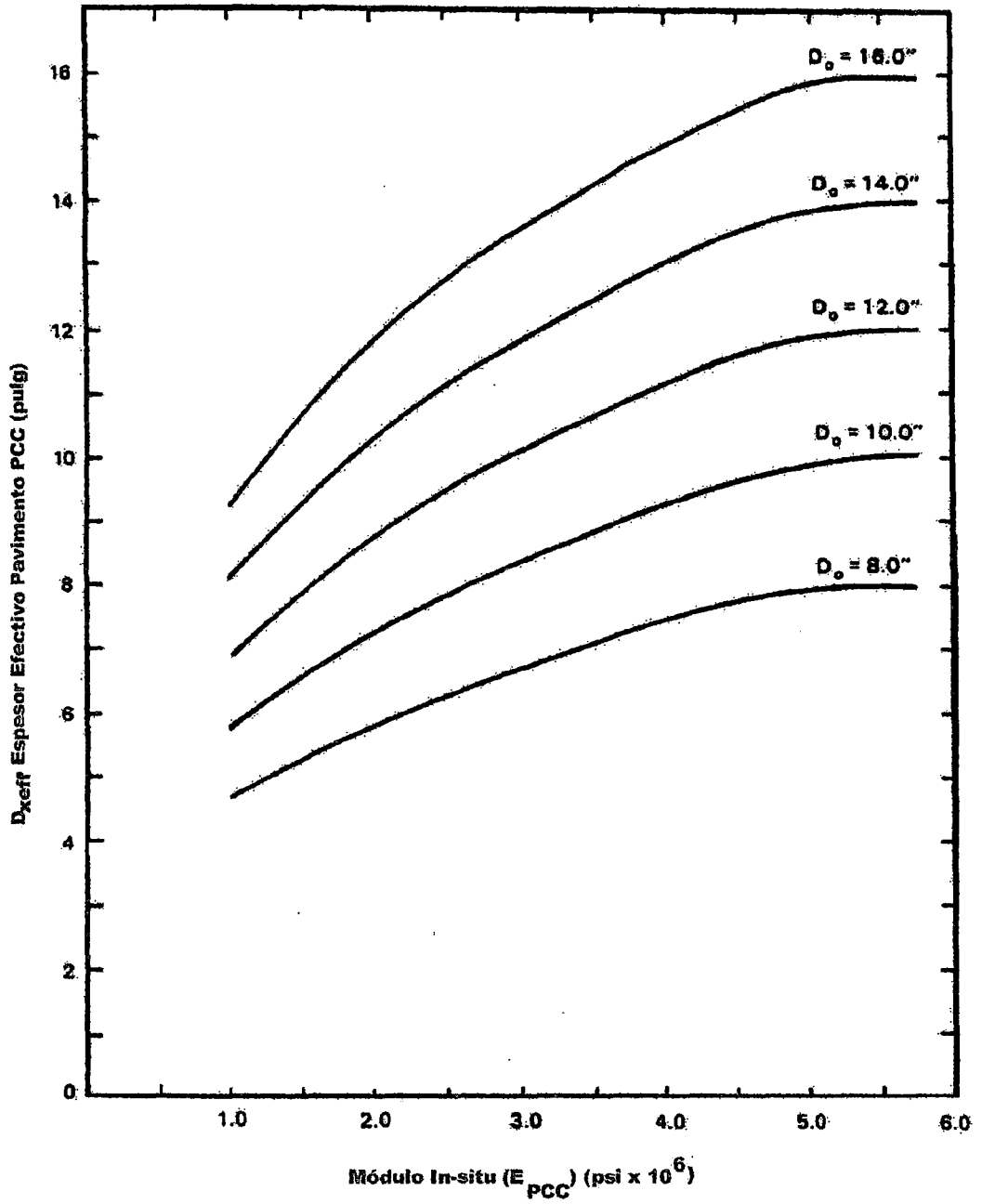
TABLA 3-25 RESUMEN DE VISUAL (C_v) Y ESTRUCTURAL (C_x) VALORES DE FACTOR DE CONDICIÓN [AASHTO, 1986]

Tipo de capa	Condición Pavimento	C _v	C _x
Asfáltico	1. Capas asfálticas que son fuertes, estable, no agrietado y con poca deformación en las huellas vehiculares.	0.9-1.0	0.95
	2. Capas asfálticas que exhibe un poco de agrietamiento intermitente de ligero a moderado deformación en las huellas vehiculares, pero permanecen estables.	0.7-0.9	0.85
	3. Capas asfálticas que exhiben algún agrietamiento de moderado a alto, tienen desintegración o degradación del agregado y muestra deformaciones de moderadas a altas en las huellas vehiculares.	0.5-0.7	0.70
	4. Capas asfálticas que muestran agrietamiento muy extenso (extensivo), considerable desintegración o degradación de agregados y deformación muy apreciable en la huellas vehiculares.	0.3-0.5	0.60
PCC	1. PCC pavimentos no agrietados, estable y subsellado, y no demuestran evidencia de bombeo.	0.9-1.0	0.95
	2. PCC pavimentos estables y subsellados sin embargo tienen poco agrietamiento inicial (con fuerza, grietas que no trabajan) y no hay evidencia de bombeo.	0.7-0.9	0.85
	3. PCC pavimentos que están apreciablemente agrietado o fallado con signos de deterioro de grietas progresivamente: los fragmentos de loza, tienen tamaño de 1 a 4 sq. yds., y pueden presentar bombeo.	0.5-0.7	0.70
	4. PCC pavimentos que están muy seriamente agrietados o destrozados en fragmentos 2-3 ft. o menor en su dimensión máxima.	0.3-0.5	0.60
Firme/cimiento Puzolanico	1. Bases estabilizados químicamente (CTB, LCF...) que son relativamente libre de grietas, estables y no muestran evidencia de bombeo.	0.9-1.0	0.95
	2. Bases estabilizados químicamente (CTB, LCF...) que han desarrollado un modelo muy fuerte de diseño o agrietamiento fatigado, con grietas que trabajan y lados que son progresivamente naturales: evidencia de bombeo u otras causas de inestabilidad pueden presentarse.	0.3-0.5	0.60
Firme /cimiento granular	1. Capas granulares sin ligante no muestran evidencia de corte o degradación de densificación, propiedades físicas idénticos razonables como cuando es existente y construido en las mismas condiciones normales de densidad-humedad como cuando se ha construido.	0.9-1.0	0.95
	2. Evidencia visible de disgregación significativa dentro de las capas (corte o densificación), las propiedades del agregado tienen cambios significantes debido a la abrasión, instrucción de finos desde el terreno de fundación o bombeo, y/o significantes cambios de humedad in-situ causados por infiltración superficie u otras fuentes.	0.3-0.5	0.60

NOTAS:

- Factor de condición visual (C_v) es relacionado al factor de condición estructural (C_x) por: $C_v = C_x^2$
- El factor de condición estructural (C_x) y no (C_v) es la variable usada en la ecuación de diseño del revestimiento estructural (para todo tipo de pavimentos revestimiento-existente).

**FIGURA 3-14 ESPESOR EFECTIVO DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND
BASADO EN EL MODULO Y EL ESPESOR IN-SITU**



**FIGURA 3-15 TAMAÑO FRAGMENTO DE LOZA DEL PAVIMENTO DE CONCRETO
HIDRÁULICO VERSUS MODULO IN-SITU [AASHTO, 1986]**

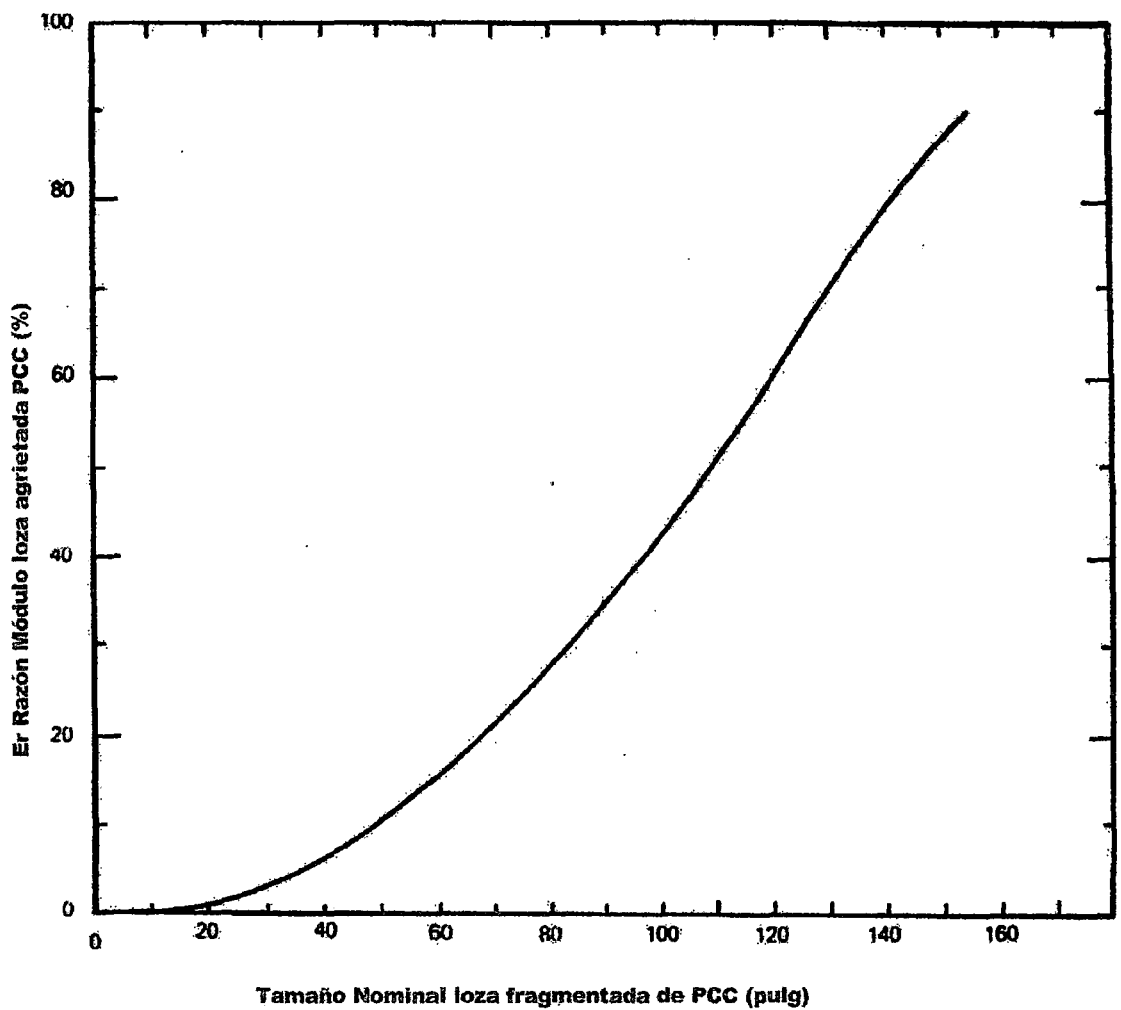


FIGURA 3-16 FACTOR DE VIDA RESTANTE EN FUNCIÓN DEL PAVIMENTO REVESTIDO EXISTENTE Y VALORES DE VIDA RESTANTE DEL PAVIMENTO [AASHTO,1986]

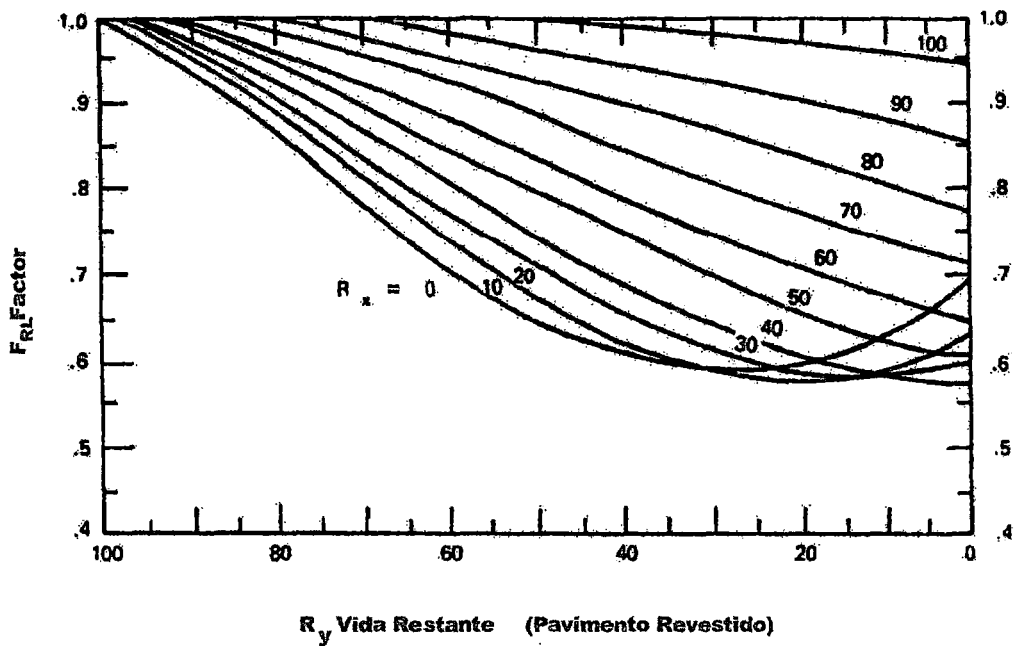


FIGURA 3-17 VIDA RESTANTE ESTIMADA VERSUS FACTOR DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO [AASHTO, 1986]

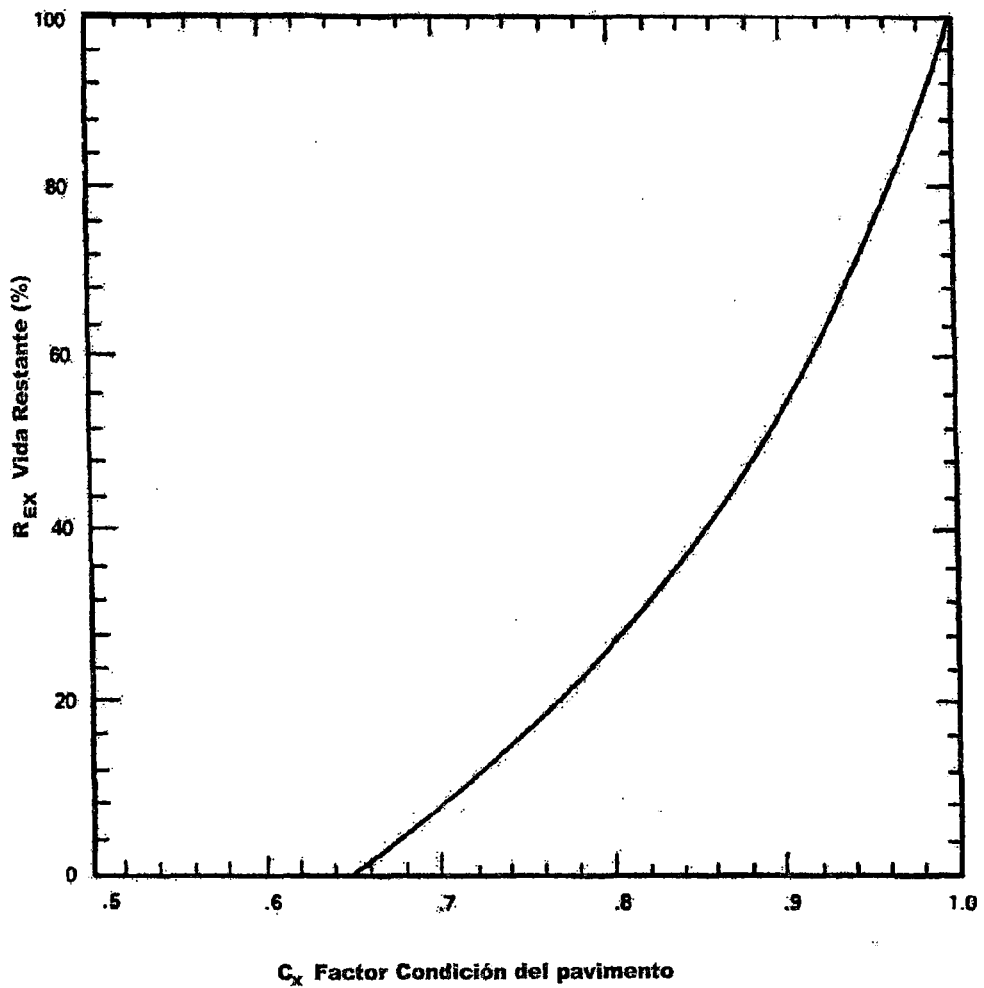
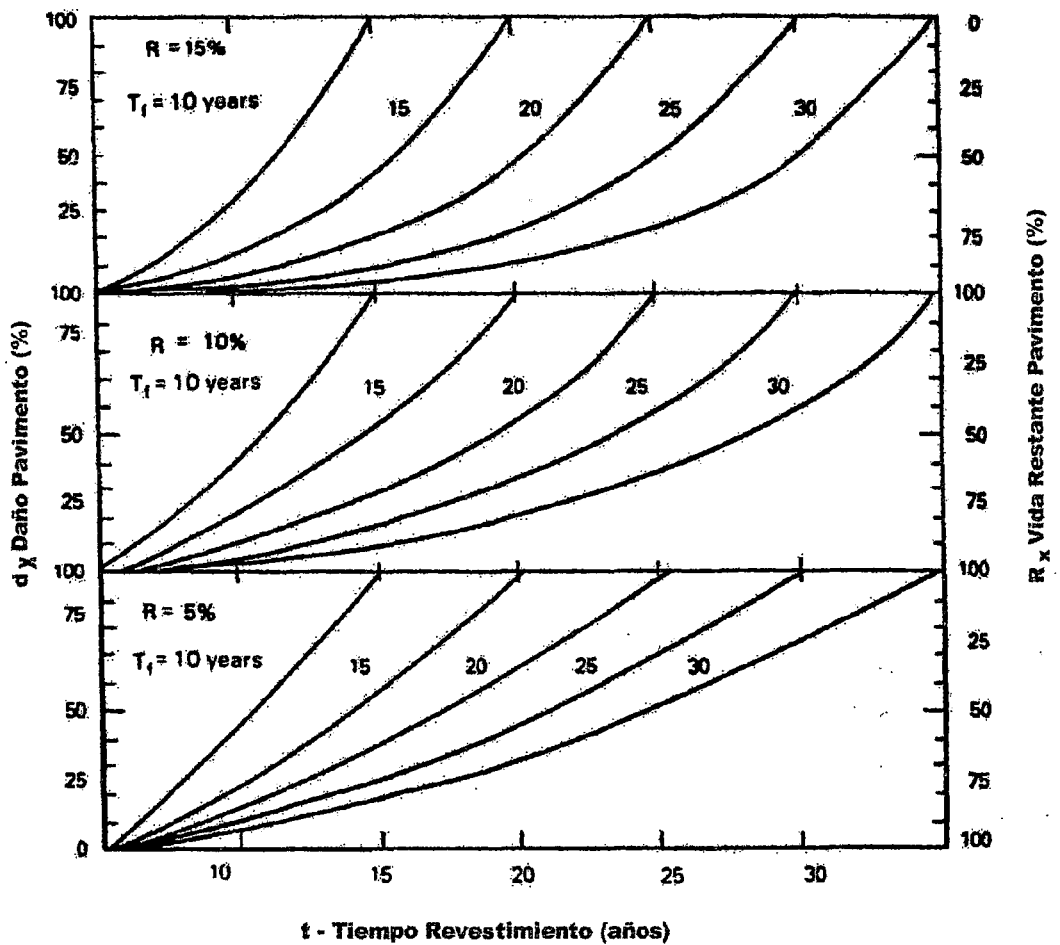


FIGURA 3-18 VIDA RESTANTE ESTIMADO BASADO EN EL TIEMPO PARA VARIOS TASAS DE CRECIMIENTO DE TRAFICO [AASHTO, 1986]



Notas: T_1 = Período Rendimiento Pavimento Existente
 R = Tasa Crecimiento anual Tráfico

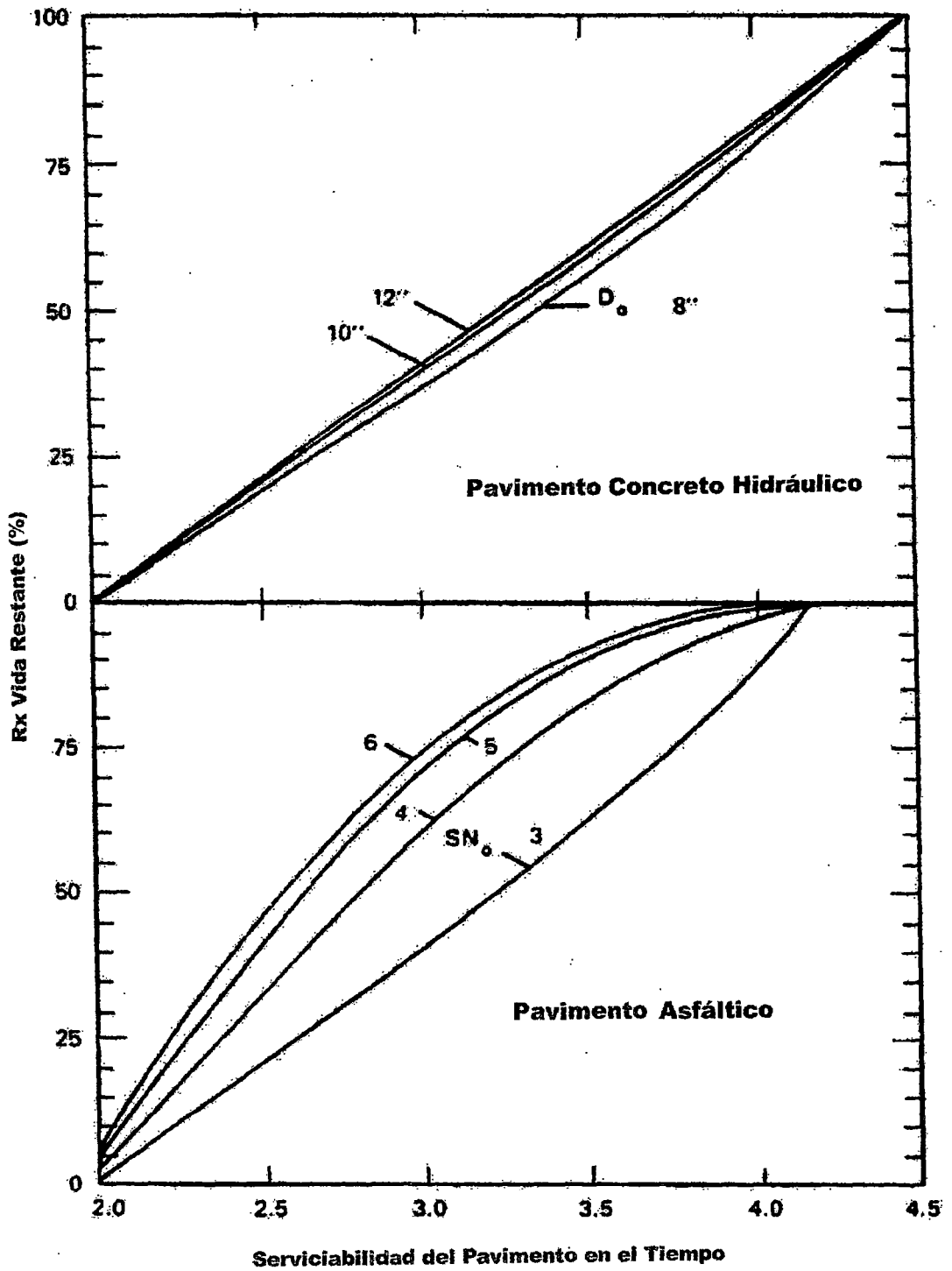


FIGURA 3-19 VIDA RESTANTE ESTIMADO BASADO EN VALORES DE SERVICIABILIDAD PRESENTE Y LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO [AASHTO]

FIGURA 3-20 FUNCION DE REFUERZO DEL GEOTEXTIL [FHWA, 1986]

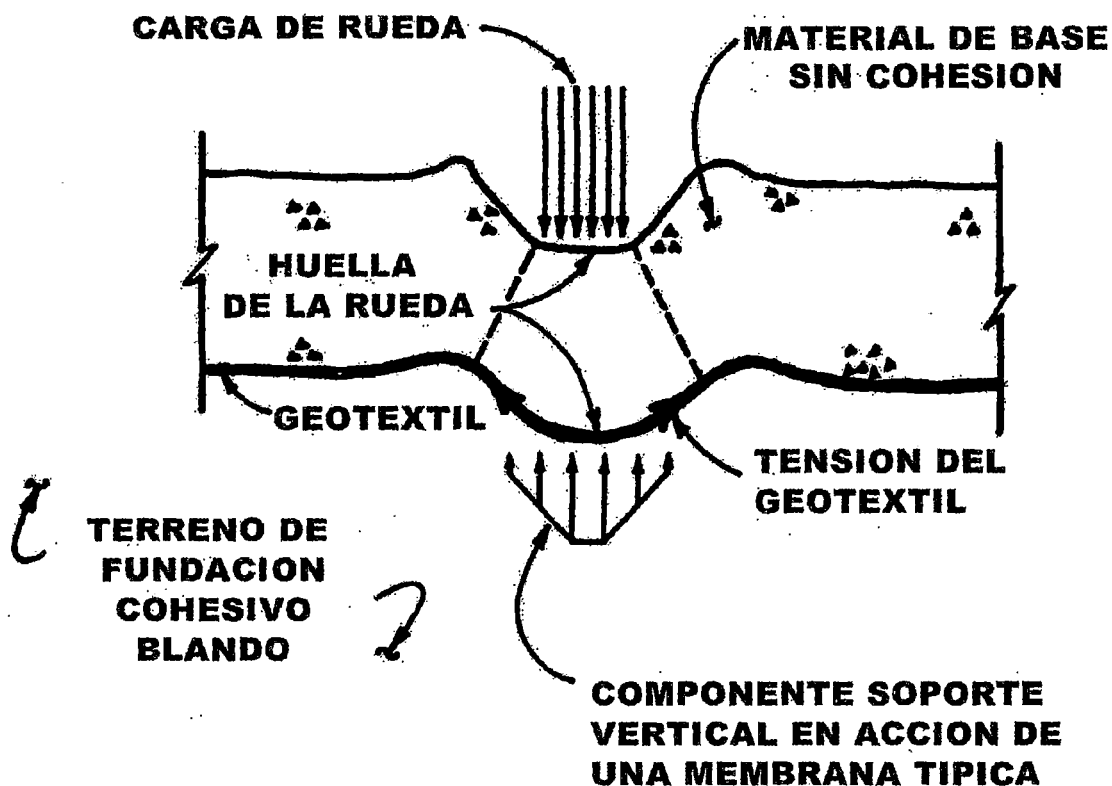


TABLA 3-26 CORRELACIONES APROXIMADAS ENTRE CLASIFICACION DE SUELOS Y VALORES DE SOPORTE [ASOCIACION CEMENTO PORTLAND, 1985]

CBR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CBR	
ASTM Soil Classification												
		OH		GH								
				MH		OL						
PT								CL		ML		
AASHTO Soil Classification												
										A-2-B		
								A-4				
								A-5				
								A-6				
								A-7-6		A-7-5		
Federal Aviation Admin. Soil Classification												
										E-6		
										E-7		
										E-8		
										E-9		
										E-10		
										E-11		
										E-12		
	Very Poor Subgrade			Poor Subgrade		Fair Subgrade		Medium Subgrade		Good subgrade		
	2	4	6	8	13	17	21	Shear Strength, psi				
		0	10		20		30	R, Value (California)		40		
		2	3		4		5	S, Soil Support Value				6
		20	15		10		5	Group Index				
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		50	100	150	200	250	300	Cone Index (CI) - Using 0.5 in ² Probe				
			20		25		30	Bearing Value, psi, 12" dia. Piers, 0.2" Deflection, 10 Repetitions		40	48	
					10			Bearing Value, psi, 30" dia. Piers, 0.1" Deflection				20
				100		150	Modulus of Subgrade Reaction, psi/in.				200	
CBR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CBR	

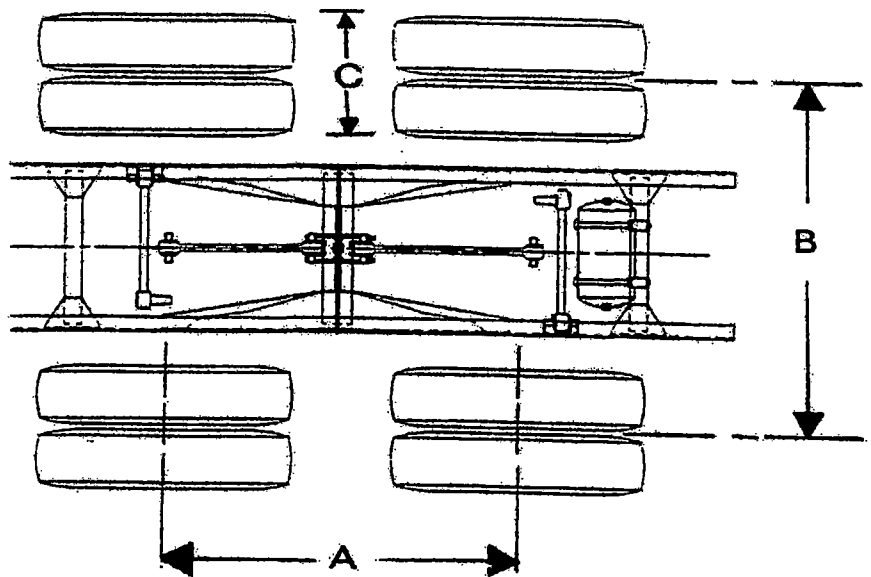
Approximate CBR	Identification Procedure	Group Symbols	Soil Group Names
Less than 2	Easily penetrated with thumb	ML	Silt
2-3	Moderate effort to penetrate with thumb	MH	Micaceous silt
3-6	Indented by thumb	OL	Organic silt
6-16	Indented by thumbnail	CL	Silty clay
		CH	High plastic clay
		OH	Organic clay
Over 16	Difficult to indent with thumbnail	PT	Peat and muck

TABLA 3-27 RANGO TIPICO DE EQUIPO DE CONSTRUCCION CARGAS POR EJE

EQUIPOS	CARGAS POR EJES (LBS)	
	EJE FRONTAL	EJE POSTERIOR
CAMIONETA COMPACTA	VACIO	1,500 - 2,500
	LLENO	2,200 - 2,800
CAMIONETA TAMAÑO NATURAL	VACIO	1,500 - 3,000
	LLENO	3,000 - 12,000
VOLQUETE CARRETERA	VACIO	4,000 - 10,000
	LLENO	15,000 - 22,000
SCRAPERS	VACIO	12,000 - 60,000
	LLENO	25,000 - 140,000
CAMION TODO TERRENO	VACIO	30,000 - 170,000
	LLENO	100,000 - 575,000
CAMION ARTICULADO	VACIO	10,000 - 25,000
	LLENO	40,000 - 90,000

TABLA 3-28 DIMENSIÓN DE NEUMÁTICOS TÍPICOS DE EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN

EQUIPO	SEPARACIÓN DE LLANTA TANDEM (A) (PULG)	ANCHO DE RODADA (B) (PULG)	ANCHO DE LLANTA CARGADO (C) (PULG)	PRESION DE LLANTA (LB/PULG ²)
CAMIONETA COMPACTA	N/A	4.2 - 4.8	8 - 12	25 - 32
LLANTA SIMPLE	N/A	5.0 - 5.7	8 - 14	27 - 35
LLANTAS DOBLES	N/A	5.4 - 6.2	16 - 20	27 - 35
VOLQUETE CARRETERA LLANTAS DOBLES	50 - 78	5.6 - 6.2	16 - 20	80 - 100
SCRAPERS	N/A	5.0 - 6.0	18 - 40	40 - 100
CAMION TODO TERRENO	N/A	8.0 - 16.0	18 - 40	60 - 100
CAMION ARTICULADO	-	5.0 - 6.0	20 - 34	40 - 80



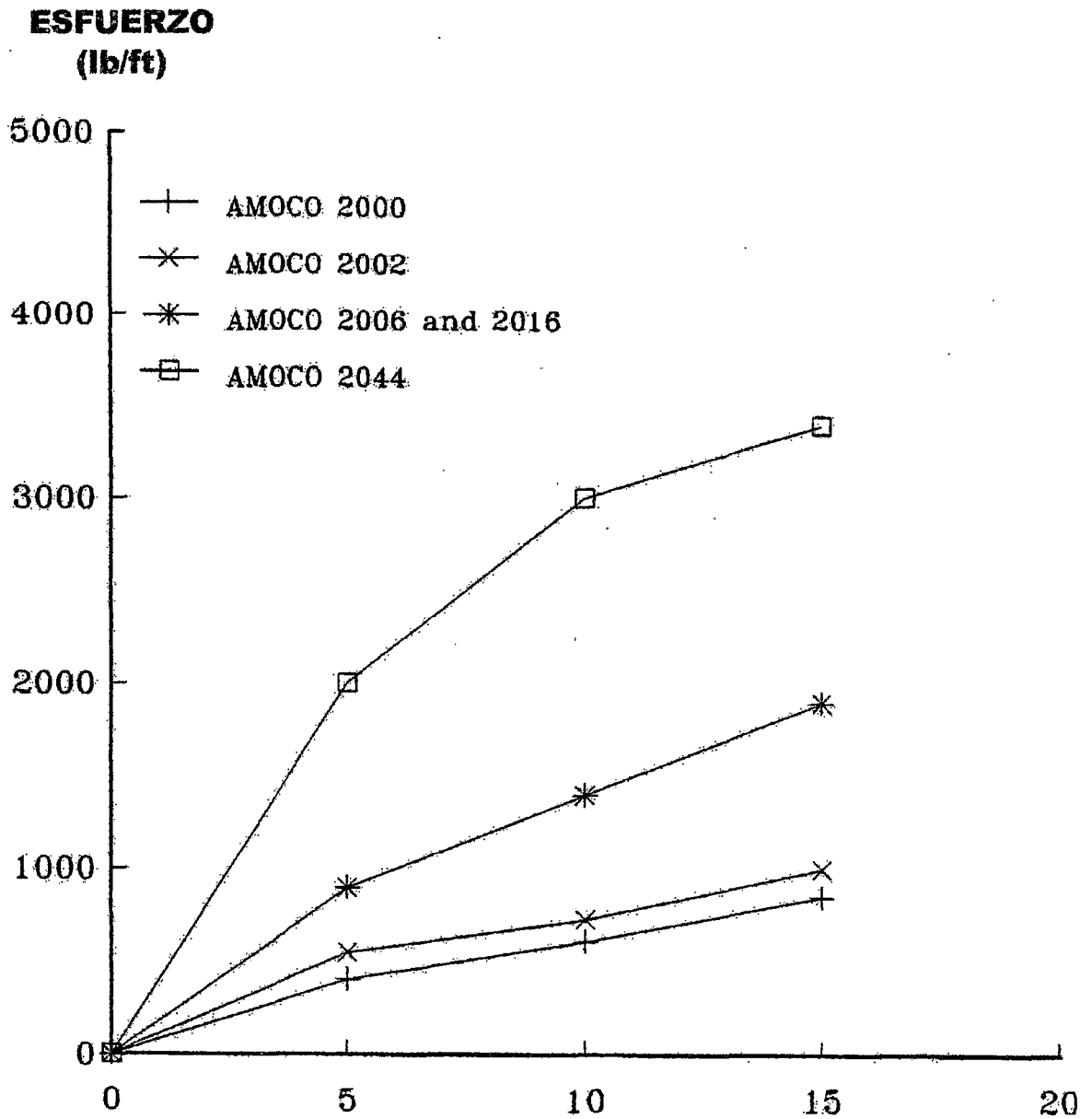


FIGURA 3-21 CURVA ESFUERZO-DEFORMACION GEOTEXTIL DE ESTABILIZACION APLICABLE A DISEÑO DE CARRETERAS

TABLA 3.28.1 RATING DURABILIDAD DEL GEOTEXTIL RECOMENDADO MÍNIMO

NUMERO TOTAL DE PUNTOS		RATING DURABILIDAD RECOMENDADO MÍNIMO	AMOCO GEOTEXTILES RECOMENDADO
Mayor que o igual a	Menos que		
	103	Moderado	CEF 2000
103	121	Alto	CEF 2002
121	150	Muy Alto	CEF 2006
150	178	Máximo	CEF 2044
178		N/A	N/A

**CAPÍTULO 04 APLICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES EN LA
CARRETERA ILO - DESAGUADERO TRAMO VI
KM. 235+000 – 275+000**

CAPÍTULO 04 APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA CARRETERA ILO-DESAGUADERO TRAMO VI KM 235+000 – 275+000

4.1.0.0 UBICACIÓN

El estudio de la carretera de Integración Binacional Ilo – Desaguadero se inicia en el puerto marítimo de Ilo, provincia de Ilo, departamento de Moquegua. Este puerto se encuentra a una altitud promedio de 15 m.s.n.m. y 17°38'35" de latitud sur y 71°20'36" de longitud oeste. La vía termina en el estribo derecho del puente internacional Desaguadero, ubicado en la ciudad de Desaguadero en el departamento de Puno, ver plano de ubicación. Esta ciudad se encuentra a una altitud promedio de 3809 m.s.n.m y a 16°33'42" de latitud sur y 69°02'20" de longitud oeste.

4.2.0.0 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto el cual tiene como objetivo el estudio del tramo VI de la carretera Ilo-Desaguadero está comprendido entre el km 235+000 y el km 275+000. El punto de inicio está ubicado sobre la Carretera Candarave-Ilave, y el punto final se ubica antes del Poblado de Santa Rosa.

El Proyecto de Inversión a realizar comprende la mejora de la carretera, que prevé:

- Que la capacidad vehicular tenga para los próximos 20 años, un nivel de servicio C.
- Diseñar y/o recuperar los niveles de serviciabilidad del pavimento.
- Diseño del pavimento de acuerdo a las cargas reales actuantes y al tráfico circulante y proyectado.

Los efectos directos de la mejora de la carretera son:

- Disminución de los tiempos de recorrido de los vehículos.
- Reducción de los tiempos de inmovilización de mercaderías y los tiempos de viaje de los pasajeros.
- Facilitar el movimiento turístico nacional e internacional.
- Generar tráfico de cargas de mediana y larga distancia nacionales e internacionales.

En forma indirecta permitirá:

- Mejora la competitividad de los productos originados en aquellas zonas que hoy no pueden acceder a determinados mercados por los elevados costos de transporte.
- Favorecer la productividad del área de fluencia.
- Facilitar el intercambio comercial local, regional, e inter regional en la zona sur del Perú.

4.3.0.0 EVALUACIÓN DEL TRAMO VI KM (235+000 – 275+000)

4.3.1.0 Evaluación de Campo

La evaluación de campo consistió en la toma de muestras y datos de suelos existentes de la actual plataforma y del terreno de fundación y de las zonas de variantes, tomando como referencia el estacado del trazo actual.

Existen dos (02) tipos de topografía muy marcados que requieren diferente tratamiento en lo que se refiere al mantenimiento de relieve.

El primer tipo de topografía se ubica en las progresivas Km 235+000 y Km 271+000. En estos sectores la carretera discurre por topografía plana-ondulada y con clima muy exigente en cuanto a lluvias, y el segundo tipo de topografía se extiende entre las progresivas Km 271+000 y 275+000, donde la vía atraviesa terrenos accidentados, donde se observan cortes y rellenos de consideración, que merecen atención a los taludes, de por si erosionables, en consideración al factor climático especialmente exigente por el volumen de lluvias que soporta esta área donde hay presencia de huaycos y derrumbes.

4.3.2.0 Características del Terreno de Fundación

De los resultados obtenidos, el terreno de fundación está compuesto predominantemente en un 47% por suelos areno limosos (SM), existiendo pequeños subtramos donde existen materiales finos limo-arcillosos de baja compresibilidad. Según el perfil estratigráfico, los suelos del terreno de fundación se distribuyen de la siguiente manera:

CUADRO 4-1 EVALUACIÓN DEL TRAMO A NIVEL
 DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

TIPO DE SUELO	%
Arena limosa (SM)	47
Arena mal gradada limosa (SP-SM)	11
Arena limo-arcillosa (SM-SC)	1
Grava limosa (GM)	2
Arena arcillosa (SC)	8
Arena bien graduada limosa (SW-SM)	1
Limo de baja compresibilidad (ML)	13
Grava mal gradada (GP)	2
Grava mal gradada limosa (GP-GM)	1
Arena mal gradada (SP)	1
Grava arcillosa (GC)	1
Arcilla de baja compresibilidad (CL)	2
Limo de alta compresibilidad (MH)	1
M. orgánico de alta compresibilidad (OH)	1
Roca	8
Total	100

Se ha observado la presencia de la Napa Freatica a una profundidad variable de 0.75 a 1.40 m, entre los kms. 247+500 - 249+000.

4.3.3.0 Capacidad de Soporte de los Suelos del Terreno de Fundación

Basado en el perfil estratigrafico, se procedió a la toma de muestras más representativas y desfavorables de cada tramo en estudio, con fines de obtener valores relativos de soporte (CBR), para el diseño del pavimento.

CUADRO 4-2 CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS
 DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

KILOMETRAJE	CBR (%) AL 95% M.D.S. DEL P.M.
237+000	78.0
238+000	18.0
245+000	48.0
248+500	81.0
251+000	45.0
260+000	47.0
264+500	43.0
267+000	52.0
275+000	19.0

4.3.4.0 Subtramos en Roca

Es de indicar que los subtramos de roca descritos, no necesariamente tienen que coincidir con el perfil estratigráfico del estudio de suelos, la apreciación visual se ha realizado en los taludes existentes.

CUADRO 4-3 SUBTRAMOS DE ROCA

KILOMETRAJE	LONGITUD(m)
271+000 – 274+500	100

4.3.5.0 Subtramos Críticos

La existencia de subtramos llamados críticos y que necesitan un tratamiento especial, se debe a lo siguiente:

- Presencia de suelos desfavorables que pueden ocasionar problemas de asentamientos y/o contaminaciones de las capas granulares del pavimento a colocar.
- Problemas de drenaje, se dan en casi toda la carretera evaluada, notándose falta de cunetas, presencia de la Napa Freática y filtraciones principalmente en los taludes que perjudican la estructura del actual pavimento.

Los subtramos críticos y que necesitan un tratamiento especial son los siguientes:

Por problemas de Drenaje (Filtraciones y Napa Freática)

Km. 247.500 – Km. 249.000

Se aprecia filtraciones y la presencia del nivel freático entre 0.75 m. y 1.40 m. Se requiere elevar la rasante y colocar una capa drenante entre el relleno y la estructura del pavimento.

Km. 263.950 – Km. 264.080

Km. 268.830 – Km. 269.000

Se aprecia filtraciones en el talud de la carretera a media ladera, recomendándose un especial cuidado en el diseño de obras de drenaje superficial y profundo.

Por problemas de suelos desfavorables

Km. 235.000 – Km. 235.500

Km. 246.750 – Km. 247.250

Km. 267.250 – Km. 268.250

Km. 269.250 – Km. 270.000

Km. 274.750 – Km. 275.000

Se aprecia suelos (limo, arcillas y arenas arcillosas) de subrasante desfavorables y de baja calidad como terreno de fundación, recomendándose la colocación de una capa anticontaminante y/o mejorar el terreno de fundación. En el presente trabajo se analizará el uso de los geotextiles en suelos desfavorables de baja capacidad portante analizando un subtramo crítico de longitud de 01(kilometro) km 267+250-km 268+250 para verificar las bondades del geosintético.

4.4.0.0 MATERIALES

4.4.1.0 Introducción

Se utilizan especificaciones para asegurar la calidad de los materiales o para minimizar o eliminar discrepancias entre diseñadores y constructores. Las especificaciones deben ser una guía para ambos en el desarrollo de los trabajos comprendidos en los documentos contractuales.

La planta de asfalto se ubicará en la Cantera Lorisa km 261+000, los materiales granulares del kilometro en estudio km 267+250- km 268+250, se transportaran desde la cantera Punta Pérdida II km 267+250.

4.4.2.0 Mejoramiento del Terreno de Fundación

Este trabajo consiste en el reemplazo de material inadecuado del terreno de fundación, que no reúne las condiciones del valor de CBR, de diseño de la estructura del pavimento. Los dimensionamientos (espesores) de los mejoramientos del terreno de fundación, estarán en relación directa con la potencia de los materiales de mala calidad, tendientes a resolver los problemas en forma adecuada y concluyente. Los criterios erróneos de “reducir costos”

recomendando mejoramientos con espesores mínimos, en la etapa de elaboración de proyectos, al final resultan más tediosos y costosos a la vez; Susceptibles a fallas por insuficiencia, en una etapa posterior, en cualquiera de las capas de la estructura del pavimento, en puntos específicos a todo lo ancho de la plataforma vial.

Si el espesor de los mejoramientos oscilara entre 0.30 a 0.60 m, en este caso se tendrá que emplear material de préstamo de cantera, con proporciones apropiadas de elementos granulares y finos, para garantizar una adecuada compactación. En caso de espesores comprendidos entre 0.60 a 1.20 m, los mejoramientos podrían ser ejecutados a base de enrocados, rellenos con elementos granulares (grava o piedra chancada de granulometría gruesa) entre los espacios libres de los bloques de roca, con una capa nivelante en la parte superior; colocados en forma proporcionada. Y en casos muy especiales, los mejoramientos pueden incluir los geotextiles, como una membrana visco-elastica absorbadora de tensiones, anticontaminante, drenante, etc.

4.4.3.0 Cimiento Granular

Los materiales que se usaron como cimiento granular son suelos del tipo A-1-a, A-1-b del sistema de clasificación AASHTO, debiendo cumplir con los requisitos de granulometría siguiente:

% EN PESO SECO QUE PASA		
Nº DE MALLA	MATERIAL	GRAD. B
2"	100	100
3/8"	57	75-95
Nº 4	49	30-60
Nº 10	40	20-45
Nº 40	27	15-37
Nº 200	13	5-15

Requisitos físicos y mecánicos del Cimiento Granular

CBR (ASTM D 1883)	68%
Indice de Plasticidad (AASHTO T 91)	N.P.
Desgaste de "Los Angeles"	28%
Equivalente de Arena (AASHTO T 176)	36%
Proctor Modificado (AASHTO T 180D)	2.16

4.4.4.0 Firme Granular

Los materiales que se usaron como firme granular son suelos granulares del tipo A-1-a, A-1-b del sistema de clasificación AASHTO, debiendo cumplir con los requisitos de granulometría siguiente:

% EN PESO SECO QUE PASA		
MALLA	MATERIAL	GRAD. A
2"	100	100
1 1/2"	99	90-100
1"	87	80-95
3/4"	75	70-85
3/8"	54	40-75
Nº4	47	30-60
Nº10	40	20-45
Nº30	29	16-33
Nº40	25	15-30
Nº80	18	10-22
Nº100	11	5-15

El material de firme cumple con las siguientes características físico-químico y mecánicas que se indican a continuación:

CBR (ASTM D 1883)	93%
Indice de Plasticidad (AASHTO T 91)	N.P.
Desgaste de "Los Angeles"	28%
Equivalente de Arena (AASHTO T 176)	43%
Proctor Modificado (AASHTO T 180D)	2.17

4.4.5.0 Mezcla Asfáltica en Caliente

El diseño de Mezcla Asfáltica aprobado para uso por la supervisión de acuerdo con las presentes especificaciones, parámetros y características físico-mecánicas de la Mezcla Asfáltica en Caliente para tráfico pesado se muestra en el siguiente resumen:

CARACTERISTICAS	DISEÑO-ESPECIFICACION
• Granulometria	Tipo B de la Especificación
Grava 3/4"	40%
Grava 3/16"	25%
Grava 1/4"	31%
Relleno mineral	4%
• Aditivo Mejorador de Adh.	0.75%
• Parámetro Marshall	7.6% +/-0.3%
C.A. PEN 120/150	800 kg.
Estabilidad	3.7 mm (2mm – 4 mm)
Flujo	2,162 kg/cm (1,700-3,000kg/cm)
Estabilidad/ Flujo	2.333 g/cm ³
Peso Especifico	7.6
Indice de Compactibilidad	90.2
Estabilidad Retenida (60°)	

4.5.0.0 DISEÑO DEL PAVIMENTO

4.5.1.0 Introducción

El proyecto de la carretera Ilo – Desaguadero, Tramo VI, Km. 235.000 – Km. 275.000, será dotada de un pavimento asfáltico (flexible) a nivel de Mezclas Asfálticas. El presente estudio, se ha considerado los métodos más usados y disponibles para el diseño estructural del pavimento:

- El método del Comité de la American Association of State Highway and Transportation Office (AASHTO).
- El método del Instituto del Asfalto.

De los métodos disponibles se ha escogido para el diseño de la estructura del pavimento, el método ideado por el Comité de Diseño de la American Association of State Highway and Transportation Office (AASHTO), el cual usa diversos parámetros para determinar el Número Estructural del Pavimento, traduciéndolo a capas granulares y superficies de rodadura, de acuerdo a la calidad deseada de cada una de las capas.

Por otro lado, en el procedimiento de la AASHTO, haciendo uso de factores o coeficientes que están de acuerdo a la calidad del agregado, (ver cuadro 4-4), podemos recomendar, un mínimo CBR para la capa de Firme Granular de 80%, Cimiento Granular un mínimo CBR de 25%.

CUADRO 4-4 COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DE ESPESOR (AASHTO)

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	CBR	COEFICIENTE (a)
REVESTIMIENTO <ul style="list-style-type: none"> • Revestimiento concreto asfáltico tipo superior • Mezcla asfáltica en frío, en camino • Tratamiento superficial bituminosa tipo doble/triple • Sello asfáltico (con agregados) 	Baja Estabilidad	0.17/cm 0.08/cm 0.25 – 0.40* 0.08*
FIRME <ul style="list-style-type: none"> • Firme tipo concreto asfáltico • Firme granular: grava arenosa <p style="margin-left: 40px;">Agregado pétreo trituración</p> <ul style="list-style-type: none"> • Firme granular tratado con asfalto • Firme granular tratada con cemento • Firme granular tratada con cal 	CBR = 40% CBR = 60% CBR = 80% CBR > 100%	0.17/cm 0.04/cm 0.05/cm 0.06/cm 0.07/cm 0.135/cm 0.12/cm 0.06 – 0.12/cm
CIMIENTO <ul style="list-style-type: none"> • Arena, arcilla arenosa • Grava arenosa 	CBR = 10% CBR = 25% CBR = 40% CBR = 60%	0.03/cm 0.04/cm 0.045/cm 0.05/cm

*Globales, no se considera el espesor

4.5.2.0 Análisis de Transito con Fines de Diseño del Pavimento

Los datos estadísticos del transito de esta carretera datan del año 1985. Año en que quedo interrumpido los conteos oficiales. Para establecer un transito actualizado del tramo en estudio, se ha efectuado conteos de transito entre los subtramos de Humajalso-Mazocruz y Mazocruz-Desaguadero, determinando el volumen y clasificación vehicular, y el control de carga (pesos por eje).

Para efectos de proyección del transito para un período de 10 años, se ha tomado en cuenta los conteos vehiculares del subtramo Humajalso-Mazocruz (transito actual + el transito generado de 1997), en la que se obtiene un IMD = 179, de la siguiente manera:

- Para fines de pronostico se está considerando que la demanda será cubierta en el año 1997, resultando la siguiente distribución.

VEHICULOS	IMD
Autos	10
Camioneta	40
Omnibuses	19
C-2 Ejes	21
C-3 Ejes	47
+ 3 Ejes	42
Total	179

- Vehículos Ligeros = 39%
- Vehículos Pesados = 61%

En el presente estudio, se está considerando la tasa de crecimiento anual del 5.0%, obtenida en el actual estudio, solo con fines de diseño del pavimento. Con fines de determinar las repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn. se ha usado los factores destructivos por tipo de vehículos elaborados en el actual estudio para las condiciones sin control de carga.

4.5.3.0 Cálculo del EAL (repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn.)

Para el cálculo de numero de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn. (EAL), se está considerando los siguientes factores:

- La distribución de vehículos y el factor camión en zona de sierra.
- Tasa de crecimiento anual de 5.0%.
- Período de 10 años, pasado el cual se deberán efectuar los correspondientes trabajos de Rehabilitación y/o Mejoramiento.
- Se ha calculado el EAL con los datos de la estación: Humajalzo-Mazocruz

$$\text{IMD} = 179$$

$$\text{EAL} = 1.6 * 10\text{E}6 \text{ repeticiones}$$

4.5.4.0 Distribución de Valores de Capacidad de Soporte del Terreno de Fundación por Subtramos con Fines de Diseño del Pavimento

Basados en el perfil estratigrafico, se procedió a la toma de muestras más representativas y desfavorables de cada subtramo en estudio, con fines de obtener valores relativos de soporte (CBR), para el diseño del pavimento.

SUB TRAMO	CBR (%) AL 95% MDS
235+000 – 239+750	18.0
239+750 – 267+750	43.0
267+250 – 270+750	6.3
270+750 – 275+000	Roca

4.5.5.0 Cálculo de los Espesores de la Estructura del Pavimento

Para el cálculo de los espesores se hace el siguiente resumen:

- Período de Diseño = 10 años
- EAL (8.2 Tn.) = 1.6 * 10E6 repet.
- Factor Regional (Fr) = 3.0
- Índice de Serviciabilidad final = 2.0
- Índice de Serviciabilidad inicial = 4.2

a) MÉTODO AASHTO

En base a los valores obtenidos para cada una de las variables y haciendo uso de la metodología ideada por la AASHTO se han determinado los espesores de las estructuras del pavimento. Para obtener los Números Estructurales de Diseño y poder realizar el ábaco de la figura 4-1, primero debemos calcular los valores de soporte de los suelos (S), mediante la siguiente ecuación:

$$S = 4.4 * \log \text{CBR} + 1.2$$

SUCS	CBR (%)	S
SP	18.0	6.7
SM	43.0	8.4
CL	6.3	4.7
SM	36.0	8.0

Los espesores resultantes son los siguientes:

- Km. 235.000 + Km. 239.750
CBR = 18.0%
S = 6.7

SN = 2.9
Revestimiento 0.05 m (M.A.C.)
Firme Granular 0.20 m (CBR \geq 80%)
Cimiento Granular 0.20 m

• Km. 239.750 + Km. 267.250

CBR = 43.0%
S = 8.4
SN = 2.5
Revestimiento 0.05 m (M.A.C.)
Firme Granular 0.15 m
Cimiento Granular 0.20 m

• Km. 267.250 + Km. 270.750

CBR = 6.3%
S = 4.7
SN = 3.8
Revestimiento 0.075 m (M.A.C.)
Firme Granular 0.25 m
Cimiento Granular 0.25 m

• Km. 270.750 + Km. 275.000

CBR = Roca
Revestimiento 0.05 m (M.A.C.)
Firme Granular 0.20 m

Leyenda :

S : Valor soporte del suelo (AASHTO)

SN : Número Estructural de Diseño

M.A.C. : Mezcla Asfáltica en Caliente de Superficie

En estos sub-tramos, se ha tomado en definitiva el espesor del revestimiento de 7.5 cm, de acuerdo las recomendaciones de espesores mínimos de la Oficina de Control de Calidad del MTC.

b) MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

El método ideado por el Instituto del Asfalto determina el espesor de la estructura del pavimento en función del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Tn. (EAL) y el módulo de resiliente del terreno de fundación (Mr). El módulo de resiliente del terreno de fundación se obtiene de la siguiente ecuación:

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

CLASIFICACIÓN	CBR (%)	MR (psi)
SP	18.0	2.70 * 10E4
SM	43.0	6.45 * 10E4
CL	6.3	9.45 * 10E3
SM	36.0	5.40 * 10E4

Con los módulos calculados, el EAL = 1.6 * 10E6 y utilizando la figura 4-2, obtenemos los siguientes espesores del Revestimiento de Concreto Asfáltico:

CBR (%)	ESPEORES
18.0	7"
43.0	5"
6.3	10"
36.0	5"

Los espesores resultantes del Revestimiento de Concreto Asfáltico, son traducidos Revestimiento Asfáltico en Caliente y Capas Granulares, mediante la utilización del cuadro 4-5, obteniéndose lo siguiente:

- Km 235.000 – Km 239.750
 - CBR = 18.0 %
 - Espesor Asfáltico = 7"
 - SN = 3.0
 - Revestimiento = 0.06 m (M.A.C)
 - Firme Granular = 0.20 m
 - Cimiento Granular = 0.20 m

- Km 239.000 – Km 267.250
 - CBR = 43.0 %

Espesor Asfáltico	=	5”
SN	=	2.5
Revestimiento	=	0.05 m (M.A.C.)
Firme Granular	=	0.15 m
Cimiento Granular	=	0.20 m

• Km 267.250 – Km 270.750

CBR	=	6.3 %
Espesor Asfáltico	=	10”
SN	=	4.3
Revestimiento	=	0.075 m (M.A.C.)
Firme Granular	=	0.30 m
Cimiento Granular	=	0.30 m

• Km. 270.750 – Km 275.000

CBR	=	Roca
Revestimiento	=	0.05 m (M.A.C.)
Firme Granular	=	0.20 m

Leyenda :

CBR : Valor relativo de soporte del suelo

SN : Número Estructural de Diseño

M.A.C. : Mezcla Asfáltica en Caliente de Superficie

CUADRO 4-5 DISEÑO DEL PAVIMENTO RECOMENDADO TRAMO VI
 (Km 235+000 – Km 275+000)

SUBTRAMOS	LONGITUD (m)	ESPEORES PROYECTADOS (cm)		
		MACS	FG	CG
KM 235+000 – KM 239+750	4,570	7.5*	20	20
KM 239+750 – KM 267+250	27,500	7.5*	15	20
KM 267+250 – KM 270+750	3,500	7.5	25	25
KM 270+750 – KM 275+000	4,250	7.5*	20	--

*El espesor de Revestimiento Asfáltico = 7.5 cm, obedece a recomendaciones de espesores mínimos indicados por la Oficina de Control de Calidad del MTC.

OBSERVACIONES:

MACS - Mezcla Asfáltica en Caliente de Superficie

FG - Firme Granular

CG - Cimiento Granular

4.6.0.0 USO DE LOS GEOTEXILES

4.6.1.0 Resumen

Un pavimento asfáltico en zona de altura, está expuesto a los siguientes factores agresivos:

- (i) Temperaturas bajas (heladas que provoca la rigidización de la capa asfáltica que se torna quebradizo y se fisura fácilmente, ante el paso de las cargas pesadas de tráfico).
- (ii) Gradiente Térmico (-20°C a 20°C en un determinado intervalo de tiempo, su acción es más destructiva cuanto mayor sea su magnitud y menor sea el lapso en que se produce).
- (iii) Radiación Solar (intensidad de 4 a 5 veces mayor que la correspondiente al litoral, La radiación ultravioleta promueve la evaporación de los aceites bituminosos y crea un ambiente propicio para la oxidación y envejecimiento de las estructuras asfálticas. La oxidación es un fenómeno que endurece y rigidiza al asfalto haciéndolo susceptible al fisuramiento), y
- (iv) Agua superficial y subterránea. También contribuye a la oxidación del asfalto, ya que el agua alojada en las fisuras del pavimento, por efecto de la presión de los neumáticos, genera presión de poros que gradualmente destruye el pavimento asfáltico.

La actuación combinada de estos 4 factores inciden en el proyecto prematuro y acelerado del pavimento asfáltico, produciéndose el microfisuramiento, de arriba hacia abajo, de la estructura bituminosa. Una vez fisurado el asfalto, el agua superficial (lluvia, regadío o deshielo) se infiltra hacia las capas inferiores (materiales generalmente arcillosos), provocando la pérdida de la capacidad al esfuerzo cortante y el colapso (ahuellamientos, hundimientos, ondulaciones).

Actualmente existen diversas alternativas para solucionar problemas que se dan en cada una de las carreteras (estructurales, drenaje, suelos malos y desfavorables, cambios bruscos de temperatura debido a la gradiente térmica, tránsito variable, etc.), que afecta directamente al sistema subrasante-pavimento.

Dentro de las soluciones investigadas y experimentadas, se encuentran los geotextiles. A nivel de Sudamérica países como Argentina, Brasil y Chile utilizan los geotextiles desde hace muchos años atrás en obras de rehabilitación y carreteras nuevas. En el Perú actualmente se viene difundiendo con cierta intensidad, al punto de haber experimentado en algunos tramos carreteros a nivel de asfaltado (caso de la Carretera Central, zona de Ticlio), cuyos resultados de esta experiencia han sido expuestos en Congresos.

En este tramo VI: Km. 235+000 – Km. 275+000, se utiliza el geotextil en subtramos definidos básicamente para el tratamiento de los siguientes problemas:

- Efectos de cambios bruscos de temperatura, debido a la gradiente térmica.
- Drenaje (ascenso capilar, napa freática muy superficial, filtraciones, etc.)
- Contaminación de las capas granulares con suelos finos desfavorables.

La función en este caso de los geotextiles es la de proteger la estructura del pavimento, controlando mejor las capas granulares y actuando como filtro, dándole una mejor resistencia. La colocación de los geotextiles se hará en cada uno de los subtramos críticos indicados en los cuadros 4-6 y 4-7, teniendo en cuenta las Especificaciones Técnicas Especiales de Geotextiles.

4.6.2.0 Geotextil Tipo A (Geotextil Impermeabilizador)

La colocación del geotextil tipo A se hará sobre una capa de base imprimada en donde previamente se ha efectuado un riego de liga. Una vez colocado el geotextil debe quedar completamente saturado de ligante asfáltico, debiendo utilizarse un rodillo neumático a fin de completarse el proceso de penetración invertida. De ser necesario se proporcionara un nuevo riego de liga sobre el geotextil colocado, de manera de asegurar que se comporte como una membrana impermeable que protege al firme granular y demás capas granulares.

Material

El geotextil será un polímero, de filamentos continuos, no-tejido agujado. El espesor nominal deberá ser 2.0 mm (ASTM D 1777).

La tela especificada deberá tener las siguientes propiedades básicas:

CUADRO 4-8 PROPIEDADES DEL GEOTEXTIL TIPO A

PROPIEDAD	MÉTODO	UNIDAD	VALOR ESPECIFICADO
Resistencia a la tracción (carga distribuida)	ASTM D 4595 (ancho de probeta 200 mm)	KN/M %	12 45-55
Elongación a la Ruptura			
Resistencia a la propagación del desgarre (probeta trapezoide)	ASTM D 4533	N	340
Retención de asfalto	TF 25#8	L/m2	2.0
Punto de fusión		°C	260
Resistencia a la tracción (carga concentrada)	ASTM D 4632 (Método "Grab")	N %	800 >70
Elongación en la ruptura			
Resistencia a la perforación	ASTM D 4833	N	440
Resistencia al reventado	ASTM D 3786	Mpa	2

4.6.3.0 Geotextil Tipo B (Geotextil para Refuerzo del Terreno de Fundación)

La colocación del geotextil tipo B se hará sobre una capa de terreno de fundación previamente preparada, la función del geotextil es reforzar los suelos de baja resistencia contribuyendo a soportar los esfuerzos provenientes de las cargas de tráfico. Además de la función de refuerzo el geotextil cumple con la función de filtro, evitando el ascenso de finos arcillosos por capilaridad, y como elemento confinante de los materiales granulares, evitando la contaminación con los suelos finos.

Material

El geotextil será un polímero, fabricado con filamentos continuos mediante proceso de agujado (no tejido). El espesor nominal del geotextil deberá ser 4.0 mm (ASTM D 177).

CUADRO 4-9 PROPIEDADES DEL GEOTEXTIL TIPO B

PROPIEDAD	MÉTODO	UNIDAD	VALOR ESPECIFICADO
Resistencia a la tracción (carga distribuida)	ASTM D 4595 (ancho de probeta 200 mm)	KN/m	27
Elongación a la Ruptura		%	45-55
Resistencia a la propagación del desgarre (probeta trapezoide)	ASTM D 4533	N	680
Resistencia a la tracción (carga concentrada)	ASTM D 4632 (Método "Grab")	N	1800
Elongación en la ruptura		%	>70
Resistencia a la perforación	ASTM D 4833 (Hasta 8 mm)	N	770
Resistencia al reventado	ASTM D 3786	Mpa	4.5

4.7.0.0 IMPRIMACIÓN

Los trabajos de imprimación del firme granular fueron ejecutados con asfalto RC-250 cuyos certificados de PetroPeru y ensayos mandados ejecutar por la Supervisión de Laboratorios idóneos fueron presentados en la obra. Para obtener un asfalto de curado medio a partir de uno curado rápido, se preparó una mezcla constituida de 75% de RC-250 y 25% de kerosene industrial, de acuerdo a lo indicado en las especificaciones. el resultado final de la imprimación ejecutada en el tramo VI de la carretera es:

- Tasa de asfalto en imprimación del Firme Granular

Promedio general	0.32 gal/m ²
Desviación standard	0.01
Especificación	0.20 a 0.60 gal/m ²

- Tasa de asfalto en imprimación para la base de Bermas

Promedio general	0.33 gal/m ²
Desviación standard	0.01
Especificación	0.20 a 0.60 gal/m ²

4.8.0.0 RIEGO DE LIGA

Los trabajos del Riego de Liga para impregnación del Geotextil tipo A fueron ejecutados de acuerdo a lo indicado en las especificaciones técnicas del proyecto. El resultado del riego de liga ejecutada en todo el tramo VI de la carretera Ilo-Desaguadero es:

- Tasa de Asfalto en Riego de Liga

Promedio general	0.29 gal/m ²
Desviación standard	0.01
Especificación	0.04 a 2.40 gal/m ²

4.9.0.0 TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA PARA LAS BERMAS

Los materiales necesarios para la ejecución del Tratamiento Superficial Bicapa tuvieron sus tasas presentados por el contratista y pasaron a ser evaluados por la Supervisión para su uso. El asfalto empleado en el servicio fue previamente aprobado por la Supervisión, satisfaciendo las tasas requeridas en las especificaciones. De la misma manera, los agregados tanto finos como gruesos que constituyeron la gradación de la Bicapa cumplieron con las especificaciones. Durante el tendido de la Bicapa se realizaron ensayos de cuyas muestras se obtuvieron los resultados adjuntos:

- Resultados del Tratamiento Superficial Bicapa

Primera Capa

A.- Asfalto

Promedio general	1.73 lt/m ²
Desv. Standard	0.028
Limites especificados	1.5 a 2.0 lt/m ²

B.- Agregados

Promedio general	15.86 lt/m ²
Desv. Standard	0.27
Limites especificados	20 a 24 lt/m ²

Segunda Capa

A.- Asfalto

Promedio general	1.08 lt/m ²
Desv. Standard	0.022
Limites especificados	0.9 a 1.1 lt/m ²

B.- Agregados

Promedio general	7.98 lt/m ²
Desv. Standard	0.152
Limites especificados	10 a 12 lt/m ²

4.10.0.0 EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD

Después de concluido el pavimento, fue ejecutado el Estudio de Rugosidad de todo el tramo VI que resulto en los siguientes valores en el pavimento asfáltico.

RUGOSIDAD	CARRILES		
	Izquierdo	Derecho	Ambos
IRI Promedio	1.79	1.82	1.80
Desviación Standard	0.13	0.11	0.12
Rugosidad Característica (IRI _c)	2.02	1.99	2.0
IRI _c Especificado	2.0	2.0	2.0

GRAFICOS Y TABLAS

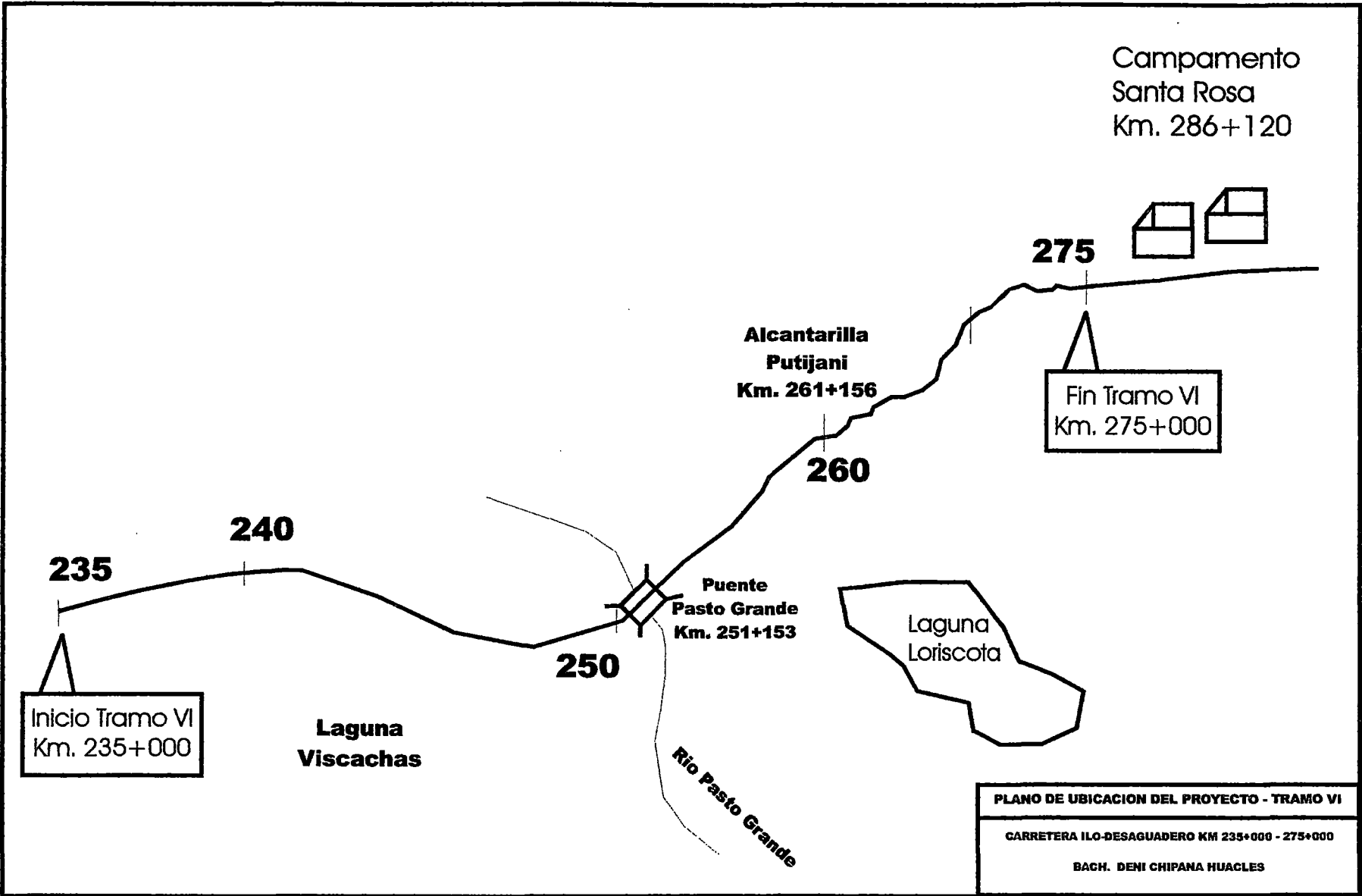


FIGURA 4-1 GRAFICA DE DISEÑO PARA EL PAVIMENTO ASFALTICO

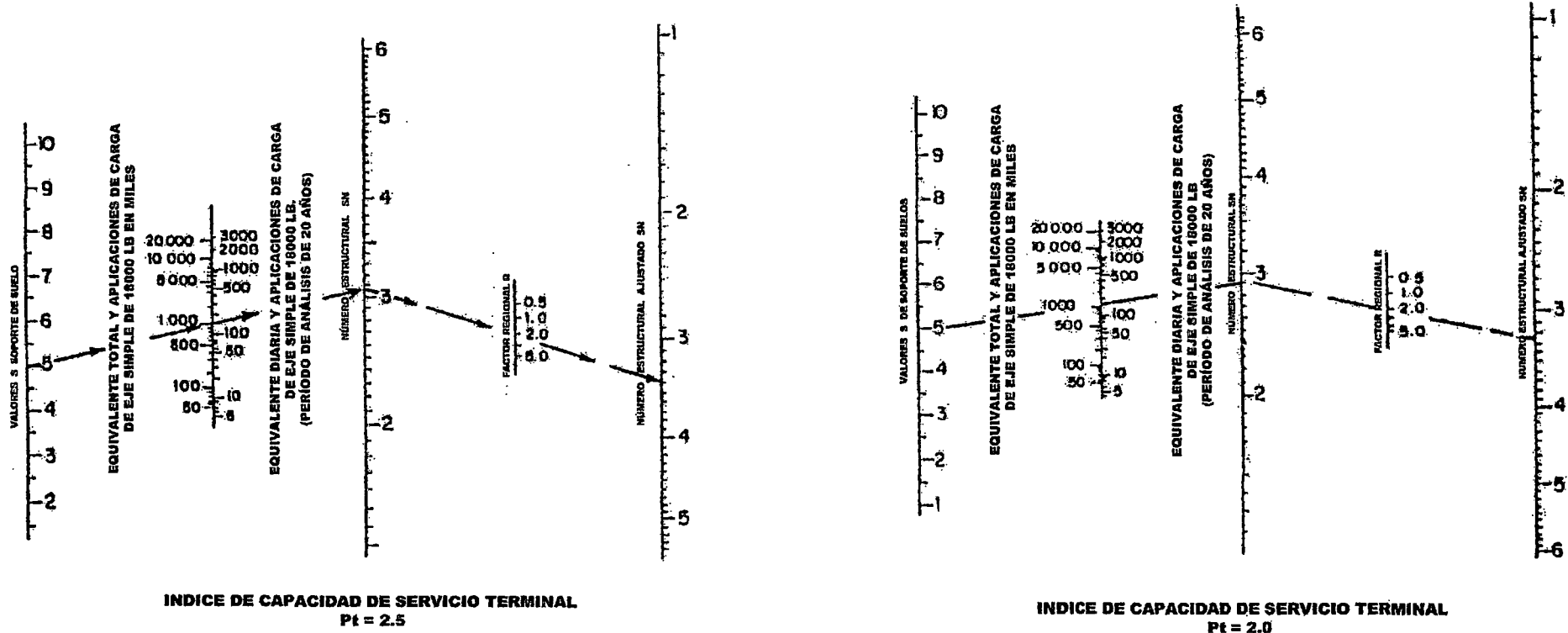
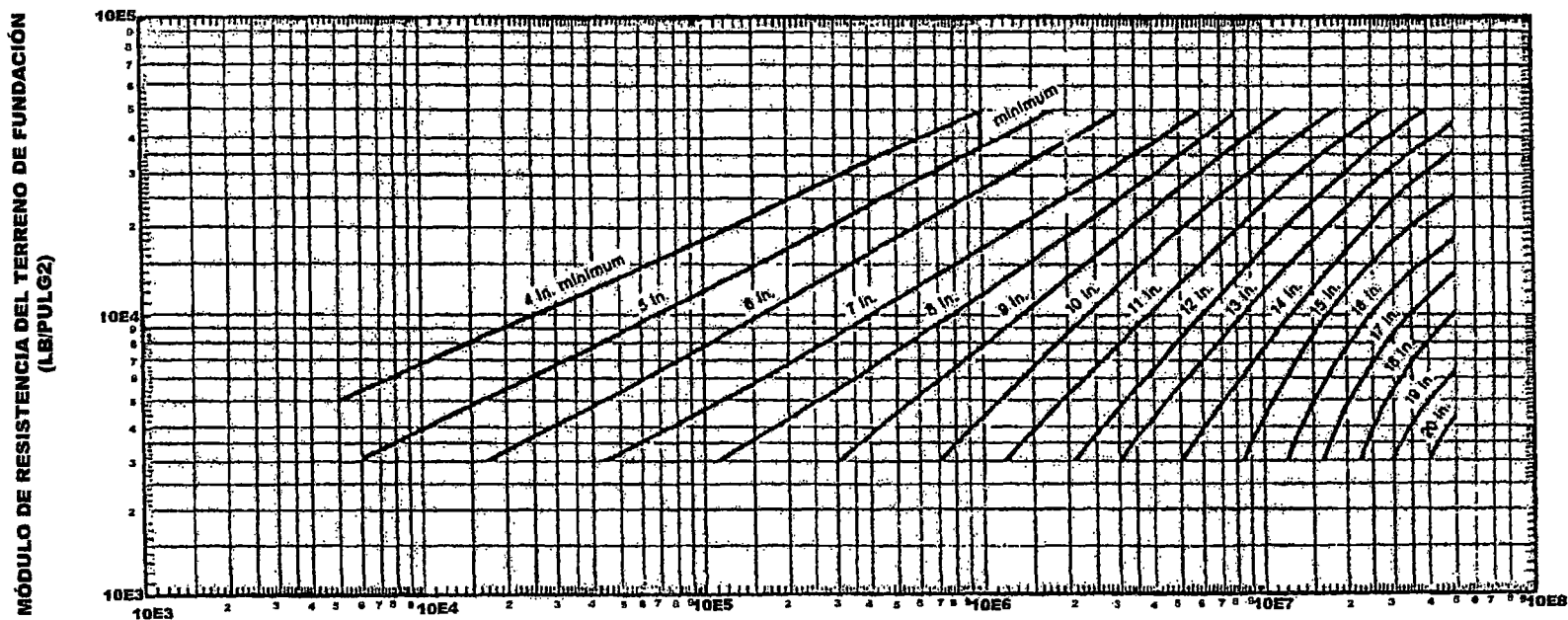


FIGURA 4-2 CARTA DE DISEÑO PARA CONCRETO ASFÁLTICO

**ESPESOR TOTAL DEL CONCRETO ASFÁLTICO
(PULG)**



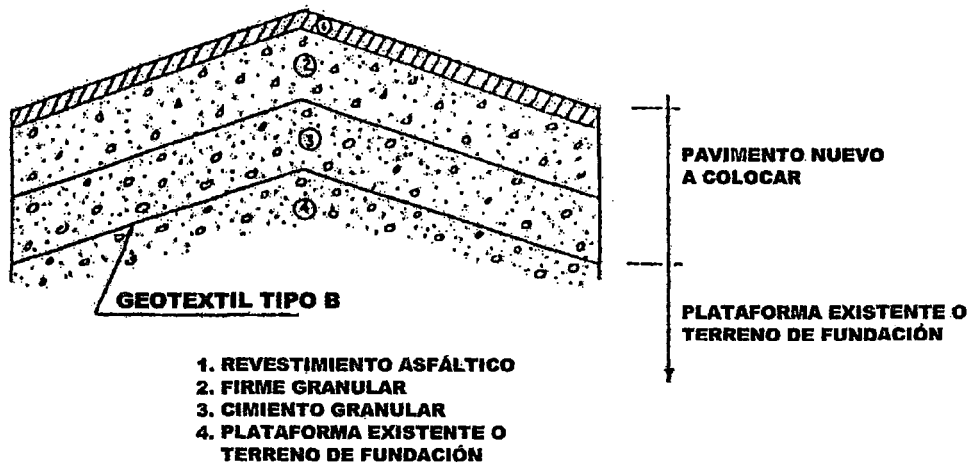
EJES SIMPLES EQUIVALENTES DE 8.2 TN. (EAL)

CUADRO 4-6 SUB TRAMOS DONDE SE EMPLEARA GEOTEXTIL TIPO B: TRAMO VI (KM 235+000 - KM 275+000

SUELOS INADECUADOS		
DEL KM	AL KM	LONGITUD (m)
235+000	235+500	500
246+750	247+250	500
267+425	267+875	450
269+250	270+700	1450
274+750	275+000	250
TOTAL		3150

FILTRACIONES		
DEL KM	AL KM	LONGITUD (m)
247+500	249+000	1500
263+950	264+080	130
268+830	269+000	170
TOTAL		1800

NIVEL FREATICO			
DEL KM	AL KM	LONGITUD	PROFUNDIDAD (m)
247+500	249+000	1500	0.75 - 1.40
TOTAL		1500	

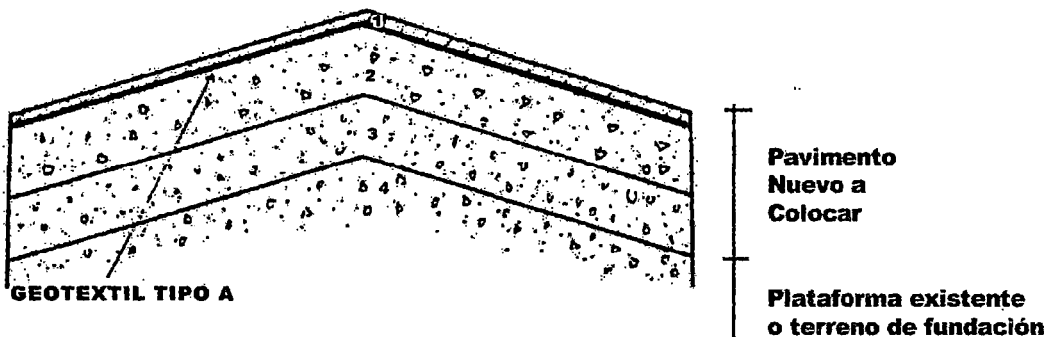


Se colocará una membrana de fibra sintética para evitar los posibles problemas de drenaje y contaminación de las capas granulares del pavimento con suelos finos desfavorables, de acuerdo a la sección típica siguiente:

**CUADRO 4-7 SUB TRAMOS DONDE SE EMPLEARA GEOTEXTIL
TIPO A: TRAMO VI (KM 235+000 - KM 275+000)**

Del	Al	Longitud (m)
Km 235+000	Km 270+000	35000

Se empleará un geotextil de fibra sintetica con la finalidad de retardar las apariciones de fisura prematuras por cambios bruscos volumétricos, debid a la gradiente térmica de acuerdo a sección típica siguiente:



1. CARPETA ASFALTICA
2. FIRME GRANULAR
3. CIMIENTO GRANULAR
4. PLATAFORMA EXISTENTE O TERRENO DE FUNDACIÓN

**CAPÍTULO 05 ANALISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS
CON RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL**

CAPÍTULO 05 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS CON RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL

5.1.0.0 RESULTADOS DE PLANIFICACIÓN DE OBRA RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL

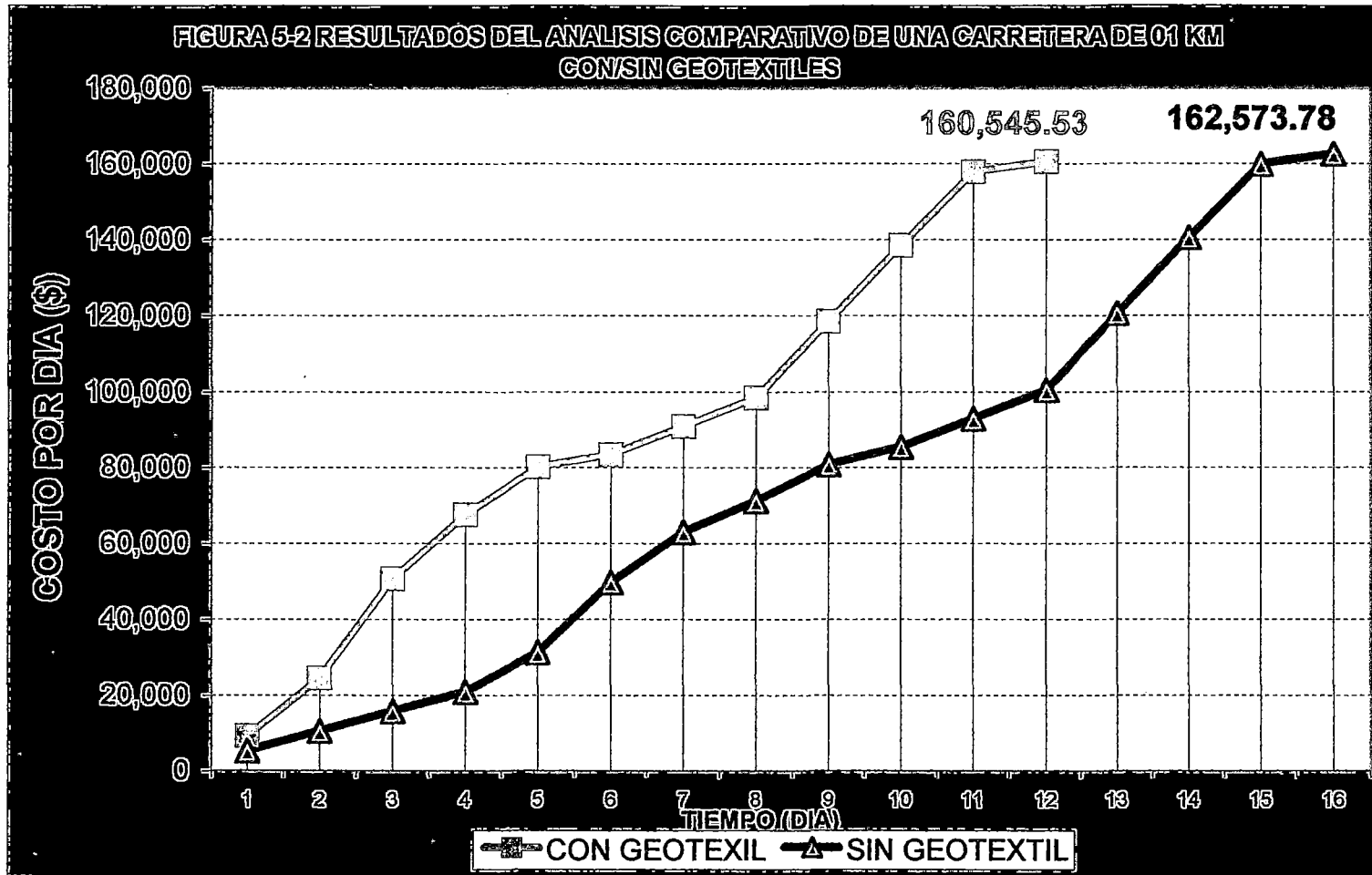
La colocación de los geotextiles se hará en cada uno de los subtramos críticos indicados en los cuadros 4-7 y 4-8 del capítulo IV. El presente capítulo tomará el kilómetro más representativo del subtramo crítico con su respectiva sección típica, figura 5-1, donde se utilizaron los geotextiles tipo A y B en la zona desfavorable según el estudio de factibilidad e ingeniería definitiva de suelos y pavimentos volumen IV-1,996. Pero en la construcción no se utilizó el geotextil tipo B, fue reemplazado por un Terraplén que de esta manera se elevó la subrasante aumentando los costos de la construcción. La decisión tomada por la Supervisión de acuerdo con PERT-JBIC se eligió una solución con sustentos técnicos descritos en los informes de revisión del proyecto por problemas de aguas superficiales, ya que debido a la baja permeabilidad para dejar pasar el flujo de agua a través del plano del geotextil tipo B, se puede obstruir y ocasionar la saturación de la estructura del pavimento. Para nuestro estudio en el kilómetro representativo se realizará el respectivo análisis comparativo de planificación de obra con/sin geotextil tipo B, desde el Km 267+250 al Km 268+250 del Tramo VI.

La experiencia peruana en lo referente al diseño de pavimentos para zonas de altura, se ha basado en el afinamiento de las recomendaciones para los procedimientos constructivos (temperaturas de operación, reducción de la tasa de oxidación inicial, etc.), criterio para el diseño de mezclas asfálticas (bajo porcentaje de vacíos, relación estabilidad-flujo adecuada, alto contenido de cemento asfáltico, etc.), y para selección de materiales a emplearse (tipo de cemento asfáltico, filler agregados). Ante la persistencia del fisuramiento térmico, a pesar de los cuidados puestos, la tendencia posterior ha sido la de elaborar una solución adoptando una posición más realista, aceptando el fisuramiento como un hecho inevitable, pero buscando que impermeabilizar las capas granulares y el suelo del terreno de fundación,

mediante el uso de una membrana asfáltica (geotextil impregnado de asfalto). Ubicada en la interfase firme granular-revestimiento de asfalto, para el caso de pavimentos nuevos. De esa manera así se fisure el revestimiento asfáltico, el agua no penetra y la capacidad estructural del pavimento se mantiene inalterable.

El geotextil tipo “A” Pavco NT-1800 se utilizó en todo el tramo VI como función primaria para contrarrestar la gradiente térmica que es la diferencia entre la temperatura más baja y la temperatura más alta, en un intervalo de tiempo, -20°C por las madrugadas, en los meses más fríos y durante el día se producen temperaturas ambientales altas de $+20^{\circ}\text{C}$, lo que determina un diferencial térmico importante al interior del revestimiento asfáltico. Su acción es más destructiva cuanto mayor sea su magnitud y menor el lapso del tiempo en que se produce. El gradiente térmico genera diariamente cambios volumétricos (contracción-dilatación) en el interior del cuerpo del asfalto, lo que a su vez produce esfuerzos de tracción y compresión, provocando finalmente su falla por agrietamiento térmico (fisuramiento).

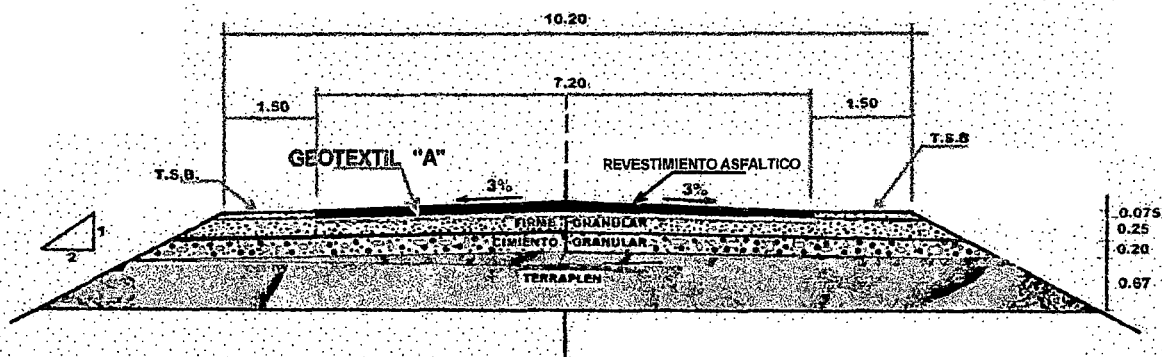
Ahora analizaremos la planificación para la construcción de carretera de 01 kilometro (zona de sierra a 3800 msnm) con el método de Diagramas de Barras - Cronograma de ejecución de obra de un pavimento con el sistema tradicional con terraplén y geotextil tipo A, cuadro 5-1 y utilizando geotextiles tipo A y B, cuadro 5-2. La figura 5-2 muestra los resultados del análisis comparativo de la carretera de 01 kilometro con/sin geotextiles donde se demuestra el ahorro del costo directo por día y la reducción del tiempo de ejecución de obra por kilometro. El cuadro 5-3 muestra el presupuesto de obra de carretera de 01 kilometro del sistema tradicional con un total de costo directo de \$ 187,002.36. El cuadro 5-4 muestra el presupuesto de obra utilizando geotextiles tipo A y B con un total de costo directo de \$ 171,728.15 donde se observa un ahorro de \$ 15,274.21 por kilometro en los subtramos críticos.



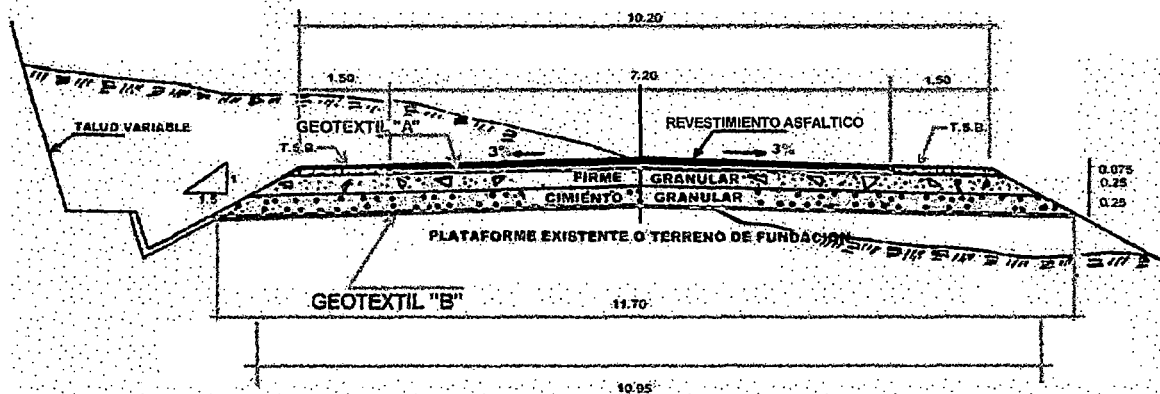
Fuentes: 1. Los Metrados fueron tomados del Estudio de Factibilidad de Ingeniería Definitiva Carretera Ilo-Desaguadero Volumen IV - Asociación P. Y V.- HOB Mayo 1,998
 2. Los Precios Unitario fueron tomados del Informe Final de Obra de la Carretera Ilo-Desaguadero de la Supervision Asociación Hidroservice-HOB Enero 1,998

FIGURA 5-1 SECCION TIPICA DEL PAVIMENTO CARRETERA ILO-DESAGUADERO SUBTRAMO KM 267+250 - 270+750

SECCION TIPICA CONSTRUIDA EN EL TRAMO VI DE LA CARRETERA ILO-DESAGUADERO 1998



SECCION TIPICA DISEÑADA EN EL TRAMO VI DE LA CARRETERA ILO-DESAGUADERO 1996



CUADRO 5-3
PRESUPUESTO DE OBRA DE CARRETERA DE 01 KM
SIN GEOTEXTIL "B"

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO (\$)	PARCIAL (\$)	TOTAL (\$)
------	-------------	--------	---------	-------------------------	-----------------	---------------

3.00	PAVIMENTOS					162,573.77
2.02	Terraplen	m3	8,937.80	3.52	31,461.06	
3.02	Cimiento Granular	m3	2,320.00	6.5	15,080.00	
3.03	Firme Granular	m3	2,675.00	12.3	32,902.50	
3.04	Base Granular Bermas	m3	225.00	12.40	2,790.00	
3.05	Imprimacion Bituminosa	m2	10,200.00	0.19	1,938.00	
3.06	Riego de Liga	m2	7,200.00	0.10	720.00	
3.07	Geotextil Tipo A	m2	7,200.00	1.37	9,864.00	
3.08	Revestimiento Asfaltico en Caliente	m3	540.00	30.12	16,264.80	
3.09	Tratamiento Superficial Bicapa en Bermas	m2	3,000.00	1.33	3,990.00	
3.10	Asfalto Liquido RC-250	gl	8,994.30	1.02	9,174.19	
3.11	Asfalto Solido PEN 85/100	gl	31,730.40	0.78	24,749.71	
3.12	Aditivo Mejorador de Adherencia	kg	917.64	9.70	8,901.11	
3.13	Filler	kg	33,845.76	0.14	4,738.41	

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO (\$)	PARCIAL (\$)	TOTAL (\$)
------	-------------	--------	---------	-------------------------	-----------------	---------------

6.00	TRANSPORTE					24,428.59
6.01	Material Granular para d = 0.25 km	m3/km	14,157.80	1.55	21,944.59	
6.02	Mezcla Asfaltica para d = 6.75 km	m3/km	540.00	4.60	2,484.00	

TOTAL COSTO DIRECTO	187,002.36
----------------------------	-------------------

Fuentes

- Nota: 1. Los Metrados fueron tomados del Estudio de Factibilidad de Ingeniería Definitiva Carretera Ilo-Desaguadero Volumen IV - Asociacion P. Y V.- HOB Mayo 1,996
2. Los Precios Unitario fueron tomados del Informe Final de Obra de la Carretera Ilo-Desaguadero de la Supervision Asociacion Hidroservice-HCB Enero 1,998

CUADRO 5-4
PRESUPUESTO DE OBRA DE CARRETERA DE 01 KM
UTILIZANDO GEOTEXTILES

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO (\$)	PARCIAL (\$)	TOTAL (\$)
------	-------------	--------	---------	-------------------------	-----------------	---------------

3.00	PAVIMENTOS					160,545.58
3.01	Geotextil Tipo B	m2	7,137.00	3.86	27,548.82	
3.02	Cimiento Granular	m3	2,825.00	6.5	18,362.50	
3.03	Firme Granular	m3	2,645.00	12.3	32,533.50	
3.04	Base Granular Bermas	m3	141.98	12.40	1,760.55	
3.05	Imprimacion Bituminosa	m2	10,200.00	0.19	1,938.00	
3.06	Riego de Liga	m2	7,200.00	0.10	720.00	
3.07	Geotextil Tipo A	m2	7,200.00	1.37	9,864.00	
3.08	Revestimiento Asfaltico en Caliente	m3	540.00	30.12	16,264.80	
3.09	Tratamiento Superficial Bicapa en Bermas	m2	3,000.00	1.33	3,990.00	
3.10	Asfalto Liquido RC-250	gl	8,994.30	1.02	9,174.19	
3.11	Asfalto Solido PEN 85/100	gl	31,730.40	0.78	24,749.71	
3.12	Aditivo Mejorador de Adherencia	kg	917.64	9.70	8,901.11	
3.13	Filler	kg	33,845.76	0.14	4,738.41	

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO (\$)	PARCIAL (\$)	TOTAL (\$)
------	-------------	--------	---------	-------------------------	-----------------	---------------

6.00	TRANSPORTE					11,182.57
6.01	Material Granular para d = 0.25 km	m3/km	5,611.98	1.55	8,698.57	
6.02	Mezcla Asfaltica para d = 6.75 km	m3/km	540.00	4.60	2,484.00	

TOTAL COSTO DIRECTO	171,728.15
----------------------------	-------------------

Fuentes

- Nota: 1. Los Metrados fueron tomados del Estudio de Factibilidad de Ingeniería Definitiva Carretera Ilo-Desaguadero Volumen IV - Asociación P. Y V.- HOB Mayo 1,998
2. Los Precios Unitario fueron tomados del Informe Final de Obra de la Carretera Ilo-Desaguadero de la Supervisión Asociación Hidroservicio-HOB Enero 1,998

5.2.0.0 LOS COSTOS RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL

Para analizar los costos de diseño del pavimento asfáltico utilizaremos el Programa de Cómputo Amospec. Previamente coleccionamos datos en las hojas de cálculo 3-2-2: Diseño del Camino Pavimentado Asfáltico; y las hojas de cálculo 3-2-4: Durabilidad del Geotextil Camino Pavimentado.

5.2.1.0 Hoja de Cálculo de Diseño del Camino Pavimentado Asfáltico

5.2.2.0 Hoja de Cálculo de Durabilidad del Geotextil Camino Pavimentado.

5.2.3.0 Resultados de Diseño del Programa Amospec

HOJA DE CÁLCULO 3-2-2

5.2.1.0 HOJA DE CÁLCULO DE DISEÑO CAMINO PAVIMENTADO ASFÁLTICO

Determine cada uno de las siguientes variables de entrada para el diseño de un camino pavimentado asfáltico de acuerdo con AASHTO [1986]. Recomendaciones para los valores de diseño y los valores estimados son proporcionadas para cada variable.

I. PROPIEDADES, DENSIDAD Y COSTO DE LOS MATERIALES

A. Costo Unitario del Revestimiento Asfáltico \$ 12.91 /ton

Valores típicos: \$20/ton a \$40/ton

Fuentes adicionales: Fábrica de asfalto

B. Densidad del Revestimiento Asfáltico 145.53 lb/ft³

Valores del diseño: Resultados de ASTM D 2041

Resultados de ASTM D 71

Resultados de AASHTO T 275

Resultados de AASHTO T 166

Resultados de AASHTO T 209

Valores típicos: 120 lb/ft³ a 150 lb/ft³

Fuentes adicionales: Característica técnicas del proyecto
Asfalto del fabricante

C. Costo Unitario del Firme Granular \$ 5.66 /ton

(varía según tipo de material de firme)

Firme granular

Valores típicos: \$5/ton a \$30/ton

Fuentes Adicionales: Agregados del proveedor

D. Densidad del Firme Granular 135.37 lb/ft³

(varía según tipo de material de firme)

Firme Granular

Valor diseño: Resultados de ASTM D 1557

Resultados de ASTM D 698

Resultados de AASHTO T 99

Resultados de AASHTO T 180

Valores Típicos: 125 lb/ft³ a 140 lb/ft³
Fuentes adicionales: Especificaciones del proveedor agregado del proyecto

E. Módulo Resiliente del Firme Granular (E_B) $E_{FIR} = 29.5$ Kips/pulg²
(varía según tipo de material)
Valor de diseño: Resultados de AASHTO T 274 para agregado sin ligante
Resultados de ASTM D 4123 para agregado confinado
Valor estimado: Figura 3-4 para agregado suelto basados en CBR o valor-R
Figura 3-6 para agregado confinado basado en estabilidad
De Marshall
Valor típico: 14 kips/pulg² a 30 kips/pulg²
Fuentes adicionales: Fábrica de asfalto
Discusión: Sección 3.2.4.1

F. Costo Unitario del Cimiento Granular \$ 3.00 /ton
(varía según tipo de material)
Cimiento Granular
Valor típico: \$5/ton a \$30/ton

G. Densidad del Cimiento Granular 134.74 lb/ft³
(varía según tipo de material)
Cimiento Granular
Valor diseño: Resultados de ASTM D 1557
Resultados de ASTM D 698
Resultados de AASHTO T 99
Resultados de AASHTO T 180
Valor típico: 120 lb/ft³ a 140 lb/ft³
Fuentes adicionales: Especificaciones técnicas del proveedor del agregado del
proyecto

H. Módulo Resiliente del Cimiento $E_{cim} = 19$ kips/pulg²
(varía según tipo material cimiento)
Cimiento Granular
Valor diseño: Resultados de AAHSTO T 274
Valor estimado: De la Figura 3-5 basado en agregados CBR o valor-R
Valor típico: 10 kips/pulg² a 20 kips/pulg²
Fuentes Adicionales: Agregado proveedor
Discusión: Sección 3.2.4.1

II CONDICION TRÁFICO Y PROPIEDADES DE TERRENO DE FUNDACIÓN

- A. Diseño de vía Carga por Eje Simple Equivalente (W_{18}) $W_{18}= 1.6 * E6$ ESAL
- Valor diseño: Resultados de la tabla W2.1.1
Evaluación de Tráfico de las hojas de cálculo.
- Valor típico: 50,000 a 1,000,000 ESAL
- Discusión: Sección 3.2.3.3
- B. Fiabilidad: Desviación Standard Normal $Z_R = -1.282$
- Valor diseño: Seleccionado de la tabla 3-3 Basado en fiabilidad de la carretera requerida o recomendado en la tabla 3-2
- Valor Típico: -1.7 a 0.0 (nota: signo negativo debe entrar si es aplicable)
- Fuente adicional: Local DOT
- Discusión: Sección 3.2.3.2
- C. Fiabilidad: Desviación Standard Total $S_o = 0.35$
- Valor diseño: Análisis estadístico de datos del rendimiento de la carretera local
- Valor estimado: De Tabla 3-4
- Valor típico: 0.35 a 0.45 para pavimentos asfálticos
- Fuentes adicionales: Local DOT
- Discusión: Sección 3.2.3.2
- D. Módulo Resiliente del Terreno de Fundación $M_R = 9.45$ Kips/pulg²
- Valor diseño: Resultados de AASHTO T 274
- Valor estimado: De la tabla 3-11 basado CBR o valor-R del suelo.
De la tabla 3-12 basado clima de región y calidad suelo relativo.
- Valor típico: 2.0 kips/pulg² a 10.0 kips/pulg²
- Discusión: Sección 3.2.4.1
- E. Índice de Serviciabilidad de Carretera Inicial (P_i); y $P_i = 4.2$
Índice de Serviciabilidad de Carretera Terminal (P_t) $P_t = 2.0$
- Valor diseño: Basado en experiencia local
- Valor estimado: de la tabla 3-10
- Valor típico; $P_i = 4.2$; $P_t = 2.0$
- Fuente adicional: Local DOT
- Discusión: Sección 3.2.3.4

III DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

A. Coeficiente de Capa Estructural

Revestimiento Concreto Asfáltico(a_1)	$a_1 = 0.44$
Firme (base) (a_2)	$a_2 = 0.137$
Cimiento (subbase) (a_3)	$a_3 = 0.130$
Valor diseño:	Basado en experiencia local
Valor estimado:	Para a_1 , usar figura 3-8 basado en módulo elástico asfalto. Para a_2 , firme granular sin ligante, usar figura 3-4 basado en CBR o valor-R Para a_2 , cimiento granular confinado, usar figura 3-6 basado en estabilidad marshall Para a_3 , cimiento granular, figura 3-5 basado en CBR o valor-R
Valor Típico:	$a_1 = 0.39$ a 0.44 para revestimiento concreto de asfalto $a_2 = 0.11$ a 0.14 para piedra aplastada $a_3 = 0.08$ a 0.11 para arena gruesa
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.4.2

B. Coeficiente Capa de Drenaje

Firme (base) (m_2)	$m_2 = 1.0$
Cimiento (subbase) (m_3)	$m_3 = 0.8$
Valor diseño:	Basado en la experiencia local De la tabla 3-13 basado en las condiciones de humedad y drenaje.
Valor típico:	0.7 a 1.0
Fuente adicional:	Local DOT
Discusión:	Sección 3.2.4.2

C. Factor Degradación del Agregado

	$d_f = 0.2$
Valor diseño:	$d_f = d_a/d_s$ d_a = Especificación adicional espesor firme o cimiento granular que necesita para la compensación de pérdida agregado debido a contaminación (pulgadas); y d_s = Espesor firme o cimiento granular que se necesita para apoyo estructural (pulgadas).
Valor estimado:	Figura 3-12
Valor típico:	0.1 a 0.8
Discusión:	Sección 3.2.6.3

HOJA DE CALCULO 3-2-4

5.2.2.0 DURABILIDAD DEL GEOTEXTIL CAMINO PAVIMENTADO

Las respuestas a las siguientes ocho preguntas cualitativas son evaluadas por Amospec para la selección de una evaluación mínimo recomendado para la durabilidad del geotextil. Cada respuesta a las ocho preguntas se le asigna un puntaje. Lo mínimo recomendado de durabilidad del geotextil es basado en el número total de puntos para todas las ocho preguntas como se muestra la tabla 3.21.1

1. Seleccione la letra apropiada que corresponde a la presión de contacto o presión del neumático máximo anticipado aplicado al firme granular durante la construcción.

			<u>Puntos</u>
A.	0–4 psi	Case 950LPG Dozer	0
B.	4 – 8 psi	Cat D4H Dozer	10
C.	8–35 psi	Loaders Wheel (Rueda)	20
D.	35 – 100 psi	Construcción Trucks	30
E◀	más 100 psi	Highway Trucks	40

2. Ingrese el espesor mínimo de capa de cimientofirme granular que envuelve el geotextil (pulgadas)

Puntos = (-2)*(espesor agregado) + 48 = 28” Esp Agregado = 10”

3. ¿Cuál es el máximo el diámetro agregado para ser colocado en contraste de la parte superior del geotextil (pulgadas)?

Diámetro = 1.5”

Puntos = (-2)*(diámetro agregado) + 1; y si (diámetro agregado) > 1/2*(espesor agregado), Puntos = Puntos + 3; y si (diámetro agregado) > 3/4*(espesor agregado), Puntos = Puntos + 3.

4. ¿Cuál es la angulosidad del agregado que será puesto en el geotextil?

		<u>Puntos</u>
A.	Bien redondeado	0
B.	Redondeado	7
C.	Subredondeado	15
D◀	Subangular	23
E.	Angular	30

5. ¿Cuál es la condición del suelo debajo del geotextil?

	<u>Puntos</u>
A ◀ Suelo grano fino con una superficie lisa	0
B. Suelo grano fino con depresiones excedentes poco profundo que no exceden 6-pulg. de profundidad.	10
C. Superficie de terreno natural con depresiones que no exceden 12-pulg. de profundidad	20
D. Agregado	30
E. Superficie de terreno natural con alguna piedra y otras ruinas	30
F. Superficie de terreno natural con depresiones significantes y ruinas	40

6. ¿Cuál es la resistencia al corte promedio del suelo terreno de fundación debajo del geotextil?

	<u>CBR</u>	<u>Mod. Reacción del Terreno de fundación</u>	<u>Puntos</u>
A. menos de 500 psf	< 1	< 30 psi/pulg	20
B. 500 – 1000 psf	1 - 2	30 – 60 psi/pulg	15
C. 1000 – 1800 psf	2 – 3	60 – 100 psi/pulg	10
D. 1800 – 3000 psf	3 – 5	100 – 150 psi/pulg	5
E ◀ mayor que 3000 psf	> 5	> 150 psi/pulg	0

7. ¿Qué puntaje de supervisión en la construcción se realizará durante la colocación del geotextil y los materiales agregados superyacente (sobretendido)?

	<u>Puntos</u>
A. Supervisión cerrada	0
B ◀ Supervisión regular	2
C. Supervisión moderada	4
D. Supervisión pequeña	6
E. no Supervisión	10

8. ¿Qué tiempo será permitido el tráfico en la carretera antes de la pavimentación?

	<u>Puntos</u>
A ◀ Ningún tráfico excepto la colocación de pavimento	0
B. 3 días	2
C. 2 semanas	4
D. 2 meses	6
E. más 2 meses	10

5.2.3.0 RESULTADOS DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE CÓMPUTO AMOSPEC

Project: TESIS1407

This is the Amospec paved road design output. This output is made up of two parts. The first part provides the pavement section design. The second part provides the geotextile selection based on survivability criteria.

The pavement design parameters are:

1. Estimated total traffic = 1600000 18-kip ESALS
2. Standardized normal deviate = -1.282
3. Standard deviation = .35
4. Subgrade resilient modulus = 9.45 ksi
5. Initial serviceability = 4.2 PSI
6. Terminal serviceability = 2 PSI

This is a flexible pavement design.

The unit cost of the pavement is \$ 8.74/sq. yd.

The cross-section is as follows:

1. 3 inches of asphalt surface course
Unit cost of asphalt concrete = \$ 12.91/ton
In-place density of asphalt concrete = 145.53 pcf
Layer coefficient for surface = .44
Drainage modifier for surface = 1
2. 10 inches of graded crushed aggregate
Unit cost of base = \$ 5.66/ton
In-place density of base = 135.37 pcf
Resilient modulus of base = 29.5 ksi
Layer coefficient for base = .137
Drainage modifier for surface = 1
3. 10 inches of subbase
Unit cost of base = \$ 3.00/ton
In-place density of subbase = 134.74 pcf
Resilient modulus of subbase = 19 ksi
Layer coefficient of subbase = .13
Drainage modifier of subbase = .8

The geotextile design parameters are:

1. The max. contact pressure is over 100 psi.
2. The minimum lift thickness is 10 inches.
3. The size of the fill aggregate is 1.5 inches.
4. The angularity of the base aggregate is subangular.
5. Beneath the geotextile is fine grained soils with smooth surface.
6. The shear strength of the subgrade is greater than 3000 psf.
7. The inspection of construction is regular monitoring.
8. Traffic will be permitted prior to paving only for paving equipment.

The selected geotextile is Amoco CEF 2002.

The input in-place unit cost for CEF 2002.

The selected geotextile is Amoco nonwoven CEF 4551.

The input in-place unit cost for CEF 4551 is \$ 2.24/sq.yd.

Separation Geotextile Specification for Project: TESIS1407

DESCRIPTION

This work shall consist of furnishing and placing a geotextile for use as a permeable separator to prevent mixing of dissimilar materials such as subgrades and surfaced or unsurfaced pavement materials, and foundations and select fill materials. This specification does not address geotextiles used for reinforcement.

MATERIALS

Geotextile: The geotextile shall be composed of synthetic fibers formed into a woven or nonwoven fabric. Fibers used in the manufacture of the geotextile shall be composed of at least 85 percent by weight polyolefins, polyesters, or polyamides. The geotextile shall be free of defects or flaws which significantly affect its physical properties. The geotextile shall meet the requirements of Table 1.

CONSTRUCTION INSTALLATION REQUIREMENTS

Geotextile Shipment/Storage: The geotextile rolls shall be furnished with suitable wrapping for protection against moisture and extended ultraviolet exposure prior to placement. Rolls shall be stored in a manner which protects them from the elements. If stored outdoors, they shall be elevated and protected with a waterproof cover. At no time shall the geotextile be exposed to ultraviolet light for a period exceeding fourteen days. The geotextile rolls shall be labeled as per ASTM D 4873.

Site Preparation: The installation area shall be prepared by clearing all debris or obstructions which may damage the geotextile. Trees and large bushes should be cut at ground level. In most cases, native vegetation, roots and topsoil must be removed from the roadway subgrade prior to geotextile placement. Where required by the contract documents, soft otherwise unsuitable subgrade areas shall be identified, excavated and backfilled with select material in accordance with the contract documents. Stabilization of these areas may be enhanced by use of a geotextile at the bottom of the excavation before backfilling. However, when designed for soft or wet subgrade conditions, native vegetation, roots, and topsoil may be left in place to limit disturbance and resulting shear strength loss of the subgrade soil.

Geotextile Placement: The geotextile shall be unrolled as smoothly as possible on the prepared subgrade in the direction of construction traffic. Geotextile rolls shall be overlapped in the direction of subbase placement. If required, the geotextile may be held in place prior to subbase placement with pins, sand bags, or piles of fill or rock. On curves, the geotextile may be folded or cut to conform to the curve. If site conditions require geotextile seaming, the geotextile shall be cut and seamed on the curve. The fold or overlap shall be in the direction of construction and shall be held in place as prescribed above. The geotextile shall not be dragged across the subgrade

The geotextile shall be overlapped with a minimum overlap distance of 18 inches.

Damaged geotextiles, as identified by the engineer, shall be repaired immediately. The damaged area plus an additional three feet around the damaged area shall be cleared of all fill material. A geotextile patch extending three feet beyond the perimeter of the damage shall be constructed as directed by the engineer. Sewing of the geotextile patch may be required over soft subgrades as directed by the engineer. Damaged geotextile shall be replaced at no cost to the owner.

Aggregate Placement: The aggregate base or subbase (aggregate) shall be placed by end dumping adjacent to the geotextile or over previously placed aggregate. End dumping or tail gate dumping of aggregate on the geotextile will not be permitted. The aggregate shall be spread from the backdumped pile using a bulldozer or motor grader. A sufficient thickness of aggregate should be in place prior to dumping to minimize the potential of subgrade pumping and localized failure.

The aggregate shall be placed on the geotextile in lifts of not less than 6-in. thick. For low volume roads, the minimum lift may be reduced to a 4-in. thickness at the discretion of the engineer. Traffic shall not be permitted directly on the geotextile. Sudden stops or turns by equipment operating on aggregate placed over the geotextile shall be avoided.

A smooth drum roller shall be used to achieve specified density. Any ruts occurring during construction shall be filled with additional aggregate and compacted to the specified density. Vibratory compaction shall not be used on the initial lift over the geotextile.

METHOD OF MEASUREMENT

Geotextile: The geotextile shall be measured by the number of square yards from the payment lines shown on the plans or from the payment lines established in writing by the Engineer. This excludes seams and overlaps. Excavation, backfill, bedding, and cover materials are separate pay items.

BASIS OF PAYMENT

Geotextile: The accepted quantities of geotextile shall be paid for at the contract unit price per square yard in place.

Table 1.

PHYSICAL REQUIREMENTS - SEPARATION GEOTEXTILES

Property	Units	Value	Test Method
Machine Grab Tensile Strength	lbs.	140	ASTM-D-4632
Cross-Machine Grab Tensile Strength	lbs.	140	ASTM-D-4632
Machine Grab Tensile Elongation	%	15	ASTM-D-4632
Cross-Machine Grab Tensile Elongation	%	15	ASTM-D-4632
Seam Machine Grab Tensile Strength	lbs.	112	ASTM-D-4632
Seam Cross-Machine Grab Tensile Strength	lbs.	112	ASTM-D-4632
Mullen Burst	psi	350	ASTM-D-3786
Puncture	lbs.	70	ASTM-D-4833
Trapezoid Tear	lbs.	45	ASTM-D-4533
Seam Strength	lbs.	115	ASTM-D-4632
UV Resistance	%	70	ASTM-D-4355
Apparent Opening Size	US Sieve	30	ASTM-D-4757
Permittivity	1/sec	.04	ASTM-D-4491
Flow Rate	Gal./min./sf	4	ASTM-D-4491

Notes:

1. Conformance of geotextiles to specification property requirements shall be determined according to ASTM D 4873.
2. Contracting agency may require a letter from the manufacturer certifying that its geotextile meets specification requirements.
3. All numerical values represent minimum average roll values (i.e., average of test results from any sampled roll in a lot shall exceed the values in the table) in weaker principal direction. Lot sampled according to ASTM D 4354.
4. Geotextile permittivity must be greater than the specified minimum value and result in a geotextile permeability which is greater than the permeability of the subgrade soil.
5. UV Resistance refers to the percent grab tensile strength retained as evaluated using ASTM D 4632 after conditioning for 500 hours.

Traducción de los Resultados del Amospec

Project: GEOTEXTIL “B”

Esto es el producto de diseño de camino pavimentado de Amospec. Este producto es hecho en dos partes. La primera parte proporciona la sección de diseño del pavimento. La segunda parte proporciona la selección del geotextil basada en el criterio de durabilidad.

Los parámetros del diseño del pavimento son:

1. Tráfico Total Estimado = 1,600,000 18-kip ESALS
2. Desviación Standard Normal = -1.282
3. Desviación Standard Total = 0.35
4. Módulo Resiliente del Terreno de Fundación = 9.45 ksi
5. Serviciabilidad Inicial = 4.2 PSI
6. Serviciabilidad Terminal = 2 PSI

Diseño del Pavimento Asfáltico.

El costo unitario del pavimento según AMOSPEC con Geotextil no tejido tipo B Amoco CEF 4551 (1.6 mm) es:

$$\text{\$ } 7.77/\text{m}^2 + 2.68/\text{m}^2 = 10.45/\text{m}^2$$

El costo unitario del pavimento según Hidroservice-HOB con Geotextil no tejido Tipo B

Pavco NT 3000 (2.4 mm) es:

$$\text{\$ } 7.77/\text{m}^2 + 3.86/\text{m}^2 = 11.63/\text{m}^2$$

La Sección Transversal del Pavimento

1. Espesor Revestimiento Asfáltico = 3 pulgadas
Costo unitario del Revestimiento Asfáltico = \$12.91/ton
Densidad Revestimiento Asfáltico in-situ = 145.53 pcf
Coeficiente de capa del Revestimiento Asfáltico = 0.44
Coeficiente de drenaje del Revestimiento Asfáltico = 1

2. Espesor del Firme Granular = 10 pulgadas
 Costo unitario del Firme = \$5.66/ton
 Densidad del Firme in-situ = 135.37 pcf
 Módulo Resiliente del Firme = 29.5 ksi
 Coeficiente de capa del Firme = 0.137
 Coeficiente de drenaje del Firme = 1

3. Espesor del Cimiento Granular = 10 pulgadas
 Costo Unitario del Cimiento = \$3.00/ton
 Densidad del Cimiento in-situ = 134.74 pcf
 Módulo Resiliente del Cimiento = 19 ksi
 Coeficiente de capa del Cimiento = 0.130
 Coeficiente de drenaje del Cimiento = 0.80

Diseño del Pavimento – Sección y Costo del Pavimento

La siguiente Sección del Pavimento se diseño utilizando el procedimiento AASHTO 1986, sin considerar la intrusión de finos en la capa granular (sin geotextil).

Capa	Coeficiente Capa	Coeficiente Drenaje	Espesor (pulg)	Capa SNi	Requerido SNi	Costo/m2 (\$)
Revestimiento Asfáltico	0.44	1	3	1.3	2.1	2.51
Firme	0.137	1	10	1.4	1.2	3.44
Cimiento	0.13	0.8	10	1.0	0.5	1.82
			Total SN	3.7	3.8	
					Costo Total	\$ 7.77

Los parámetros de diseño del geotextil son

1. La máxima presión del contacto más 100 psi.
2. El espesor de alzamiento mínimo es 10 pulgadas.
3. El tamaño del agregado es 1.5 pulgadas.
4. La angulosidad del firme granular es subangular.
5. Debajo del geotextil hay suelos de granos finos con superficie suave.
6. La fuerza de corte del terreno de fundación es mayor que 3000 psf.

7. La inspección de construcción es supervisión regular.
8. Se permitirá el tráfico sólo por el equipo de pavimentación.

La función primaria del geotextil en un camino pavimentado es para proporcionar la separación entre la capa granular y el terreno de fundación. El geotextil previene la contaminación de la capa granular con los finos del terreno de fundación, la cual puede causar la falla del pavimento debido a la incapacidad del sistema para soportar las cargas deseadas. La selección de un geotextil es basada sobre la durabilidad en la construcción de la tela ya que actualmente ocurren pequeños esfuerzos. La función secundaria será la de filtración para drenar el agua del terreno de fundación que sube por capilaridad de las aguas subterráneas. El procedimiento de diseño es una información basado en el sistema que selecciona un geotextil apropiado basado sobre la construcción, información y la experiencia.

El uso de los geotextiles puede guiar a significar la mejora de la calidad del proyecto y reduciendo los costos de instalación, directamente el costo económico puede incluir en la reducción de la excavación requerida y mejorando las zonas donde hay suelos pobres.

La recomendación del geotextil TIPO B no tejido tipo B CEF 4551. Los costos están relacionados en sitio y el lugar del proyecto.

El costo unitario del geotextil tipo B no tejido in-situ Amoco CEF 4551 es \$2.68/m²

El costo unitario del geotextil tipo B no tejido in-situ Pavco NT 3000 es \$3.86/m²

CON GEOTEXTIL TIPO B (AMOCO CEF 4551)

Capa	Espesor (pulg)	Costo \$(m ²)
Revestimiento Asfáltico	3	\$ 2.51
Firme	10	\$ 3.44
Cimiento	10	\$ 1.82
Geotextil Amoco CEF 4551		\$ 2.68
	Costo Total	\$ 10.45

CON GEOTEXTIL TIPO B (PAVCO NT 3000)

Capa	Espesor (pulg)	Costo \$(m2)
Revestimiento Asfáltico	3	\$ 2.51
Firme	10	\$ 3.44
Cimiento	10	\$ 1.82
Geotextil Pavco NT 3000		\$ 3.86
	Costo Total	\$ 11.63

SIN GEOTEXTIL TIPO B

Capa	Espesor (pulg)	Costo \$(m2)
Revestimiento Asfáltico	3	\$ 2.51
Firme	12	\$ 4.13
Cimiento	12	\$ 2.19
	Costo Total	\$ 8.83

Las Especificaciones del Geotextil tipo B de separación para el Proyecto:

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consistirá en suministrar y colocar un geotextil para el uso como un separador permeable para prevenir el mezclado de los materiales disímiles como el terreno de fundación y cimientos o los materiales en el interior del pavimento, y los materiales seleccionados de relleno. La especificación de este geotextil no es destinada para el uso como refuerzo.

MATERIALES

Geotextil Tipo B: Los geotextiles se compondrán de fibras sintéticas no tejidos. Las Fibras usadas en la fabricación del geotextil se compondrá menor 85 por ciento por polyolefins de peso, polyésters, o polyamides. Los geotextiles estarán libre de defectos o fallas que significativamente afecta sus propiedades físicas. El geotextil B reunirá los requisitos de la tabla 5-1.

REQUISITOS DE INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Transporte y Almacenaje del Geotextil: Los rollos del geotextil serán amueblados con la envoltura conveniente para la protección contra la humedad y a la exposición de la luz ultravioleta. Se guardarán los rollos de una manera que sean protegidos de estos elementos. Si se guardó en el campo, ellos serán elevados y protegidos con una tapa impermeable. En ningún momento el geotextil se expondrá a la luz ultravioleta por un periodo que excede catorce días. Los rollos del geotextil serán etiquetados según ASTM D 4873.

Preparación de la Zona: El área de la instalación se preparará nivelando todas las ruinas u obstrucciones que pueden dañar el geotextil. Deben retirarse los materiales orgánicos del suelo. En la mayoría de los casos, vegetación nativa, raíces y mantillo debe quitarse previo a la colocación del geotextil sobre el terreno de fundación de la carretera. Donde se requirió por los documentos del contrato, suelos blandos se identificarán estas áreas impropias del terreno de fundación, excavado y rellenado con el material selecto de acuerdo con los documentos del contrato. La estabilización de estas áreas puede ser reforzado por el uso de un geotextil en el fondo de la excavación antes del rellenado. Sin embargo, cuando se diseña para terreno de fundación blando o húmedo, vegetación nativa, raíces, deben extraerse del lugar para limitar la perturbación y la pérdida de fuerza de corte resultante del suelo del terreno de fundación.

Colocación del Geotextil: Los geotextiles se desenrollarán lo más suavemente posible en el terreno preparado en la dirección del tráfico de construcción. Los rollos de Geotextiles serán solapados en la dirección de colocación del cimiento. Si es requerido, los geotextiles pueden mantenerse en el lugar con clavos, bolsas de arena o piedra antes de la colocación del cimiento. En curvas, los geotextiles pueden plegarse o pueden cortarse para conformar la curva. Si las condiciones del sitio requieren coser el geotextil, se cortarán los geotextiles y se coserán en las curvas. El pliegue o solape estará en la dirección de la construcción y será fijado en el lugar como se describió anteriormente.

Colocación del Agregado: El firme o cimiento granular (agregado) se pondrá por el extremo adyacente que descarga al geotextil o por encima del agregado previamente colocado. No se permite la descarga del agregado por la puerta extrema sobre los geotextiles. El agregado se amontonará y se extenderá usando un bulldozer.

Métodos de Medición: La tela de pavimentación deberá ser medida por metros (yardas) cuadrados.

Bases de Pago: Las cantidades aceptadas del geotextil serán pagadas al precio unitario del contrato por metros (yardas) cuadradas colocadas.

TABLA 5-1 REQUERIMIENTOS FISICOS-GEOTEXTIL TIPO B (AMOCO CEF 4551)

Su función primaria de refuerzo, y como función secundaria separación según AMOSPEC

<u>Propiedad</u>	<u>Unidad</u>	<u>Valor</u>	<u>Método de Ensayo</u>
Resistencia a la Tracción "Grab" a maquina	N	623	ASTM-D-4632
Resistencia a la Tracción "Grab" Sección a máquina	N	623	ASTM-D-4632
Elongación a la Tracción "Grab" a maquina	%	15	ASTM-D-4632
Elongación a la Tracción "Grab" Sección a máquina	%	15	ASTM-D-4632
Resistencia a la Tracción "Grab" Hendidura a máquina	N	498	ASTM-D-4632
Resistencia a la Tracción "Grab" Sección de Hendidura a máquina	N	498	ASTM-D-4632
Resistencia al Reventado "Mullen"	kPa	2380	ASTM-D-3786
Resistencia a la Perforación	N	312	ASTM-D-4833
Resistencia al Desgarre Trapezoidal	N	200	ASTM-D-4533
Resistencia a la Hendidura	N	511	ASTM-D-4632
Resistencia UV	%	70	ASTM-D-4355
Abertura Aparente de Poros	Tamiz(0.59mm)	30	ASTM-D-4757
Permisividad	l/sec	0.04	ASTM-D-4491
Flujo de Agua	Gal./min./sf	4	ASTM-D-4491

Notas:

1. La conformidad de los geotextiles a la propiedad de la especificación se determinarán por los requisitos según ASTM D 4873.
2. La agencia contratante puede requerir una carta del fabricante que certifica los requerimientos de especificación del geotextil.
3. Todos los valores numéricos representan valores mínimos del rollo (es decir, el promedio de resultados del ensayo de cualquier rollo que no excederá mucho los valores en la tabla) en la dirección principal más débil. La porción ensayado según ASTM D 4354.
4. La permitividad del Geotextil debe ser mayor que los especificados del valor mínimo y produce una permeabilidad del geotextil que es mayor que la permeabilidad del suelo del terreno de fundación.
5. La Resistencia de UV se refiere al porcentaje conservado a la fuerza de tensión Grab que es evaluado usando ASTM D 4632 después de condicionar durante 500 horas.

5.3.0.0 LA VIDA UTIL Y RESULTADOS DE COSTO DE MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

5.3.1.0 INTRODUCCIÓN

El presente informe de obra contiene los resultados del Programa de Mantenimiento Vial, diseñado para asegurar que el nivel de serviciabilidad del Tramo VI de la carretera Ilo – Desaguadero, se mantenga cercano a 2.0 al término de sus 10 años de servicio, período establecido como la vida útil del pavimento ejecutado en este sector de la vía. Es decir, que al transcurrir los 10 años de servicio de la vía que actualmente se entrega al tráfico contará con una superficie de rodadura en condiciones aceptables.

5.3.2.0 BASES DEL PROGRAMA

El programa elaborado está basado en la necesidad de dotar a este tramo vial de una labor de mantenimiento eficaz, que permita que los defectos que puedan irse presentando en la superficie de rodadura o en la estructura del pavimento sea correcta y oportunamente corregidos para evitar que estos defectos progresen en forma tal que puedan ampliarse las áreas afectadas o llegar a afectar capas más profundas de la calzada, todo esto de manera que asegure al finalizar el décimo año de servicio de la vía un grado de serviciabilidad del pavimento cercano a 2.0, tal como lo previó el proyecto ejecutado.

Para elaborar este programa se ha tenido en consideración las posibles causas por las que el mismo podría fallar a consecuencia de acciones deficientes que impedirían, sin lugar a dudas, que la vía cumpla con los objetivos para los que ha sido rehabilitada y mejorada.

Las causales para un deficiente mantenimiento de la vía pueden desencadenarse al ocurrir alguna de las siguientes situaciones:

- Falta total o insuficiencia de recursos para implementar el programa.
- Asignación incorrecta de los fondos destinados para el programa.
- Empleo ineficaz de los recursos físicos asignados para la implementación del programa.

Para evitar que las situaciones indicadas se presenten, se recomienda al MTC asegurar el cumplimiento de los siguientes aspectos que permitirían el éxito en la complementación del programa.

- Que la obra rehabilitada y mejorada (obra nueva), disponga de asignación de fondos y recursos físicos para su mantenimiento a partir del primer año de entrada en servicio y que prevean recursos físicos y económicos para encarar posibles obras de mantenimiento excepcional (avalanchas, huaycos, sismos, entre otros).
- Que el personal asignado para los trabajos del programa tenga un alto grado de experiencia en las operaciones de mantenimiento de la vía, para lo cual no se deben escatimar los costos de preparación, promoción y seguridad de empleo.
- Que los equipos mecánicos sean los adecuados para el tipo de trabajo a que están destinados, es decir, además de una total operatividad deben poseer gran movilidad, dimensiones y pesos adecuados. Debe recordarse que no necesariamente el equipo que es recomendable para construcción de una vía es bueno para su mantenimiento.

Si todas condiciones anteriores se cumplen, los programas para el mantenimiento de la vía serán exitosos.

5.3.3.0 CONTENIDO DEL PROGRAMA

El programa de mantenimiento vial se ha dividido en dos (02) tipos de actividades a realizar durante el tiempo que dure ésta.

- Mantenimiento Rutinario y
- Mantenimiento Periódico.

5.3.3.1 Mantenimiento Rutinario

El mantenimiento de una vía rehabilitada y mejorada, es decir una vía con características de nueva, como es el Tramo VI de la carretera Ilo – Desaguadero (ya que está ha sido dotada de todos los elementos como para así definirla), demandan un cierto número de operaciones frecuentes repetidas con el objeto de asegurar la preservación y buen funcionamiento de los distintos elementos o estructuras. En el presente caso el mantenimiento rutinario previsto es para una vía asfaltada o con tratamiento superficial bicapa y consiste primordialmente, en

reparaciones localizadas de la calzada, en asegurar el óptimo funcionamiento del sistema de drenaje, en la protección de los taludes y de los dispositivos de control y seguridad vial, en limpieza de derrumbes caídos sobre la plataforma y en general de la eliminación de cualquier causa de perturbación del normal tránsito vehicular en esta vía.

- Limpieza general de la calzada retirando piedras o cualquier obstáculo caído o colocado por terceros sobre ella. Esta actividad asegura que la condición superficial del pavimento se mantenga en un alto grado de eficiencia y el desgaste sea el previsto en los diseños.
- Bacheo de calzada mediante el parchado superficial o profundo de las zonas donde se localizaran deterioros o degradaciones del pavimento que de no ser tratados oportunamente pueden derivar en el colapso total del pavimento en dichas áreas. El parchado superficial se aplicará cuando se note que la degradación solo se presente en el nivel de carpeta de rodadura (pelados, disgregaciones, etc.). El parchado profundo se aplicará cuando la falla detectada comprometa a las capas inferiores del pavimento (fisuras profundas, ahuellamientos pronunciados, hundimientos, etc.).
- Consolidación y perfilado de taludes de corte y relleno. En el primer caso se eliminará el material suelto que amanecerá sobre la plataforma de vía e invadir la calzada y el segundo se verificará la necesidad de restituir las dimensiones de los rellenos y el estado de los taludes en caso de notarse problemas de compactación o pérdida de las dimensiones originales.
- Limpieza total de las cunetas laterales, zanjas de drenaje y de alcantarillas, y de los cauces que a ellas acceden. Este trabajo deberá realizarse constantemente y con mayor frecuencia en épocas de lluvias.
- Limpieza y mantenimiento de las obras de arte. En el caso de la superestructura del puente sobre el río Santa Rosa, que se deben mantener limpios los accesos, en buen estado la superficie de rodadura.
- Mantenimiento y repintados, de ser necesario, de las demarcaciones en el pavimento.
- Mantenimiento, limpieza, reposición de los tramos de guardavías, señalización vertical y cualquier otro tipo de elemento de seguridad vial.

5.3.3.2 Mantenimiento Periódico

La vía requerirá además del mantenimiento rutinario indicado, de renovaciones o refuerzos periódicos de sus componentes en lapsos del 1, 2, 3, 5 y 7 años. Para el presente caso y de

acuerdo a las características de la vía rehabilitada, se han considerado las siguientes acciones para el mantenimiento periódico.

Anualmente

- Reparación de los bordes de las bermas laterales para la protección de las cunetas revestidas.
- Limpieza de los cursos de agua sobre y bajo la ubicación de las alcantarillas, puentes o estructuras de cruce para asegurar la no presencia de embalses que puedan producir aniegos de la plataforma.
- Reparación o renovación de revestimientos de protección con piedra emboquillada.

Cada dos años

- Repintado de las líneas de demarcación en el pavimento.

Cada cinco años

- Repintado y colocación de una capa transparente en las señales verticales y reposición de las unidades dañadas o sustraídas.

Cada cuatro y siete años

- Sellado asfáltico en toda el área pavimentada que incluye bermas con tratamiento bicapa y repintado de la señalización horizontal.

5.3.4.0 COSTOS DEL PROGRAMA

El costo del mantenimiento de la vía ha sido determinado considerando que se destacara una cuadrilla y equipo mecánico base, incrementándose en periodos de lluvia; el costo del material a utilizar y los precios unitarios considerados están referidos al mes de enero del 2000.

Estos programas de mantenimiento de la vía pueden trabajarse bajo las modalidades de contrato o por administración. Según el Informe Final de Obra Tramo VI de la Supervisión Hidroservice-HOB del cuadro de resumen en general se puede ver que el costo total del

programa es de S/. 21 257 781.43 (incluido IGV) referidos al mes de enero del 2000, que representan aproximadamente un 34.79% del costo total de la rehabilitación y mejoramientos de la carretera. (costo total de rehabilitación y mejoramiento OBRA NUEVA = 61 103 137.19)

Del costo indicado S/. 11 630 691.24 corresponden al mantenimiento rutinario

S/. 10 627 090.19 corresponden al mantenimiento periódico

- i) COSTO TOTAL OBRA REHABILITADA Y MEJORADA = 32 565 211.53
Fuente: Estudio de Ingeniería Definitiva- Metrados Vol III, Mayo de 1,996
- ii) COSTO TOTAL OBRA REHABILITADA Y MEJORADA = 61 103 137.43
Fuente: Informe Final de Obra Hidroservice-HOB, Enero de 1,998
- ii) COSTO TOTAL DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO = 21 257 781.43
Fuente: Informe Final de Obra Hidroservice-HOB, Enero del 2,000

En resumen se puede decir que el costo total del Programa tiene las siguientes características:

• Costo total del programa	S/.	21 257 781.43
• Costo anual del programa	S/.	2 125 778.14
• Costo total por kilometro de carretera	S/.	51 696.56
• Costo anual por kilometro de carretera	S/.	4 299.71

En cuanto al Mantenimiento Rutinario, las características del costo son:

• Costo total del programa rutinario	S/.	11 630 691.24
• Costo anual del programa rutinario	S/.	1 163 069.12
• Costo total por kilometro de carretera	S/.	28 367.54
• Costo anual por kilometro de carretera	S/.	2 363.96

Se debe destacar que en los costos indicados no están incluidos probables costos por Mantenimiento excepcional.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VIAL PRESUPUESTO GENERAL

Año	Mantenimiento Rutinario			Mantenimiento Periodico					Total de Mantenimiento	
	Personal	Equipo	Total	Cada Año	Cada 2 Años	Cada 4 y 7 Años	Cada 5 Años	Cada 10 Años		Total
1	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28					648,021.28	1,633,673.08
2	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28	6,960.99				654,982.27	1,640,634.07
3	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28					648,021.28	1,633,673.08
4	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28	6,960.99	808,126.54			1,463,108.81	2,448,760.61
5	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28			13,640.07		661,661.35	1,647,313.15
6	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28	6,960.99				654,982.27	1,640,634.07
7	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28		808,126.54			1,456,147.82	2,441,799.62
8	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28	6,960.99				654,982.27	1,640,634.07
9	248,385.60	737,266.20	985,651.80	648,021.28					648,021.28	1,633,673.08
10	248,385.60	737,266.20	985,651.80					12,073,885.90	12,073,885.90	13,059,537.70
Sub Total	2,483,856.00	7,372,662.00	9,856,518.00	5,832,191.52	27,843.96	1,616,253.08	13,640.07	12,073,885.90	19,563,814.53	29,420,332.53
I.G.V	447,094.08	1,327,079.16	1,774,173.24	1,049,794.47	5,011.91	290,925.55	2,455.21	2,173,299.46	3,521,486.62	5,295,659.86
Total	2,930,950.08	8,699,741.16	11,630,691.24	6,881,985.99	32,855.87	1,907,178.63	16,095.28	14,247,185.36	23,085,301.15	34,715,992.39

Costo Anual de Mantenimiento	11,630,691.24	23,085,301.15	34,715,992.39
Costo Total por Kilometro	28,932.07	56,032.28	84,262.12
Costo Mensual por Kilometro	2,411.01	4,669.36	7,021.84

Nota: Los Calculos fueron tomados del Informe Final de Obra-Programa de Mantenimiento Vial de la Carretera Ilo-Desaguadero de la Supervision Asociacion Hidroservice-HOB Enero 2,000

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se expone las conclusiones y recomendaciones validas solo para el presente proyecto, las mismas que deberán ser tenidas en cuenta para asegurar una vida de la carretera tal como ha sido concebida.

CONCLUSIONES

- El resultado del programa Amospec utilizando parámetros del proyecto, el costo unitario del pavimento sin geotextil tipo B es \$7.78 por m² y el costo unitario por m² del geotextil tipo B Amoco (1.6 mm) CEF 4551 es \$2.68, da como resultado un costo total unitario del pavimento de \$10.46 por m². Utilizando geotextil tipo B Pavco (2.4 mm) NT 3000 el costo unitario del pavimento es \$11.64 por m². La diferencia de precios es el espesor nominal de cada producto.
- El programa Amospec nos muestra el costo por m² del diseño del pavimento pero en la comparación solo considera el costo de los materiales de construcción (agregado y geotextil) con la posibilidad de usar o no geotextiles.
- El geotextil tipo A no se utilizo estructuralmente, se uso en los subtramos críticos como función primaria para prevenir el deterioro del revestimiento asfáltico por agrietamiento térmico.
- De los estudios de factibilidad, los subtramos críticos en el tramo VI consta de problemas de nivel freático 1.5 km, filtraciones a media ladera 0.3 km y suelos desfavorables 3.0 km con un total de terrenos críticos de 4.8 km. Entonces solamente se hubiesen utilizados terraplenes o geotextil tipo B en 5 km y colocar cunetas revestidas en ambos lados de la carretera, pero se utilizaron terraplén en todo el tramo VI (40 km) aumentando los costos.

RECOMENDACIONES

- El mantenimiento vial debe ser ejecutado a diario y se deberá mantener el transito por la via permanentemente, aun cuando se estén ejecutando las obras de mantenimiento.
- Se informará todos los meses y anualmente sobre el comportamiento de la carretera y la demanda de trabajos para su total operatividad, al recibir del contratista la obra a la

recepción de obra se entrega a SINMAC que se hará cargo del mantenimiento de la vía. Esto con la finalidad que no existan periodos sin responsables de esta actividad.

- El personal encargado del mantenimiento debe contar con los recursos físicos que se han indicado en este informe y con todos los dispositivos de seguridad necesarios para el buen cumplimiento de sus funciones.
- Que el personal asignado para los trabajos del programa tenga un alto grado de experiencia en las operaciones de mantenimiento de la vía, para lo cual no se deben escatimar los costos de preparación, promoción y seguridad de empleo.
- Deberá hacerse respetar el derecho de la vía totalmente, es decir por ningún motivo podrá instalarse personas, viviendas, etc. dentro de ésta, que estará bajo la responsabilidad del equipo de mantenimiento el control de la prohibición de construcción de cercos, tapias, casas, acequias, etc. dentro del derecho de la vía de la carretera.
- Se reprimirán los aniegos en la carretera.
- Se llevará una estadística de vehículos de pasajeros y carga con la finalidad de evitar que se sobrepasen las cargas permisibles en la carretera. Aun cuando el proyecto ha sido concluido, se recomienda la implementación de Estaciones de control de carga por lo menos al inicio del tramo, igualmente se recomienda normar las sanciones a los infractores.
- Llevar estadísticas del aumento del tráfico en épocas festivas por aumento del turismo. Se espera que la carretera al estar totalmente mejorada atraiga mayor tráfico hacia y desde Bolivia y zonas aledañas.
- Llevar un registro de los accidentes ocurridos en la carretera identificando las causales para luego ver si estos se deben a defectos del trazo o simplemente a la irresponsabilidad de los conductores.
- Se recomienda como campamento la Residencia de Mantenimiento el lugar denominado Santa Rosa kilometro 286+120 donde se ubicó anteriormente el campamento del contratista puesto que este se encuentra ubicado en las proximidades del tramo y que existen facilidades para acondicionar las diferentes instalaciones de almacenes, talleres de los vehículos y equipo mecánico que brindara el mantenimiento de la vía.
- Pedir que las Facultades de Ingeniería Civil del país, intervengan en el proceso de recepción y seguimiento del comportamiento estructural de los Pavimentos que se construyen o rehabilitan con financiamiento del Estado o crédito de la Banca Internacional.

- Al término de los 10 años de servicio o cuando la condición general del pavimento lo requiera, deberá procederse a la evaluación estructural para establecer y diseñar la labor de rehabilitación que este pavimento requiera, para prolongar el período útil de esta vía.
- La alternativa para prolongar la vida útil del pavimento construido en la carretera Ilo-Desaguadero y en otras carreteras es cumplir con el costo del programa de mantenimiento de 37.79% del costo total de la rehabilitación y mejoramientos o incrementar en un 50%. Para ello es necesario entregar a una concesión el mantenimiento de la carretera.
- El ahorro al substituir capas de material seleccionado por un geotextil tipo B es muy grande. En el contexto colombiano, un estudio demostró que la solución del T.S.G es muy competitiva para distancias de transporte de agregados mayores de 30 km.
- Los geotextiles tipo B nos dan la oportunidad de solucionar problemas de suelos de baja capacidad portante, suelos de terreno de fundación blandas, ya que reduce la magnitud de los asentamientos y evita la contaminación del material agregado con los del subsuelo, pudiendo construirse una estructura de una sección transversal homogénea y de espesor mínimo. Todo esto con inversiones iniciales bajas y mantenimientos mínimos.
- Debe tenerse presente que el geotextil tipo A no elimina la posibilidad de que el pavimento se agriete, sin embargo actúa eficientemente retardando el agrietamiento térmico y reduciendo su severidad. Además constituye una eficiente capa impermeable que impide la intrusión de agua a través del revestimiento asfáltico los deterioros posteriores a la saturación del pavimento y el terreno de fundación.
- Estudios de campo han demostrado que los geotextiles tipo A reduce sustancialmente el agrietamiento reflectante. Varios estudios de investigación han encontrado que el sistema, cuando el geotextil se coloca entre Revestimiento de Concreto Asfáltico y la base imprimada de ligante asfáltico equivale de 2.5 cm a 3 cm de Revestimiento de Concreto Asfáltico adicional en el retardo de las grietas reflectantes.
- El agua que se encuentra debajo del pavimento deteriora su capacidad estructural. Un aumento del contenido de humedad en el terreno de fundación de solo un 10% puede reducir la vida útil del pavimento en un 50%. Gran parte de esta agua entra por las grietas y poros del pavimento. El sistema forma una barrera contra la humedad dentro del pavimento para impedir la penetración del exceso de agua a la sección de carretera y reducir la capacidad estructural.

- En estudios de campo a largo plazo del rendimiento de carreteras, el sistema ha probado aumentar la vida útil en 25 a 50% para las sobrecapas de revestimiento de concreto asfáltico en pavimento asfáltico. El sistema también es eficaz en prolongar la duración del cemento de concreto portland y pavimento de agregados.
- La construcción de los terraplenes muestra un probable mecanismo de falla, estableciéndose que debido a las continuas cargas pesadas de tráfico y a la surgencia de agua desde el nivel freático han fallado los taludes extremos del relleno, originando grietas profundas que dan inicio a superficies de deslizamiento que se originan en la coronación del relleno para arrastrar en sentido horizontal todos los elementos que se encuentran cimentados sobre la masa en movimiento. La posible solución o alternativa es la colocación del geotextil tipo B entre el terreno de fundación y el relleno de esta manera evitar la surgencia de agua del nivel freático que se encuentra a 0.70 - 1.40 m de profundidad
- El costo actual de los geotextiles es elevado en buena parte a que es un producto importado, ya que existen monopolios por parte de empresas que manejan estos productos que no dan alternativa a las competencias ya que ello podría reducir su costo.
- Para decidir sobre la aplicación de los geosintéticos, es necesario tener en cuenta el tipo de pavimento, tránsito, clima, tipo de ligante, así como las características de las sobrecargas ya que los geosintéticos se adecuan en zonas desfavorables.
- En nuestro país, el uso de los geotextiles se hacen necesario en:
 - a. Planicies costeras, donde existen zonas de pantano y arcillas altamente compresibles
 - b. En la región natural denominada “selva baja” donde el clima es de tipo ecuatorial o tipo monzonico donde el soporte de los suelos en estado húmedo es bajo.
- El deficiente comportamiento de los geotextiles es motivado en ocasiones por el uso inadecuado de este y deficientes procedimientos constructivos, por lo que es recomendable analizar los materiales a utilizar y las condiciones climáticas para definir si su uso será exitoso y asimismo mejorar la calidad de construcción.
- Fomentar la investigación el desarrollo de nuevos productos de Geosintéticos, así como incentivar la instalación de plantas de producción en nuestro país, ya que se puede decir que los geosintéticos en el mundo están en plena juventud.

ANEXOS

ANEXO A

GUIA PARA ESPECIFICAR TELAS DE PAVIMENTACIÓN TIPO A

1.0 DESCRIPCIÓN

El trabajo consiste en el suministro y colocación de una tela de pavimentación debajo de una nueva carpeta asfáltica o entre las capas del pavimento con el propósito de incorporar una membrana flexible e impermeabilizadora que reduzca los esfuerzos existentes en la estructura del pavimento y retarde la propagación de las grietas producidas por flexión.

2.0 REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

2.1 Telas de Pavimentación

La tela de pavimentación será un material no tejido que consistirá de por lo menos 85 por ciento en peso de fibras sintéticas (polipropileno, poliéster, etc.). La tela de pavimentación deberá ser resistente al ataque químico, moho y al deterioro; y deberá estar libre de desgarres o defectos los cuales alteren adversamente sus propiedades físicas. La tela deberá ser específicamente diseñada para aplicaciones de pavimentación y fusionada por calor por un solo lado para reducir el sangrado ó exudado del riego de liga asfáltica durante la instalación. Los rollos deberán cumplir con los requerimientos de especificaciones técnicas proporcionados en las tablas A-1, A-2. Las telas de pavimentación para trabajos pesados deberán ser usadas en áreas que experimenten en forma extraordinaria fuerzas de altos impactos ó cargas pesadas como en autopistas principales y pista de aterrizaje y accesos a los terminales de aeropuertos.

2.2 Riego de Liga Asfáltica

El material usado para impregnar la tela y unirla al pavimento deberá ser un asfalto de grado de pavimentación recomendado por el ingeniero. Una emulsión catiónica o aniónica puede ser usada con la aprobación del ingeniero. No se deberán usar mezclas diluidas ó emulsiones que contengan solventes.

3.0 EQUIPOS

3.1 Distribuidor del Asfalto

El distribuidor del asfalto debe ser capaz de colocar el riego de liga asfáltica en el porcentaje de aplicación especificado en forma uniforme. No se debe permitir que haya huellas ó goteo. El distribuidor debe estar equipado con un rociador manual que tenga una sola boquilla y una válvula de disparo.

3.2 Equipo de Instalación de la Tela

El equipo de colocación mecánico ó manual debe ser capaz de colocar la tela en forma uniforme y sin pliegues ó dobleces.

3.3 Equipo Misceláneo

Se deben suministrar escobas de cerdas duras ó barredoras de goma, tijeras ó cuchillas para cortar la tela, y cepillos para aplicar el riego de liga asfáltica en las telas.

El equipo mecánico de rodillos para aplanar la tela en el riego de liga, así como el equipo de distribución de arena también pueden ser necesarios. El equipo de aplanación se requiere especialmente en trabajos en los cuales se están colocando capas delgadas ó selladores para emparejamiento. La aplanación ayuda a asegurar que la tela se junte con las capas de pavimento; cuando la temperatura ambiental es muy baja, debe tenerse especial cuidado en el aplanamiento de la tela, con la unión del riego de liga asfáltica.

4.0 REQUERIMIENTO DE CONSTRUCCION E INSTALACIÓN

4.1 Empaque y Almacenamiento

La tela de pavimentación deberá mantenerse seca y envuelta de manera que se proteja de los elementos durante el traslado y almacenamiento. En ningún momento la tela de pavimentación deberá exponerse a la luz ultravioleta por un período que exceda los catorce días. Los rollos de tela de pavimentación deberán ser almacenados de una manera que se protejan de los elementos. Si se almacenan al aire libre, estos deberán estar elevados y protegidos con una cubierta impermeable. La tela de pavimentación deberá estar etiquetada según ASTM D 4873, “Guía para la identificación, Almacenamiento y Manejo de Geotextiles”.

4.2 Limitaciones Ambientales

Las temperaturas mínimas del aire y del pavimento deberán ser cuando menos de 50°F (10°C) e incrementándose cuando se utilice una emulsión asfáltica. Ni el riego de liga asfáltica ni la tela de pavimentación deberá ser colocado cuando las condiciones ambientales, en opinión del ingeniero, no sean adecuadas.

4.3 Preparación de la Superficie

La superficie de pavimentación debe estar razonablemente limpia de polvo, agua, aceite, vegetación, ó de otros escombros. Las grietas de más de 1/8 de pulgada (3mm.) deberán limpiarse y llenarse con un material de relleno adecuado ó por un método aprobado por el ingeniero. El material de relleno de las grietas deberá dejarse curar antes de la colocación de la tela de pavimentación. Los baches y otras descomposturas del pavimento deberán ser reparadas. Las reparaciones deberán ser ejecutadas de acuerdo con las indicaciones del ingeniero.

Si las condiciones del pavimento existente es tal que una simple operación de relleno de grietas no es suficiente para la preparación de la superficie, entonces puede ser más económico colocar una capa de nivelación antes de colocar la tela de pavimentación, de acuerdo con las instrucciones del ingeniero.

4.4 Aplicación del Riego de Liga

El riego de liga deberá ser aplicado por medio de una barra rociadora de distribución calibrada y uniforme. El esparcido y cepillado manual pueden ser usados en areas donde no se puede llegar con el camión distribuidor ó en el traslape de la tela. Se deberá hacer todo esfuerzo para mantener el esparcido manual al mínimo. El riego de liga deberá ser aplicado uniformemente ala superficie de pavimento seco preparado a una proporción de 0.20 a 0.30 gal/yd² (0.9 a 1.36 lt/m²) ó según la recomendación del proveedor de la tela de pavimentación y la aprobación del ingeniero. Cuando son instaladas telas para trabajos pesados, la proporción de aplicación para el riego de liga deberá incrementarse a 0.30 a 0.40 gal/yd² (1.36 a 1.8 lt/m²) ó según la recomendación del proveedor de la tela de pavimentación y la aprobación del ingeniero. Cuando se unen emulsiones, la proporción de aplicación deberá ser incrementada según indique el ingeniero par contrarrestar la cantidad de agua de la emulsión. En intersección de calles y zonas donde la velocidad de los vehículos cambia frecuentemente, la proporción de aplicación deberá ser reducidas un 20% según

indique el ingeniero pero no deberá ser menor de 0.20 gal/yd² (0.9 lt/m²) ó 0.30 gal/yd² (1.36 lt/m²) para la tela de pavimentación de trabajos pesados. La proporción de aplicación del riego de liga deberá ser suficiente para saturar la tela y unirla a la superficie de pavimento existente.

La temperatura de riego de liga asfáltica deberá ser suficientemente alta para que permita una aplicación uniforme. Para cementos asfálticos, la temperatura mínima deberá ser de 290°F (143°C). La temperatura de riego de liga asfáltica en los tanques de distribución no deberá exceder de 325°F (163°C). Para emulsiones asfálticas la temperatura de los tanques de distribución deberá mantenerse entre 130°F (54°C) Y 160°F (71°C).

Se deberá buscar que el ancho de la aplicación del riego de liga sea igual al ancho de la tela de pavimentación más 6 pulgadas (15 cm). el riego de liga asfáltica deberá ser aplicado con la anticipación necesaria para asegurar una superficie pegajosa en el momento de colocar la tela de pavimentación. No deberá ser permitido el tránsito de los vehículos sobre el riego de liga. El exceso del riego de liga deberá ser removido del pavimento.

4.5 Colocación de la Tela de Pavimentación

La tela de pavimentación deberá ser colocada sobre el riego de liga usando un equipo mecánico ó manual de colocación capaz de proveer una instalación lisa con un mínimo contenido de arrugas ó dobleces. La tela de pavimentación deberá ser colocada antes de que el riego de liga se enfríe ó deje de estar pegajosa. La tela de pavimentación no deberá ser instalada en áreas donde la nueva carpeta asfáltica se reduzca a un espesor menor de 1.5 pulgadas (3.8cm). el exceso de tela de pavimentación que se extienda más allá del filo del pavimento existente ó de las áreas de aplicación de la capa ligante deberán ser cortadas y removidas.

Cuando son usadas emulsiones, éstas se deberán dejar curar adecuadamente de tal forma que prácticamente no quede la humedad antes de colocar la tela de pavimentación. Arrugas ó dobleces que excedan de una pulgada (2.5 cm) deberán ser cortadas y colocadas horizontalmente. Todas las juntas transversales y dobleces ó arrugas cortadas deberán ser sobrepuestos en dirección de la operación de pavimentación. El barrido ó el uso de rodillos neumáticos será requerido para maximizar el contacto de la tela de pavimentación con la superficie del pavimento. Colocación adicional del riego de liga podrá ser requerida en

curvas y reparaciones según las determine el ingeniero y se satisfaga la retención de la tela de pavimentación curva. Todas las áreas con tela de pavimentación deberán ser pavimentadas el mismo día. No se deberá permitir el tránsito sobre la tela de pavimentación con excepción del equipo de construcción necesario.

Para detener el equipo de pavimentación y otros vehículos deberá hacerse gradualmente y mantenerse al mínimo para evitar el movimiento de la tela de pavimentación. Arranques y paradas bruscas deberán ser evitados. La tela dañada deberá ser removida y sustituida con el mismo tipo de tela. Los traslapes deberán ser sobrepuestos en la dirección de pavimentación. Un riego de liga adicional deberá ser colocado entre los traslapes hasta satisfacer los requerimientos de saturación de la tela. Los traslapes deberán ser suficientes que aseguren cubrir completamente la unión pero no exceder de 6 pulgadas (15 cm).

4.6 Colocación del Revestimiento Asfáltico

La construcción del nuevo revestimiento asfáltico deberá hacerse inmediatamente después de la colocación de la tela. Todas las áreas donde se ha colocado la tela de pavimentación deberán ser pavimentadas durante el mismo día. La temperatura de la mezcla asfáltica no deberá exceder 325°F (163°C). En el caso de un exceso de riego de liga asfáltica a través de la tela, el mismo deberá ser removido. El exceso de riego de liga puede ser removido difundiendo mezcla caliente ó arena sobre la tela. El exceso de arena deberá ser removido antes de comenzar la operación de pavimentación. En el caso de que llueva sobre la tela de pavimentación antes de la colocación de la sobrecapa de asfalto, se deberá dejar secar completamente la tela de pavimentación antes de colocar el asfalto. El espesor del nuevo revestimiento asfáltico deberá cumplir con los requerimientos indicados en los planos y documentos del contratista. El espesor del revestimiento asfáltico no deberá ser menor de 1.5 pulgadas (3.8 cm) en las áreas de instalación sobre la tela de pavimentación.

5.0 METODOS DE MEDICIÓN

5.1 Tela de Pavimentación

La tela de pavimentación deberá ser medida por yardas (metros) cuadrados

5.2 Riego de Liga Asfáltica

La capa ligante deberá ser medida por galones (litros).

Notas:

- 1 La retención asfáltica debe ser suministrada en la certificación del fabricante para su producto en específico. La retención asfáltica del producto debe cumplir con el valor certificado por el fabricante del producto. Este valor no indica la velocidad y cantidad de aplicación del riego de liga asfáltico requerido en la construcción.
- 2 Todos los valores numéricos representan promedios mínimos de rollos (el promedio de los resultados de pruebas de cualquier rollo muestreado en un lote deberá cumplir o exceder estos los valores) en la dirección principal más débil. Los lotes deberán ser muestreados de acuerdo con ASTM 4354, “Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing” (prácticas para muestreo de geotextiles para pruebas).
- 3 El cumplimiento de los requerimientos propios de especificación de las telas de pavimentación deberá estar determinado por el ASTM D 4759, “Practice for Determining Conformance of Geosynthetics for Testing” (prácticas para la determinación del cumplimiento de los geotextiles).

TABLA A-1 GEOTEXILES TEJIDOS DE POLIPROPILENO ESTABILIZADO

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ROLLO																		
PROPIEDADES	METODO DE ENSAYO	UNIDAD	1198		1199		2000		2002		2006		2016		2019		2044	
FISICA																		
Resistencia a la Tracción "Grab" (L/T)	ASTM-D-4632	N	1700/1020		1720/1200		710		1070		1560		1500/1600		1850/1800		2900/2550	
Elongación a la Tracción "Grab"	ASTM-D-4632	%	18		20		20		15		15		15		20		20	
Resistencia a la Tracción "Muestra Ancha" (T)	ASTM-D-4595	kN/m							27		40		40				80	
Elongación "Muestra Ancha" (L/T)	ASTM-D-4595	%							20/15		30/15		20/20				25/15	
Resistencia al Reventado "Mullen"	ASTM-D-3786	kPa	3400		3900		2500		3700		5600		4500		6100		9900	
Resistencia a la Perforación	ASTM-D-4833	N	560		620		330		510		750		710		910		1100	
Resistencia al Desgarre Trapezoidal	ASTM-D-4533	N	400		360		380		440		610		680		500		1370	
Resistencia a los Rayos Ultravioletas	ASTM-D-4355	%@_hrs	90/500		90/500		70/500		70/500		70/500		80/500		90/500		80/500	
HIDRAULICAS																		
Permisividad	ASTM-D-4491	sec ⁻¹	0.5		0.6		0.5		0.25		0.15		1.1		0.4		0.6	
Flujo de Agua	ASTM-D-4491	l/sec/m ²	35		27		22		12		6		45		15		25	
Abertura Aparente de Poros (AOS)	ASTM-D-4751	mm	0.425		0.150		0.600		0.300		0.212		0.425		0.212		0.300	
EMPAQUE																		
Ancho del Rollo		m	1.83	3.66	1.83	3.66	3.81	5.49	3.81	5.49	3.81	5.49	4.57		4.57		5.49	
Largo del Rollo		m	137.2	68.6	137.2	68.6	153.7	107	153.7	107	110	76.8	91.5		91.5		45.75	
Peso Bruto		kg.	64		64		64		100		100		114		120		114	
Area		m ²	250.8		250.8		585.3	587	585.3	587	418	421.4	418		418		250.8	

(L) = Dirección Longitudinal; (T) = Dirección Transversal.

Los datos presentados aquí se suministran solamente como información y de ninguna manera modifica, rectifica, aumenta o crea ninguna garantía. Nada de lo contenido aquí debe tomarse como permiso recomendación para usurpar cualquier patente. Los valores presentados corresponden a promedios estadísticos de datos obtenidos en nuestros laboratorios de control de calidad. Estos datos pueden cambiar en cualquier momento sin notificación previa.

TABLA A-2 GEOTEXILES NO TEJIDOS DE POLIPROPILENO ESTABILIZADO

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ROLLO																
PROPIEDADES	METODO DE ENSAYO	UNIDAD	4535	4545	4546	4550	4551	4552	4553	4510	4512	4514	4516	4598	4599	
FISICA																
Peso Nominal	ASTM D-5261	g/m ²	120	135	150	180	220	260	300	380	450	520	600	150	135	
Espesor Nominal	ASTM D-5199	mm	1.0	1.1	1.1	1.4	1.6	2.4	2.6	3.8	4.4	4.8	5.4	1.1	1.0	
Resistencia a la Tracción "Grab" (L/T)	ASTM D-4632	N	445/550	480/600	510/640	650/850	800/1000	940/1200	1075/1300	1330/1700	1640/2040	1780/2300	2100/2570	510/620	480/570	
Elongación a la Tracción "Grab"	ASTM D-4632	%	>65	>65	>65	>65	>65	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>60	>60	
Resistencia a la Tracción "Muestra Ancha" (T)	ASTM D-4595	kN/m					12	18	25	28	34	38	42			
Elongación "Muestra Ancha"	ASTM D-4595	%					>40	>40	>40	>40	>40	>40	>40			
Resistencia al Reventado "Mullen"	ASTM D-3786	kPa	1380	1510	1650	2200	2410	3100	3440	4600	5500	6200	6900	1700	1620	
Resistencia a la Perforación	ASTM D-4833	N	265	285	340	420	500	710	770	1000	1200	1335	1450	320	300	
Resistencia al Desgarre Trapezoidal	ASTM D-4533	N	175	200	235	290	350	450	510	660	800	890	1000	230	200	
Resistencia a los Rayos Ultravioleta	ASTM D-4355	%@hrs	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	
Retención Asfáltica	TX DOT 3099	l/m ²												1.1	1.0	
HIDRAULICA																
Permeabilidad Normal	ASTM D-4491	cm/sec	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5			
Permisividad	ASTM D-4491	sec ⁻¹	3.4	3.2	3.0	2.6	2.2	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1			
Flujo de Agua	ASTM D-4491	l/sec/m ²	180	170	160	140	135	130	125	100	75	70	65			
Abertura Aparente de Poros (AOS)	ASTM D-4751	mm	.212	.212	.212	.212	.150	.150	.150	.150	.150	.150	.150			
EMPAQUE																
Ancho del Rollo		m	3.81	4.57	3.81	4.57	3.81	4.57	3.81	4.57	3.81	4.57	3.81	4.57	3.81	4.57
Largo del Rollo		m	109.7	91.5	109.7	91.5	109.7	91.5	109.7	91.5	87.8	73.2	65.8	54.9	60.4	50.3
Peso Bruto		kg	52	60	70	82	100	114	104	98	107	90	105	65	60	
Area		m ²	418	418	418	418	418	418	334.5	250.8	230	167.2	167.2	418	418	

(L) = Dirección Longitudinal; (T) = Dirección Transversal.

© Petromat es una marca registrada para las telas de pavimentación fabricadas por Amoco Fabrics and Fibers Company.

Los datos presentados aquí se suministran solamente como información y de ninguna manera modifica, rectifica, aumenta o crea ninguna garantía. Nada de lo contenido aquí debe tomarse como permiso o como recomendación para usurpar cualquier patente. Los valores presentados corresponden a promedios estadísticos de datos obtenidos en nuestros laboratorios de control de calidad. Estos datos pueden cambiar en cualquier momento sin notificación previa.

ANEXO B

ENSAYO A LA TRACCIÓN PARA GEOTEXTILES

Qué métodos de ensayo son usados para evaluar la Resistencia a la Tracción del geotextil?

Hay tres métodos de ensayo aceptados que indican la Resistencia a la Tracción de los geotextiles. Estos son: el Ensayo a la Tracción o “Grab”, Ensayo a la Tracción de Muestra Ancha “wide-width”, y Ensayo de Elongación o “creep”. La designación ASTM y el tamaño de la muestra para cada ensayo se muestran en la tabla B-1.

Hay otros métodos de ensayo de textil aplicables a los geotextiles?

TABLA B-1. ENSAYOS A LA TRACCIÓN DEL GEOTEXTIL

PROPIEDAD	STANDARD	TAMAÑO MUESTRA
Resistencia a la Tracción “Grab”	ASTM D 4632	4” * 8” (jaw: 1” * 2”)
Resistencia a la Tracción “Muestra Ancha”	ASTM D 4595	8” * 8” (jaw: 8” * 2”)
Resistencia a la Tracción “Creep”	ASTM D 5262	8” * 8” (jaw: 8” * 2”)

La industria textil en los Estados Unidos tiene 200 años de antigüedad y producen una variedad de productos, desde paños desechables hasta telas y tejidos. Como resultado, hay varios métodos de ensayo standard, para la evaluación de la resistencia a la tracción de diferentes tipos de textiles. Sin embargo, estos ensayos standard no se desarrolló con el uso específico de los geotextiles sino más bien en la industria textil en general. Por consiguiente, éstos métodos de ensayo no proporcionan resultados apropiados para las aplicaciones a los geotextiles o comparable a los resultados obtenidos aceptados con los ensayos standard de los geotextiles.

Por ejemplo, ASTM D 1682 es un método usado es el Ensayo a la Tracción (grab) usado dentro de la industria del textil general. Este ensayo se aplicó a los geotextiles hasta que se

desarrollo el ASTM D 4632, que se diseñó específicamente para geotextiles. ASTM D 4632 ahora acepta los ensayos standard de los geotextiles para la resistencia a la tracción (grab) y siempre deben especificarse en lugar de ASTM D 1682.

Los fabricantes de geotextiles supervisan la resistencia a la tracción de sus productos que usan industria con métodos standard establecida por ASTM comité D-35 en geosintéticos. Estas normas se listan en la tabla B-1. Los fabricantes están por consiguiente imposibilitados de certificar que sus productos proporcionen propiedades de fuerza determinadas por otros métodos. Por estas razones se recomienda que sólo los ensayos que se desarrollan específicamente para los geotextiles deben ser especificados.

Cuáles son las diferencias entre los tres procedimientos de ensayo de los geotextiles?.

Los tres procedimientos de ensayos de tensión del geotextil varían con el tiempo para realizar cada ensayo, qué bien los ensayos miden la verdadera resistencia a la tracción, y la forma de los resultados de ensayo.

Ensayo de Resistencia a la Tracción (Grab)

El ensayo de tracción (grab) ASTM D 4632 proporciona un índice de fuerza última de falla de la muestra. Los resultados del ensayo se expresan en unidades de carga N (pounds) en lugar de términos de carga por unidad de ancho. El ensayo es fácil de realizar, cómodo, y rápido, tomando sólo minutos de tiempo para terminar. De 40 a 60 muestras se pueden ensayarse en una hora.

Como tal, el ensayo de resistencia es un índice excelente para verificar la calidad de los productos de acuerdo con las características técnicas especificadas del fabricante durante el control de calidad de la obra.

Ensayo de Resistencia a la Tracción (Muestra Ancha)

El ensayo a la tracción de muestra ancha ASTM D 4595 toma mucho más tiempo para terminar y es una prueba mucho más costosa. Aproximadamente 5 a 15 ensayos de tensión de muestra ancha se pueden realizarse en una hora. Al contrario del ensayo a la tracción

(grab), los resultados de fuerza de muestra ancha se expresan como una carga por unidad de ancho. Por ejemplo, tejido amoco polipropileno 2006 de muestra ancha tiene una resistencia a la tracción de 175 lb/pulg. mientras que la resistencia a la tracción grab es reportado simplemente 300 lb.

El ensayo de resistencia a la tracción de muestra ancha es raramente usado para las aplicaciones de control de calidad debido al tiempo y el gasto que involucra. Sin embargo, el ensayo de muestra ancha proporciona una medida de mejor calidad de resistencia a la tracción verdadera. Los datos del ensayo se presentan en una curva del esfuerzo-elongación, donde el módulo de elasticidad puede ser calculado (el módulo de elasticidad es la inclinación de la curva del esfuerzo-elongación). La fuerza ultima de muestra ancha y el valor del módulo puede ser usado para el diseño. Dependiendo de la aplicación, los resultados del ensayo de elongación o creep también pueden ser requeridos.

Ensayo de Resistencia a la Tracción (Creep)

El ensayo de elongación ASTM D 5262 se puede efectuar manteniendo una carga sobre el ensayo muestra ancha una carga constante de 10,000 horas (417 días). La deformación (creep) o elongación de la muestra es supervisada sobre el periodo de ensayo. De estos resultados, el límite de elongación puede determinarse. Ésta es la carga, expresado como un porcentaje la resistencia a la tensión última, de la relación de elongación con el tiempo, se aproxima a cero (por ejemplo, la elongación versus el tiempo se acerca a la curva de una asintota).

¿Para qué aplicaciones de ingeniería civil debe ser especificada cada método de ensayo?

La aplicación de los varios métodos de ensayo a la tensión se resumen en la tabla B-2. El ensayo de resistencia a la tracción (grab) es especificado apropiadamente en la aplicación donde la fuerza tensión aplicada no puede cuantificarse y la proximidad para seleccionar la resistencia a la tensión del geotextil requerido es por consiguiente empírico. Esta carretera incluye, filtración/drenaje, y aplicaciones de control de la erosion. El ensayo de resistencia a la tracción (grab) también es un excelente método para el control de calidad de la construcción de todas las aplicaciones.

En aplicaciones donde los geotextiles están en tensión continua a largo plazo, la tensión de elongación es crítica. En estos casos, la fuerza ultima de muestra ancha debe especificarse junto con el deslizamiento límite. Como se muestra en la tabla B-2, esto incluiría muros de sostenimiento y talud inclinado.

En terraplenes construidos sobre suelos blandos, el esfuerzo de tensión de los geotextiles puede disminuir con el tiempo, al mismo tiempo se consolidan los suelos de la subrasante. La tensión a la elongación en este caso no es un parámetro de diseño aplicable. Para esta aplicación, el módulo de muestra ancha debe especificarse a una tensión particular. En el diseño, la elongación del geotextil se limita a ser compatible con el desarrollo de la deformación de la masa del suelo. Este valor es típicamente 5% de elongación o, para los suelos sensibles, 2% de elongación.

TABLA B-2 APLICABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS DE TRACCIÓN

▲ = Ensayo de Control de Calidad ● = Usar por Especificaciones	Resistencia a la Tracción (Grab)	Resistencia a la Tracción Última (Muestra Ancha)	Módulo de Muestra Ancha	Resistencia a la Tracción (Creep)
Caminos Pavimentados	▲ ●			
Muros de Contención	▲	●		●
Talud Inclinados, Acantilados	▲	●		●
Terraplenes sobre Suelos blandos	▲		●	
Filtración/Drenaje	▲ ●			
Control de la Erosión	▲ ●			

ANEXO C

GUIA PARA DETECTAR FALLAS EN LOS GEOTEXTILES

A. PLIGUES

Los pliegues pueden formarse durante la colocación del geotextil. Las causas influyen cuando no hay regulación de los frenos de rollo en el equipo laydown, cuando hay giros bruscos del laydown y la maniobrabilidad del equipo sobre el geotextil. Los pliegues que resultan deben ser reparadas como se muestra en la figura C-1.

Generalmente los pliegues con más de 2.5 cm. de alto, Estos deben ser cortados y colocados en una forma plana en la dirección de la pavimentación. Un riego de liga extra debe ser aplicada en la posición del recubrimiento. Los pliegues menores de 2.5 cm. de alto generalmente no son un problema y pueden ser dejados en el lugar, figura C-1.

B. COLOCACION DEL GEOTEXTIL CON LAYDOWN

En tiempos de calor, la colocación del geotextil puede realizarse. El geotextil diseñado con un lado cubierta de pelusa y el otro lado liso fusionado por calor, este debe instalarse con el lado liso fusionado por calor hacia arriba hasta limitar el potencial para que los camiones coloquen la tela. Si el problema de pliegues persiste, colocar una camada de arena o mezcla caliente sobre la tela. Asegúrese de terminar cualquier barrido de exceso de arena antes que se coloque el revestimiento de concreto asfáltico. La cantidad de riego de liga no debe ser reducida para remediar esta condición, al menos que exceda la tasa de aplicación prescrita anteriormente.

También esto es posible para ir a un grado más alto del material del ligante asfáltico, tal como un AR-4000 a un AR-8000 o superior para reducir este problema. Esto reduce la infiltración de asfalto a través del geotextil y evita el pegamento de las llantas del equipo.

C. BLISTERS

Los blisters pueden formarse debajo del geotextil antes de la construcción del revestimiento si el pavimento es saturado con agua. Esto debe ser corregido antes que se coloque el revestimiento, o puede causar un encalaminado en el revestimiento. Los blisters pueden ser tratados laminando el geotextil con un rodillo neumático hasta que la tela se adhiere a la superficie del pavimento. Si se sospecha que la subrasante está completamente saturada, puede ser necesario instalar un drenaje.

D. EXCESO DE RIEGO DE LIGA

El sangrado de un lado a otro ocurre cuando hay exceso del material de riego de liga que se filtra a través del revestimiento de concreto asfáltico hacia la superficie. Esto puede suceder incluso cuando son usados revestimientos espesores relativamente grandes. El sangrado de un lado a otro puede suavizar la mezcla y causar un ahuellamiento y desplazamiento del revestimiento.

El sangrado puede ocurrir donde hay arranques y paradas fuertes del camión distribuidor, dejando puntos gruesos sobre el riego de liga. Una regulación inadecuada de la varilla del rociador puede dejar filones abundantes de riego de liga, que también pueden causar el sangrado de un lugar a otro. Durante la aplicación del riego de liga, revisar la regulación del equipo y mantener en movimiento el camión distribuidor reduciendo en el arranque y en la parada. Utilice una barredora de goma para extender cualquier exceso de riego de liga antes que el ligante se consolide. Alternativamente, secar los puntos de abundante riego de liga usando arena seca. Esparcir la arena sobre los puntos abundantes y luego barrer el exceso hacia fuera.

E. DELAMINACIÓN O DESPLAZAMIENTO DEL REVESTIMIENTO

Históricamente, la delaminación o desplazamiento del revestimiento es la principal causa de falla de servicio del pavimento que contienen geotextiles. La principal causa de la delaminación del revestimiento o desplazamiento es la insuficiente riego de liga. Si el riego de liga es demasiado ligero para saturar el geotextil y pegarlo al pavimento, allí se formara

una capa seca en la interfaz del pavimento /geotextil. En casos extremos, el revestimiento puede literalmente desprenderse fuera del pavimento viejo. Es crítico revisar y verificar la uniformidad y cantidad del rociador del riego de liga del distribuidor en el inicio del trabajo, en los intervalos de todas las partes de la operación. También se asegurará el geotextil y el pavimento estén seco durante la construcción y antes de la fijación del revestimiento.

F. DIFICULTAD DE ENLACE DEL GEOTEXTIL CON EL PAVIMENTO

El laminado con un rodillo neumático puede mejorar la adhesión del geotextil con el riego de liga en un número de situaciones. El laminado particularmente puede ser útil cuando el riego de liga se ha enfriado en lugares donde el ligante ha sido reducido, tal como en las intersecciones. En estas otras situaciones, un rodillo neumático aplica una presión uniforme a sobre el geotextil para fijarlo con el riego de liga. Sin embargo, el laminado no debe ser utilizado como un reemplazo para colocar la cantidad de riego de liga prescrito en este documento.



FOTOGRAFIA DE PLIEGUES QUE REQUIEREN REPARACION



PLIEGUES QUE PUEDEN SER REPARADOS EN EL LUGAR

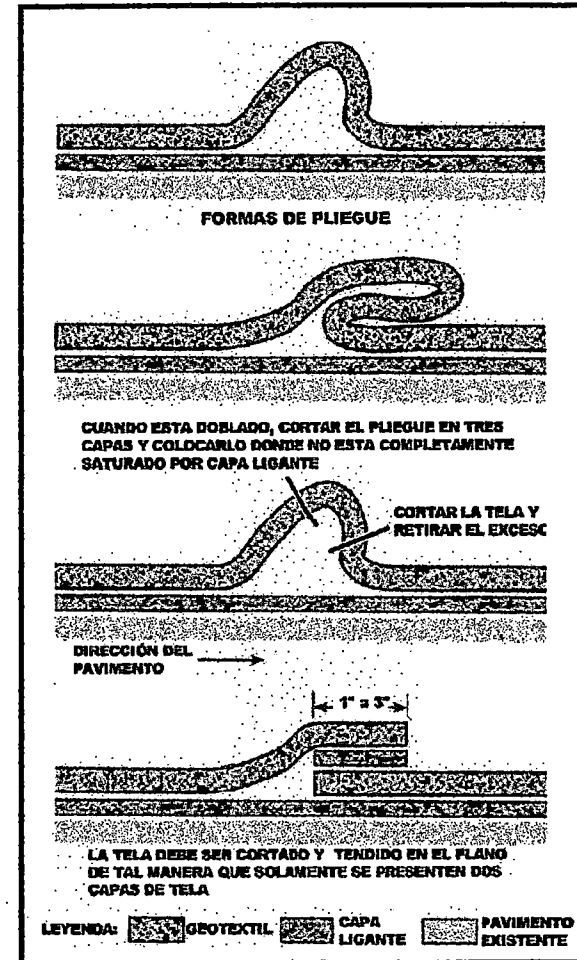


FIGURA C-1 REPARACION DE PLIEGUES

FOTOS

BIBLIOGRAFIA

1. Amoco fabrics and fibers company "geotextiles Amoco" Manual Usuario 1992. EE.UU
2. Werner, G., "Calculo de Capas de Concreto Asfáltico con el Uso de Geotextiles", III Congreso Iberoamericano de Asfalto, Cartagena, 1985
3. VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. I Simposio Nacional de Mecánica de Rocas. Lima Perú – 1993
4. VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. II Simposio Nacional de Mecánica de Rocas. Lima Perú – 1998
5. II Congreso Nacional del Asfalto. Lima Perú – 1998
6. Notas Técnicas "Amoco Geotextiles". Atlanta 1996
7. Reseñas Técnicas "Paving Fabrics Tack Coats". Traducido por Parra E., Klemas J. 1994
8. Apuntes de las Conferencias Especiales del Ing. Samuel Mora Quiñones.
9. Pavimentos Diseño y Control de Obras Viales, Conservación, Mantenimientos, Rehabilitación
Ing. Samuel Mora Quiñones. Lima Perú 1998
10. Diseño y Aplicación de los Geosintéticos en las Obras de Ingeniería. Promoción 95-II FIC-UNI
Lima Perú 1995
11. Boletines Técnicos PAVCO 1994
12. American Association de State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Guia para el Diseño de Estructura de Pavimentos, Washington, D.C., 1986.
13. Boletines Técnicos TREVIRA SPUNBOND. Hoechst Celanese Corporation EE.UU. 1988
14. Estudio de Factibilidad de Ingeniería Definitiva Carretera Ilo-Desaguadero Tramo VI, Asociación P. Y V.- HOB Mayo 1,996. Volumanes II, III, IV, VI. M.T.C.
15. Informe Final de Obra de la Carretera Ilo-Desaguadero Tramo VI, de la Supervisión Asociación Hidroservice-HOB Enero 1,998. Volumenes II, III, IV. Programa de Mantenimiento Vial de la Carretera Ilo-Desaguadero PERT-JBCI, Volumen VI, Enero 2000.