



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Erick Arnaldo Caballeros Torres

Asesorado por el Ing. Luis Alfonso Ortiz Rodríguez

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK ARNOLDO CABALLEROS TORRES
ASESORADO POR EL ING. LUIS ALFONSO ORTIZ RODRÍGUEZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-----------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Lic. Amahán Sánchez Álvarez |
| VOCAL III | Ing. Julio David Galicia Celada |
| VOCAL IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| EXAMINADOR | Ing. Pablo Rodolfo Zuñiga Ramírez |
| EXAMINADOR | Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha septiembre de 2006.

Erick Arnoldo Caballeros Torres

AGRADECIMIENTOS A:

MIS PADRES

Lic. Arnoldo Caballeros Escobar
Olga Verónica Torres Tejeda de Caballeros

MI ESPOSA

Ana Luisa Casados Álvarez

MIS HERMANOS

Dra. Claudia Beatriz Caballeros Torres
Juan Pablo Caballeros Torres

LOS INGENIEROS

Luis Alfonso Ortiz Rodríguez
Héctor Valdéz Arandi
José Alberto Pérez

ACTO QUE DEDICO A:

MIS HIJOS

Adriana Ximena Caballeros Casados

Erick Sebastián Caballeros Casados

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN | XI |
| OBJETIVOS | XIII |
| INTRODUCCIÓN | XV |
| | |
| 1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, CAPAS Y SUS | |
| CARCTERÍSTICAS | 1 |
| 1.1. Sub-rasante..... | 1 |
| 1.1.1. Definición de sub-rasante | 1 |
| 1.1.2. Características principales de la sub-rasante..... | 2 |
| 1.1.3. Materiales adecuados para sub-rasante mejorada | 3 |
| 1.2. Sub-base..... | 4 |
| 1.2.1. Definición de sub-base | 4 |
| 1.2.2. Características principales de la capa de sub-base | 4 |
| 1.2.3. Materiales adecuados para la capa de sub-base | 5 |
| 1.2.4. Colocación y tendido..... | 6 |
| 1.3. Base..... | 9 |
| 1.3.1. Definición de base..... | 9 |
| 1.3.2. Características principales de la capa de base..... | 9 |
| 1.3.3. Materiales adecuados para la capa de base | 10 |
| 1.3.4. Colocación y tendido..... | 11 |
| 1.4. Carpeta de rodadura..... | 13 |
| 1.4.1. Definición de carpeta de rodadura | 13 |
| 1.4.2. Características principales de la carpeta de rodadura..... | 13 |
| 1.4.3. Materiales adecuados para la carpeta de rodadura | 13 |

| | |
|---|----|
| 2. CRITERIOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (MÉTODO AASHTO) | 17 |
| 2.1. Variables en función del tiempo | 17 |
| 2.1.1. Período de diseño | 17 |
| 2.1.2. Vida útil del pavimento..... | 17 |
| 2.2. Variables en función del tránsito | 18 |
| 2.2.1. Tipo de tránsito a servir | 18 |
| 2.2.2. Ejes equivalentes..... | 19 |
| 2.3. Serviciabilidad de la estructura | 21 |
| 2.4. Propiedades de los materiales a utilizar | 22 |
| 2.5. Drenajes..... | 23 |
| | |
| 3. UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE | 29 |
| 3.1. Introducción a la geomalla | 29 |
| 3.2. Diferentes aplicaciones de la geomalla | 30 |
| 3.2.1. Sistemas de mejoramiento de caminos | 31 |
| 3.2.2. Taludes reforzados..... | 32 |
| 3.2.3. Sistemas de mejoramiento de cimentación..... | 33 |
| 3.2.4. Sistema de muros de retención..... | 33 |
| 3.2.5. Sistema de muros de retención temporales..... | 35 |
| 3.2.6. Sistema de retención de taludes..... | 35 |
| 3.2.7. Sistemas mineros | 36 |
| 3.2.8. Sistemas costeros y fluviales..... | 36 |
| 3.2.9. Sistema de gestión de residuos | 37 |
| 3.3. La geomalla como refuerzo de la sub-rasante | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4. La geomalla como refuerzo de la base de la estructura del pavimento flexible | 41 |
| 3.5. Tipos de geomallas y sus características..... | 45 |
| 3.5.1. Geomallas uni-axiales | 46 |
| 3.5.2. Geomallas bi-axiales..... | 47 |
| 3.6. Beneficios que se obtienen utilizando la geomalla en el diseño de pavimentos flexibles..... | 49 |
| 3.6.1. Refuerzo | 49 |
| 3.6.2. Confinamiento..... | 52 |
| 3.6.3. Separación de capas | 53 |
| 3.7. Características específicas para geomallas utilizadas en refuerzo de pavimentos | 53 |
| 3.7.1. Tamaño de la abertura | 53 |
| 3.7.2. Área de la abertura | 54 |
| 3.7.3. Grosor de las costillas y uniones | 54 |
| 3.7.4. Resistencia a la torsión | 54 |
| 3.7.5. Resistencia a la flexión..... | 54 |
| 3.7.6. Resistencia a la tensión | 55 |
| 3.7.7. Resistencia de las juntas | 55 |
| 3.8. Procedimiento de instalación en campo..... | 55 |
| | |
| 4. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA GEOMALLA BIAxIAL BX DE LA EMPRESA TENSAR | 65 |
| 4.1. Estabilidad de la abertura y resistencia a la torsión | 65 |
| 4.2. Rigidez y resistencia a la flexión..... | 68 |
| 4.3. Resistencia a la tensión | 70 |
| 4.4. Resistencia de la uniones o nudos..... | 73 |

| | |
|---|------------|
| 5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO ASISTIDO POR COMPUTADORA UTILIZANDO EL PROGRAMA SPECTRA PAVE 2 | 77 |
| 5.1. Utilización del programa SPECTRA PAVE 2, de la empresa TENSAR. | 77 |
| 5.2. Ejemplo ilustrativo | 89 |
| 5.2.1. Estudio comparativo de estructuras de pavimento flexible con geomalla y sin geomalla..... | 90 |
| 5.2.2. Estudio comparativo de costos de pavimentos flexibles con geomalla y sin geomalla | 94 |
| CONCLUSIONES..... | 97 |
| RECOMENDACIONES | 99 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 101 |
| ANEXOS | 105 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | |
|---|----|
| 1. Características de los rollos de geomalla BX Tensar..... | 30 |
| 2. Tramo terreno natural sin refuerzo de geomalla | 31 |
| 3. Tramo con refuerzo de geomalla utilizando el material in situ | 32 |
| 4. Sistema de refuerzo de taludes | 32 |
| 5. Sistema de mejoramiento de cimentación | 33 |
| 6. Sistema de muros de retención | 34 |
| 7. Sección sistema de muros de contención..... | 34 |
| 8. Sistema de muros de retención temporales..... | 35 |
| 9. Sistema de retención de taludes..... | 36 |
| 10. Sistemas mineros | 36 |
| 11. Sistema costeros y fluviales..... | 37 |
| 12. Sistema de gestión de residuos | 38 |
| 13. Tendido de la geomalla directo sobre una sub rasante blanda..... | 39 |
| 14. Principio de la raqueta de nieve..... | 40 |
| 15. Distribución de cargas sobre la sub rasante con geomalla | 40 |
| 16. Reducción del movimiento de tierras y espesor de la capa de base | 42 |
| 17. Ubicación de la geomalla dentro de la estructura del pavimento..... | 43 |
| 18. Interacción entre la geomalla y el material granular..... | 44 |
| 19. Geomalla uni-axial | 46 |
| 20. Detalle de costilla geomalla uni-axial | 47 |
| 21. Geomalla bi-axial | 48 |
| 22. Detalle de costilla geomalla bi-axial | 49 |
| 23. Restricción del desplazamiento lateral y confinamiento del material | 50 |
| 24. Mejora de la capacidad soporte del suelo..... | 51 |
| 25. Efecto de membrana tensionada producido por la geomalla | 51 |

| | |
|--|----|
| 26. Ubicación de la geomalla en recapeos | 52 |
| 27. Efecto de separación de capas y confinamiento de la geomalla | 53 |
| 28. Rollos de geomalla apilados correctamente | 56 |
| 29. Colocación y tendido de la geomalla | 57 |
| 30. Traslapes recomendados para geomalla..... | 57 |
| 31. Traslape de la geomalla en campo..... | 58 |
| 32. Colocación de la geomalla en curva..... | 59 |
| 33. Corrección de arrugas y corte de la geomalla | 59 |
| 34. Fijación de la geomalla por medio de clavijas | 60 |
| 35. Grapas grandes de gran calibre para fijación de la geomalla..... | 60 |
| 36. Geomalla alineada y tensada | 61 |
| 37. Tendido de material sobre la geomalla..... | 62 |
| 38. Procedimiento de compactación tradicional | 63 |
| 39. Mesa para ensayo de resistencia a la torsión para geomalla biaxial..... | 67 |
| 40. Muestra de geomalla biaxial para ensayo | 68 |
| 41. Máquina para realizar ensayo de rigidez y resistencia a la flexión | 69 |
| 42. Costilla de geomalla biaxial utilizada para ensayo | 71 |
| 43. Máquina utilizada para ensayo de tensión y deformación | 72 |
| 44. Detalle de ensayo de tensión y deformación | 72 |
| 45. Sección de abrazadera rectangular para sujeción de nodo..... | 74 |
| 46. Abrazadera rectangular para sujeción de nodo | 75 |
| 47. Pantalla principal | 77 |
| 48. Selección de proyecto a desarrollar | 78 |
| 49. Opción de refuerzo de sub-rasante | 79 |
| 50. Opción de refuerzo de base | 80 |
| 51. Pantalla con información general del proyecto..... | 81 |
| 52. Pantalla con información general del cliente | 82 |
| 53. Pantalla con información general del diseñador..... | 83 |
| 54. Ingreso de datos para refuerzo de sub-rasante..... | 85 |

| | |
|---|----|
| 55. Resultado de espesores de sub-rasante | 86 |
| 56. Pantalla de ingreso de datos para refuerzo de base..... | 87 |
| 57. Pantalla de resultados de análisis de refuerzo de base..... | 88 |
| 58. Pantalla con sección propuesta | 90 |
| 59. Pantalla con nueva sección y refuerzo de geomalla BX 1100 | 91 |
| 60. Pantalla con nueva sección y refuerzo de geomalla BX 1200 | 93 |
| 61. Sección de pavimento tradicional propuesta con sus respectivos costos.... | 94 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| I. Tabla con nueva sección reforzada con geomalla BX 1100 con sus respectivos costos | 95 |
| II. Tabla con nueva sección reforzada con geomalla BX 1200 con sus respectivos costos | 96 |

GLOSARIO

| | |
|------------------------|---|
| Ahuellamiento | Depresión longitudinal de la superficie que corresponde a la zona transitada por los neumáticos. |
| Asfalto | Producto que se obtiene de la destilación del petróleo, su uso principal es como ligante e impermeabilizante. |
| CBR | Medida de resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, en condiciones de densidad y humedad controladas. |
| Compactación | Técnica por la cual un material aumenta su resistencia y disminuye su compresibilidad. |
| ESAL | Ejes equivalentes de carga, por sus siglas en inglés, <i>Equivalente Axial Load</i> . |
| Geomalla | Red regular de elementos tensiles de tracción, fabricadas con polietileno o polipropileno |
| Serviciabilidad | Capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. |

RESUMEN

Las vías de comunicación son parte primordial para el desarrollo económico y social de la nación, ya que no sólo facilitan la comercialización de bienes, sino también, generan inversión nacional y extranjera para el país, lo que permite mejorar el mercado local, logrando así, acceso a todos los servicios; por lo que éstas deberían de mantenerse siempre en buenas condiciones.

La mayor parte de la red vial de Guatemala, por su estructura física no está preparada para soportar la carga vial a la que está siendo sometida, y debido a esto es que sufre deterioros constantes, por lo que es necesario implementar una red mucho más eficiente, resistente y segura que sea capaz de soportar las cargas y volúmenes de tráfico que se tienen en la actualidad.

La utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible, es un método moderno que se está utilizando a nivel mundial para reducir espesores de las capas, prolongando la vida útil del pavimento, logrando vías de comunicación más eficientes y duraderas.

Se describen los criterios a considerar para el diseño de estructuras de pavimentos flexibles utilizando la geomalla bi-axial como refuerzo y los diferentes tipos de geomallas disponibles en el mercado con sus distintas aplicaciones.

OBJETIVOS

General

Conocer las ventajas del uso de la geomalla y de la aplicación técnica de la misma, como alternativa para el refuerzo de la estructura del pavimento flexible, en la red vial de Guatemala.

Específicos

1. Contribuir con el diseño de pavimentos flexibles en la red vial, introduciendo la geomalla como refuerzo.
2. Conocer las propiedades de la geomalla biaxial, como el sistema que mejora la capacidad soporte de la estructura de pavimento flexible.
3. Conocer los distintos tipos de geomalla que existen con sus respectivos campos de aplicación.
4. Conocer el programa Spectra Pave 2, de la empresa Tensar, como una herramienta para el diseño de pavimentos flexibles.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que, debido a su ubicación geográfica, presente una topografía variada, a lo largo de toda su extensión territorial, por lo que el ingeniero civil, se encuentra con una gran variedad de dificultades durante los procesos constructivos de los distintos tipos de proyectos que se desarrollan.

La red vial sufre un constante deterioro, causado por el incremento en el parque vehicular, así como por el aumento de las cargas que soporta la estructura del pavimento, debido a que ésta, cuenta con un rango inferior de resistencia a carga vehicular comparado con otros países

Por tal motivo, es necesario proponer una solución práctica para poder construir vías más resistentes y eficientes, prolongando así, la vida útil de las mismas sin que esto represente complicaciones en el proceso constructivo o procedimientos más largos con costos excesivos.

Como una alternativa, en el diseño de pavimentos flexibles se encuentra la geomalla, utilizada recientemente en proyectos de ingeniería pero sobre todo de infraestructura vial como refuerzo de la estructura del pavimento flexible, reduciendo espesores de las capas, prolongando la vida útil de la misma y logrando un pavimento más eficiente.

1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, CAPAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas vehiculares provocadas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe de funcionar eficientemente, además de ser cómoda para el usuario. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico derivado de un diseño, ya que cuando se determinan los espesores de las capas, el objetivo es darle el espesor mínimo aceptable que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no sólo dependerá del material que las constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo, siendo dos factores importantes la compactación y la humedad.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida útil de entre diez y quince años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para poder cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente, de la sub rasante, la sub base, la base, y la carpeta de rodadura o carpeta asfáltica.¹

1.1. Sub-rasante

1.1.1. Definición de sub-rasante

La sub-rasante es la capa de terreno natural de una carretera, que soporta la estructura del pavimento, se extiende hasta una profundidad tal que no le

¹ Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y Secretaría de Integración Económica, Manual Centroamericano para diseño de Pavimentos

afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto. De su capacidad soporte depende el espesor que debe de tener toda la estructura del pavimento. Es considerada como la cimentación del pavimento.

1.1.2. Características principales de la sub-rasante

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

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

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

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

Por último, si el terreno tiene un valor soporte elevado y no existe la posibilidad de saturación de agua, no existiría la necesidad de conformar una

estructura de pavimento como tal, omitiendo la colocación de la sub base y la base, colocando únicamente la carpeta de rodadura.

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

1.1.3. Materiales adecuados para sub-rasante mejorada

En los casos en que se haga un vaciado y se trabaje una sub-rasante mejorada, los materiales adecuados son suelos de preferencia granulares con menos de tres por ciento de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR), que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo o sección que se este trabajando y que además, no sean inadecuados para sub rasante, de acuerdo a lo indicado anteriormente.

En las áreas en que se necesita reacondicionar la sub-rasante, se debe de proceder a escarificar el suelo hasta una profundidad de 200 milímetros.

La sub-rasante reacondicionada debe ser compactada en su totalidad con un contenido de humedad dentro de, más menos, tres por ciento de la humedad óptima, hasta lograr noventa y cinco por ciento de compactación respecto a la densidad máxima, según el método AASHTO T-180 (proctor modificado).

Los materiales a estabilizar deben ser los existentes en la sub-rasante, y no deben de contener partículas mayores de 70 milímetros, materias vegetales, o basura.

Los materiales a utilizar para la estabilización de la sub-rasante pueden ser, cal hidratada, cal viva, granza de cal, lechada de cal o compuestos estabilizadores químicos orgánicos e inorgánicos, cemento y otros materiales procedentes de préstamo.²

El agua a usar en las operaciones debe de ser clara, libre de aceites, sales, ácidos, álcalis, azúcar, materia vegetal y demás sustancias que afecten el desempeño de la sub-rasante.

1.2. Sub-base

1.2.1. Definición de sub-base

La sub-base es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que la sub rasante las pueda soportar.

1.2.2. Características principales de la capa de sub-base

La capa de sub-base controla la ascensión capilar del agua proveniente de los niveles freáticos cercanos, o bien de otras fuentes, protegiendo así, el pavimento contra los hinchamientos que se puedan producir.

En países en donde existen épocas de helada, este hinchamiento se produce por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos donde la ascensión del agua es considerable.

² Dirección General de Caminos, Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.

Controla y elimina en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el materia de la sub-rasante, además de funcionar como una capa de drenaje para la estructura del pavimento.

La sub-base puede tener un espesor compactado variable por tramos, de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante pero en ningún caso dicho espesor compactado puede ser menor de cien milímetros ni mayor de setecientos milímetros.

1.2.3. Materiales adecuados para la capa de sub-base

La capa de sub-base puede estar constituida por materiales de tipo granular en su estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que deba tener mayor capacidad soporte que el terreno de la sub-rasante. Estos pueden ser, arena, grava, granzón o residuos del material de cantera.

En algunos casos es posible emplear para la sub-base el material de la sub-rasante, mezclado con cemento.

Los materiales que forman la capa de sub-base, deben tener un límite líquido inferior a treinta y cinco por ciento y su índice plástico no mayor de seis por ciento.

Ya que la función principal de la sub-base es servir como capa de drenaje, el material e emplearse debe de ser granular, y la cantidad de material fino, en este caso limo y arcilla, que pase por el tamiz número doscientos, no debe de ser mayor del ocho por ciento.

El tamaño máximo de las piedras que contenga el material de sub-base, no debe exceder setenta milímetros, ni exceder de la mitad del espesor de la capa. El material de sub-base, no debe tener más del cincuenta por ciento en peso, de partículas que pasen el tamiz 0.425 mm, ni más del veinticinco por ciento en peso, de partículas que pasen el tamiz 0.075 mm.³

La porción que pasa por el tamiz 0.425 mm, no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T-90, mayor de seis ni un límite líquido, AASHTO t-89, mayor de veinticinco, determinados ambos, sobre una muestra preparada en húmedo, AASHTO, T-146.⁴

Cuando existan varios bancos de materiales como alternativas para el uso del mismo como material de sub-base, dentro de las condiciones normales de acarreo, se debe utilizar el material que tenga un mayor valor soporte, menor porcentaje que pase por el Tamiz 0.0075 mm, menor índice de plasticidad y mayor equivalente de arena, para así garantizar la calidad de la capa de sub-base.

1.2.4. Colocación y tendido

El material puede ser colocado en pilas por medio de camiones de volteo, formando camellones, sobre la sub-rasante, previamente preparada y acondicionada. Este debe ser tendido en capas no mayores de trescientos milímetros ni menores de cien milímetros.

Si el espesor de la sub-base requerida, es mayor de trescientos milímetros, el material debe de ser colocado en dos o más capas, nunca menores de cien

³ Dirección General de Caminos, Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes

⁴ Dirección General de Caminos, Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes

milímetros, no permitiéndose la colocación de la capa siguiente, antes de comprobar la compactación de la inmediata anterior. El material suelto de sub-base colocado, debe corresponder en cantidad, al espesor de la capa a tender en el ancho total establecido en la sección típica de pavimentación, tomando en cuenta la reducción de volumen debido a la compactación. La distancia máxima que puede ser colocado el material de sub-base, medida desde el extremo anterior cubierto con la base, no debe ser mayor de dos kilómetros.

Después de haberse colocado y tendido el material, cuando no se use maquinaria especial esparcidora y conformadora, debe procederse a su homogenización, mezclando el material en todo su espesor mediante la utilización de equipo apropiado, pudiéndose efectuar con motoniveladora o por otro método que produzca una mezcla homogénea.

El material de sub-base debe esparcirse, homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua necesaria para lograr su compactación, cuya operación puede efectuarse simultáneamente. Cuando se usa maquinaria especial esparcidora y conformadora, el material debe ser humedecido previamente en la planta de producción del mismo, pudiéndose en este caso, proceder a su compactación inmediata. La capa de sub-base debe conformarse, ajustándose a los alineamientos y secciones típicas de pavimentación y compactarse en su totalidad, hasta lograr el 100 % de densidad máxima, según el método AASHTO T-180 (proctor modificado) . Esta se debe de efectuar por cada dos mil metros cúbicos de material de sub-base, o cuando haya evidencia de que las características del material han cambiado o se inicie la utilización de un nuevo banco. Cuando el espesor a compactar exceda de tres cientos milímetros, el material debe de ser colocado, tendido y compactado en dos o más capas, nunca menores de cien milímetros.⁵

⁵ Dirección General de Caminos, Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes

Se debe efectuar un ensayo de valor soporte del suelo por cada quinientos metros cúbicos producidos, al iniciar la explotación de cada banco, hasta y llegar a tres mil metros cúbicos, y posteriormente un ensayo por cada tres mil metros cúbicos colocados.

Se debe realizar un ensayo de granulometría, por cada quinientos metros cúbicos de los primeros tres mil producidos al iniciar la explotación de cada banco, seguidamente se debe efectuar un ensayo cada tres mil metros cúbicos colocados de material de sub-base.

Con relación a la compactación se establece una tolerancia del 3% con respecto al porcentaje de compactación especificado, para aceptación de la capa de sub-base. Efectuar un ensayo representativo por cada cuatrocientos metros cuadrados de cada una de las capas que se compacten. La densidad de campo de preferencia no debe de efectuarse a una distancia menor de veinte metros en sentido longitudinal, sobre la superficie compactada que se este controlando. De preferencia, el control de compactación debe realizarse entre las orillas interiores de hombros, a una distancia mayor de un metro del borde de la sub-base y siguiendo un orden alternado: de derecha, centro e izquierda del eje.

La conformación de la superficie de la sub-base terminada, debe verificarse mediante la utilización de un cordel delgado, atado en ambos extremos a la punta de dos varillas de igual altura, cada una de estas se coloca directamente sobre trompos de construcción contiguos, transversal y longitudinalmente, verificando con una regla graduada la altura del cordel, no aceptando irregularidades mayores de quince milímetros respecto a la cota de superficie correspondiente de la sub-base.

El valor máximo de deflexión aceptable para la superficie de la capa de sub-base, no debe ser mayor de dos milímetros, respecto a un punto dado, a una distancia no mayor de tres metros, en cualquier dirección, medido con la viga Benkelman.

1.3. Base

1.3.1. Definición de base

La capa de base es la capa encargada de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, y de repartirlos uniformemente a las capas de sub-base y sub-rasante.

1.3.2. Características principales de la capa de base

Las bases pueden ser granulares, formada por la combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural, clasificados para construir una base integrante de un pavimento, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o estabilizadas con cemento u otro material ligante.

El material pétreo que se emplee en la base deberá de llenar los siguientes requisitos:

- Resistencia a los cambios de temperatura y humedad.
- Carecer de cambios de volúmenes perjudiciales
- Un porcentaje de desgaste inferior a cincuenta, de acuerdo al ensayo de la máquina de los ángeles.

- La fracción del material que pase por el tamiz cuarenta, debe de tener un Límite Líquido menor del veinticinco por ciento y un índice plástico inferior a seis.
- Un CBR superior a 70 %, cuando se cumple el 95 % de la densidad máxima sea obtenida del ensayo AASHTO T- 180 (proctor modificado).

1.3.3. Materiales adecuados para la capa de base

El material de base granular consistente preferiblemente de piedra o grava clasificada sin triturar, o bien producto de una trituración parcial, cuando sea necesario, para cumplir con los requisitos de graduación, combinado con arena y material de relleno para formar una capa de base que llene los siguientes requisitos.

Debe de tener un CBR de setenta, ejecutado sobre una muestra saturada a noventa y cinco por ciento de compactación y un hinchamiento máximo de cero punto cinco por ciento.

La porción de agregado retenida en el tamiz número cuatro, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de cincuenta a quinientas revoluciones.⁶

No más del veinticinco por ciento en peso del material retenido en el tamiz número cuatro, deben de ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces es espesor promedio de las mismas.

⁶ Dirección General de Caminos, Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes

Al igual que en las otras capas, el material de base granular, tiene que estar exento de impurezas, tales como, materia vegetal, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas puedan causar fallas en la estructura del pavimento.

1.3.4. Colocación y tendido

El material de base debe depositarse sobre la sub base, previamente preparada y aceptada, ya sea directamente con camión de volteo, tendiéndolo con motoniveladora o por medio de equipo especial que asegura la distribución de una capa de material uniforme, acondicionándolo en un ancho no menor de tres metros.

El espesor de la capa a tender, no debe ser mayor de trescientos milímetros ni menor de cien. Cubriendo distancias no mayores de cuatro kilómetros, medida desde el extremo anterior de la capa terminada.

Después de colocado y tendido el material de base granular, se procede a su homogenización con la humedad adecuada, mezclando el material mediante la utilización de maquinaria y equipo adecuado, por ejemplo, con la motoniveladora.

Previamente a la compactación de la capa de base granular, se debe humedecer adecuadamente el material. Esto se puede efectuar en la planta, antes de ser acarreado y tendido, procediendo en este caso con la compactación inmediata. En el caso en que el material se humedezca después de tendido, debe mezclarse hasta lograr un humedecimiento homogéneo, que permita la compactación del mismo, el riego del agua puede efectuarse simultáneamente al momento de realizar la mezcla del material.

Si los ensayos de valor soporte, abrasión, partículas planas, graduación, plasticidad y equivalente de arena, no llenan los valores especificados, después de verificar en tramos no mayores de quinientos metros, en más del veinticinco por ciento de los ensayos, se debe de hacer las correcciones necesarias. Se establece una tolerancia del tres por ciento respecto al porcentaje de compactación para la aceptación de la capa de base granular. Efectuando ensayos representativos cada cuatrocientos metros cuadrados de cada una de las capas que se compacten.

Las densidades de campo no deben ser efectuadas a una distancia menor de veinte metros en sentido longitudinal, sobre la superficie compactada que se esté trabajando. De preferencia el control de compactación debe hacerse en la franja de mayor circulación del tránsito para el cual se diseñó, y siguiendo un orden, es decir: alternando de derecha, centro e izquierda del eje.

La conformación de la superficie de la base terminada, debe verificarse mediante la utilización de un cordel delgado, atado en ambos extremos a la punta de dos varillas de igual altura, cada una de éstas se coloca directamente sobre trompos de construcción contiguos, transversal y longitudinalmente, verificando con una regla graduada la altura del cordel, no aceptando irregularidades mayores de diez milímetros respecto a la cota de superficie correspondiente de la sub-base.

Si en las disposiciones especiales del proyecto, no se establece un valor específico, el valor máximo de deflexión aceptable para la capa de base granular es de uno punto cinco milímetros, a una distancia no mayor de tres metros, en cualquier dirección, realizando una prueba de campo por cada cuatrocientos metros cuadrados de base granular compactada. De preferencia,

se hace en la franja de mayor circulación del tránsito previsto, alternando de derecha a izquierda del eje, medido con la viga Benkelman.

1.4. Carpeta de rodadura

1.4.1. Definición de carpeta de rodadura

También conocida como carpeta asfáltica, la carpeta de rodadura es la capa de la estructura del pavimento flexible elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico, que protege la base, impermeabilizando la superficie, evitando de esta manera posibles infiltraciones del agua de lluvia, que podría saturar parcial o totalmente las capas inferiores que conforman la estructura del pavimento flexible. Además de evitar el desgaste y deterioro de la base como consecuencia del tránsito vehicular al cual está sirviendo.

1.4.2. Características principales de la carpeta de rodadura

El concreto asfáltico es el sistema para construcción de vías, más empleado en Guatemala, que consiste en la elaboración en planta, en caliente, de una mezcla en proporciones controladas de materiales derivados del petróleo, polvo mineral, cemento asfáltico y aditivos, para obtener un producto uniforme y duradero de alta resistencia que se pueda tender y compactar, en una o varias capas.

1.4.3. Materiales adecuados para la carpeta de rodadura

El asfalto de petróleo, es obtenido directamente por refinación del petróleo de base asfáltica. Este material ligante puede ser semisólido o sólido, de color negro, que se vuelve líquido al exponerlo a altas temperaturas. Sus

constituyentes principales son betunes. Los betunes son mezclas de hidrocarburos naturales, que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, todos completamente solubles.

El cemento asfáltico, es un asfalto refinado, o bien una combinación de aceite fluidificante, con una consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. El aceite fluidificante es un aceite viscoso, espeso, obtenido como producto de la destilación de productos volátiles livianos que se encuentran en el petróleo crudo. Se utiliza generalmente para ablandar los asfaltos muy duros.

El asfalto líquido es un cemento asfáltico rebajado mediante la adición de un fluidificante, que cuando se encuentra expuesto a la intemperie, se evapora el fluidificante y queda únicamente el cemento asfáltico, de los cuales existen tres tipos:

- Asfalto líquido de curado rápido (RC – CUT-Backs)
- Asfalto líquido de curado medio (MC – CUT – Backs)
- Asfalto líquido de curado lento (SC – Road Oil)

El alquitrán es un material bituminoso, viscoso o fluido, obtenido como producto de la destilación destructiva de materias orgánicas tales como, carbón, lignito, madera y materia vegetal,

El material pétreo, debe de consistir en piedra o grava, clasificada y triturada, ya sea total o parcialmente, combinada con arena de río y/o polvo de trituración y material de relleno, para lograr un material pétreo de buena calidad.

La mezcla debe ser transportada de la planta al lugar de su colocación preservándola del polvo y la lluvia, evitando la pérdida de temperatura durante el trayecto. Antes de proceder con la colocación de la mezcla, la superficie debe de estar preparada por medio de un riego de liga. La mezcla transportada debe de colocarse y tenderse con máquina pavimentadora, que permita ajustar espesores y anchos, asegurando su uniformidad en una sola operación, en un ancho no menor de tres metros, y espesores no mayores de quince centímetros por capa, a una temperatura no menor de ciento cuarenta grados centígrados.

Se debe de lograr una compactación del noventa y ocho por ciento, según el método de diseño, procurando completarla antes que la temperatura de la capa alcance los ochenta y cinco grados centígrados y nunca en capas mayores de quince centímetros.⁷

⁷ Dirección General de Caminos, Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes

2. CRITERIOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (MÉTODO AASHTO)

2.1. Variables en función del tiempo

Dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta para el diseño de estructuras de pavimento flexible, es necesario analizar el comportamiento de éstos, debido al tránsito ya que éste, se incrementa conforme el desarrollo tecnológico y el crecimiento demográfico lo que conlleva a un incremento en la cantidad de ejes y cargas que soporta la estructura del pavimento flexible. Por tal motivo es importante la correcta selección de los factores de diseño, así como tener conocimiento sobre el tránsito a servir, clasificación de la carretera, selección de los materiales y procesos de construcción, entre otros. Existen dos variables en función del tiempo a considerar para el diseño de pavimentos flexibles, el período de diseño y la vida útil del pavimento.

2.1.1. Período de diseño

El período de diseño para la estructura del pavimento flexible es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cubrir. Este puede ser igual a la vida útil del proyecto, pero en casos en donde se prevén reconstrucciones a lo largo del tiempo, el período de diseño comprende varios períodos de la vida útil del proyecto, el del pavimento original y el de los distintos refuerzos.

2.1.2. Vida útil del pavimento

La vida útil del pavimento es el período de tiempo que transcurre entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que este alcanza

su grado de serviciabilidad mínimo, y deja de ser cómodo y seguro para el usuario.

2.2. Variables en función del tránsito

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de los vehículos y un número determinado de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes, por lo tanto, para efectos de cálculo los ejes se transforman en un número de ejes equivalentes.

2.2.1. Tipo de tránsito a servir

Para poder realizar el diseño de una estructura de pavimento es necesario conocer el tipo y la cantidad de vehículos que pasen por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, que pueden ser obtenidos a partir de censos en el lugar de la futura construcción, o bien mediante censos en lugares próximos.

Es primordial tener muy en cuenta al momento de hacer el diseño, lo siguiente: tránsito medio diario, tránsito medio diario de camiones, la tasa de crecimiento del tránsito, así como la distribución por dirección en cada sentido del camino y si fuese carretera con más de dos vías, la distribución vehicular en cada una de ellas, tomando en cuenta que el tránsito puede variar según el día de la semana, las estaciones, y época del año.

Es importante que al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se tome en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que la circundan, con el objeto de visualizar,

en la medida de lo posible, los futuros desarrollos de complejos habitacionales, e industriales, por ejemplo, que contribuirán más adelante con el incremento en el flujo vehicular de la carretera proyectada.

En general se puede decir que el total del flujo vehicular para un tramo dado, es exactamente la mitad para cada dirección del tránsito, sin embargo es de mayor importancia la diferencia de peso existente entre los vehículos que van en una y otra dirección, como puede ser el caso de una fábrica cercana o un puerto, por ejemplo.

Para lograr tomar en cuenta todas estas diferencias en el volumen y tipo de tránsito, es necesario obtener un número equivalente de ejes para una determinada carga.

2.2.2. Ejes equivalentes

Las diferentes cargas que actúan sobre la estructura de un pavimento, debido a la gran variedad de vehículos que circulan sobre la misma, producen a su vez diferentes esfuerzos de tensión y deformaciones, dando como resultado diferentes tipos de fallas. Para poder tomar en cuenta estas diferencias, el volumen total de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes, de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición del tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada es de ochenta kN o diez y ocho kips y la conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga.⁸

El factor equivalente de carga, es un valor que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga dada de un tipo de eje y la

⁸ Jorge Tomas von Quednow Gálvez, Aplicación de la norma AASHTO 2002 en el diseño de pavimentos flexibles.

producida por el eje equivalente. Este factor cambia de acuerdo al tipo del pavimento flexible, dado que cada uno responde de manera diferente a una carga aplicada.

Existen trece clases distintas de vehículos para el cálculo de los ejes equivalentes de carga:

- Motocicletas
- Automóviles
- Otros vehículos de dos ejes y cuatro ruedas
- Ómnibus
- Camiones simples de dos ejes
- Camiones simples de tres ejes
- Camiones simples de cuatro o más ejes
- Camiones semi remolques de cuatro o menos ejes
- Camiones semi remolques de cinco ejes
- Camiones semi remolques de seis o más ejes
- Camiones con acoplado de cinco o más ejes
- Camiones con acoplado de seis ejes
- Camiones con acoplado de siete o más ejes

Así como la distribución del tipo de camiones es importante, lo es también la de los pesos, debiendo conocer el peso total del camión y la distribución por ejes de este peso. Esto se puede determinar por medio de estaciones de control de cargas ubicadas en puntos estratégicos a lo largo de la red vial, logrando de este modo obtener la siguiente información:

- Volumen de camiones por cada tipo
- Tasa de crecimiento para cada tipo de camión
- Factores de distribución por eje, de cada tipo de camión

Los vehículos livianos tienen una incidencia muy pequeña en el cálculo de ejes equivalentes de carga y pueden ser despreciados, sin embargo, los vehículos pesados tienen una incidencia muy grande, y cualquier variación en la cantidad de los mismos puede arrojar diferencias significativas en el valor final.

Últimamente el número de camiones se está elevando considerablemente con respecto al de los automóviles y sus respectivas cargas por consiguiente. Todo esto trae como consecuencia un fuerte incremento en el número de ejes equivalentes de carga, por lo que se hace necesario encontrar una solución para reforzar las estructuras del pavimento que se planean construir en el futuro.

2.3. Serviciabilidad de la estructura

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación, con el cual se valúa las condiciones de la carpeta de rodadura del mismo, y se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado, indicando el grado de comodidad que tiene el usuario para el desplazamiento natural de un vehículo, este índice resulta de la relación entre las cargas aplicadas y el deterioro de la estructura del pavimento.

Se clasifica, para una estructura de pavimento flexible, con un valor de cinco a un pavimento en buenas condiciones, y cero para uno de malas condiciones. A la diferencia entre estos dos valores se lo conoce como la pérdida de serviciabilidad de la estructura.

Actualmente, para medir el deterioro de la carpeta de rodadura del pavimento flexible, se utiliza el índice internacional de rugosidad, IRI, para lo cual se utiliza un equipo montado en un vehículo que va midiendo los altibajos

de la misma y los suma, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro.

En el diseño del pavimento se elige la serviciabilidad inicial, en función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción y la final en función de la categoría del camino y el criterio del diseñador.

2.4. Propiedades de los materiales a utilizar

Si el esfuerzo de tensión horizontal es excesivo pueden resultar grietas en la capa de rodadura. Si la fuerza vertical de compresión es excesiva resultarán deformaciones permanentes en la estructura del pavimento debido a la sobre carga en la sub-rasante. Una excesiva deformación de las capas solamente puede ser controlada por las limitaciones de las propiedades de los materiales.

Todos los materiales están caracterizados por el módulo de elasticidad, llamado módulo dinámico para el caso de las mezclas asfálticas, y módulo de resiliencia para los materiales granulares sin tratar y los materiales de suelos. El módulo dinámico para mezclas de asfalto es dependiente de la temperatura sobre el pavimento, para simular los efectos de la temperatura y sus cambios a través del año, se utilizan tres distribuciones típicas del promedio mensual de temperatura que a su vez representan tres regiones típicas, esto aplicable sobre todo en países en donde los cambios de temperatura son significativos dependiendo de las estaciones del año.

El módulo dinámico es función directa del tiempo de fraguado y un período de seis meses es utilizado para la elaboración de las tablas de diseño, ya que períodos de fraguado arriba de los 24 meses no tienen ninguna influencia significativa sobre el espesor.

Cuando se utiliza cemento como material estabilizador, es conveniente saber la cantidad máxima a utilizar, en función de los cambios físicos que experimentan los suelos, ya que una cantidad alta de cemento, hace que los materiales obtengan altos valores de resistencia mecánica, así como contracciones fuertes que se traducen en agrietamientos, que más adelante se reflejan en la carpeta de rodadura.

En general, se puede concluir que cuando no se cuenta con suelos adecuados para la estructura del pavimento, tales como sub-rasantes, sub-bases, y bases, que cumplan con las exigencias o especificaciones, y que económicamente sea necesario recurrir al uso de productos estabilizadores, es conveniente que los materiales de cada una de las capas ya estabilizadas estén acorde con la capacidad de esfuerzo de las otras capas contiguas, ya que no es conveniente que una capa sea rígida y otra flexible, o bien que una capa impermeable quede bajo a una permeable.

2.5. Drenajes

La humedad es una característica muy especial de los pavimentos, ya que esta reviste de gran importancia sobre las propiedades de los materiales que conforman la estructura de un pavimento flexible, pero sobre todo en el comportamiento de los mismos. Por tal motivo se hace necesario analizar los distintos métodos por medio de los cuales se pretende reducir o eliminar el agua en la estructura de un pavimento flexible.

La evacuación del agua en los pavimentos flexibles es considerada como parte primordial del diseño de carreteras. El exceso de agua en combinación con el incremento del volumen de tránsito y de cargas, junto con el transcurrir

del tiempo, se combinan para ocasionar daño a la estructura del pavimento flexible. Esta puede penetrar en la estructura del pavimento por medio de las grietas, juntas o bien por infiltración del pavimento.

Los efectos del agua cuando se encuentra atrapada dentro de la estructura del pavimento son:

- Reducción de la resistencia de los materiales granulares
- Reducción de la resistencia la capa de sub-rasante, sobre todo cuando esta permanece saturada durante mucho tiempo.
- Succiona los finos de los agregados de las capas, haciendo que las partículas del suelo se desplacen dando como resultado la perdida de soporte por la erosión provocada.
- Cuando el agua está atrapada ocurre la degradación de la calidad del material del pavimento por efecto de la humedad, creando desvestimiento de las partículas del mismo.
- Diferencias en el desplazamiento producido por el hinchamiento de los suelos,
- Expansión y contracción debida al congelamiento del agua atrapada en los suelos, sin embargo este fenómeno ocurre únicamente el países en donde ocurren heladas y / o cambios bruscos de temperatura.

Por tal motivo es indispensable encontrar soluciones a los problemas de humedad en los pavimentos, que consisten básicamente:

- Prevenir la penetración del agua dentro del pavimento
- Proveer de drenaje necesario para remover el exceso del agua rápidamente

- Construir pavimentos resistentes a los efectos combinados de cargas y agua.

Se debe siempre lograr que las capas de sub-rasante, sub-base y base que conforman la estructura del pavimento flexible estén protegidas de la acción del agua. Considerando las posibles fuentes, es necesario interceptarlas lo mejor posible para evitar la entrada de ésta, a la estructura del pavimento.

Para evitar que el agua penetre dentro de la parte inferior de la estructura del pavimento flexible, es necesario construir drenajes para el control o reducción de los problemas causados por el agua, divididos en las siguientes categorías:

- Drenajes superficiales
- Sub-drenajes
- Estructuras de drenaje

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la sub-rasante, lo que hace un camino de mejor calidad, así como en determinado momento el uso de capas de menor espesor.

Existen dos formas para calcular el tiempo de drenaje para la capa de un pavimento, el primero es la aproximación del tiempo para drenar, en el cual se considera únicamente el agua de infiltración, y el segundo es el del caudal constante, considerando las fuentes de ingreso y egreso del agua, éstas se cuantifican y la base permeable se dimensiona para poder conducir el agua de estos caudales de diseño.

a) Método del tiempo para drenar

El agua de lluvia que se infiltra en la superficie de un pavimento flexible, llega hasta el nivel de la base, la cual al hacer contacto la satura completamente, de aquí que se debe tener en cuenta que la capa de base debe ser perfectamente permeable, ya que una vez termine de llover, el agua debe de escurrir saliendo de la base lo más rápido posible, con el fin de que la saturación de los materiales no cambie las características mecánicas de la capa.

El posible daño que pueda sufrir la estructura del pavimento, depende del tiempo que le tome al agua en escurrir, así como de las condiciones climáticas de la zona. Es conveniente que la estructura se drene en un lapso de media a una hora como máximo, con el objeto de minimizar los posibles daños, por el efecto de la presencia de humedad en las capas. Para realizar en análisis correspondiente es necesario contar con los siguientes datos:

- Pendiente longitudinal
- Pendiente transversal
- Espesor de la capa a drenar
- Ancho de la base permeable

b) Método del caudal constante

Este método se basa en la suposición de que existe un caudal uniforme de filtración y que el sistema de drenaje debe diseñarse para drenar esta agua. Su mayor defecto es la dificultad de poder determinar la cantidad de agua que entra y sale a la estructura del pavimento, una solución real es la de evaluar todas las fuentes de agua que se mueven dentro del pavimento tales como:

- Caudal total de entrada
- Caudal de infiltración
- Caudal de entrada por efecto de la gravedad
- Caudal de entrada por flujo artesiano
- Caudal por derretimiento de hielo (no aplica para Guatemala)
- Caudal de salida por flujo vertical

Además, es necesario conocer las granulometrías y permeabilidades de los materiales que se tengan en el proyecto. Las bases que son permeables son excelentes para permitir la evacuación rápida del agua de una estructura de pavimento. Estas bases pueden estar construidas con materiales estabilizados o no, ya que en una buena base drenante, el agua libre no debe de permanecer más de dos horas después de finalizada la lluvia.

Al efectuar la construcción de una carretera, es necesario prever un buen sistema de colectores longitudinales, (cunetas y contra cunetas), que tengan el diámetro requerido y relación directa con el aporte de agua de la estructura del pavimento, y evitar en lo posible que el agua a drenar no escurra sobre los taludes.

Un buen análisis del sistema de drenajes que se adecue a las condiciones del pavimento, aumenta la vida útil del mismo disminuyendo en gran parte la posibilidad de daños producidos por el agua.

3. UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

3.1. Introducción a la geomalla

Las carreteras están sometidas a importantes cargas dinámicas debido a la circulación de los vehículos, cargas que provocan la aparición de grietas, que en conjunto con el agua, aceleran el proceso de deterioro de la estructura del pavimento flexible, La existencia de grietas interrumpe la transmisión de las fuerzas transversales inducidas por la acción del tráfico, disminuyendo las propiedades mecánicas de las capas que la conforman. Tradicionalmente el procedimiento que se emplea para solucionar este problema es el tendido de una nueva capa de asfalto, sin embargo, la experiencia ha demostrado que las fisuras con el paso del tiempo, si las condiciones del tráfico no varían o disminuyen, aparecen nuevamente en la nueva capa. Para intentar retrasar este fenómeno, se han empleado carpetas de rodadura con espesores mayores, lo cual representa una solución anti económica, y poco práctica, ya que la transmisión de esfuerzos cortantes entre ambas capas es mínima, causado principalmente por una discontinuidad entre estas, que en algunos casos puede provocar hasta deslizamientos entre la capa superior e inferior, además de originar una mayor altura en los hombros de la carretera.

Con un sistema de refuerzo lo que se busca es lograr un incremento de la resistencia a tracción de todo el conjunto, no creando posibles discontinuidades dentro de las capas de la estructura del pavimento flexible. La utilización de la geomalla surge como solución práctica en los años ochenta en Estados Unidos de Norte América.

Las geomallas pueden ser flexibles de hilos de poliéster, nylon o bien fibra de vidrio de alta densidad, fabricados con polietileno de alta densidad y polipropileno, formadas por una red regular de elementos tensiles de tracción conectados en forma integral, con aberturas, uniones y costillas lo suficientemente grandes como para permitir una traba mecánica importante entre el suelo, el material y agregados circundantes, funcionando principalmente como refuerzo, agregando resistencia a las deformaciones y aumentando la capacidad soporte a las capas que conforman la estructura del pavimento flexible.

Figura 1. Características de los rollos de geomalla BX Tensar

| Características de los rollos de geomalla BX Tensar | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------|--------------------|--------|----------------|----------|-------------------|-----------------------|
| Producto | Ancho del rollo | | Longitud del rollo | | Peso del rollo | | Área del rollo | |
| | (m) | (pies) | (m) | (pies) | (kg) | (libras) | (m ²) | (yarda ²) |
| BX110047 | 3 | 9,8 | 75 | 246 | 45,6 | 100,5 | 225 | 268 |
| BX110075 | 4 | 13,1 | 75 | 246 | 61,2 | 135 | 300 | 358,6 |
| BX120040 | 3 | 9,8 | 50 | 164 | 46,3 | 102 | 150 | 179,3 |
| BX120060 | 4 | 13,1 | 50 | 164 | 62,6 | 138 | 200 | 239,1 |
| BX130060 | 4 | 13,1 | 50 | 164 | 50,5 | 111,5 | 200 | 239,1 |

3.2. Diferentes aplicaciones de la geomalla

El movimiento de tierras es cada vez más costoso, las cargas son cada vez más pesadas, y nos encontramos con grandes espesores de relleno. Para solucionar este y otros problemas, es necesario encontrar una solución práctica y económicamente atractiva para poder desarrollar los diferentes proyectos de ingeniería. Esta solución la constituye la utilización e implementación de la geomalla, brindando tecnología de aplicación innovadora con productos alternativos que mejoran la construcción y el movimiento de tierras, entre otros, sirviendo a una gran variedad de mercados industriales y comerciales, centrado principalmente en los siguientes campos de aplicación:

- 1.1.1. Sistemas de mejoramiento de caminos
- 1.1.2. Taludes reforzados
- 1.1.3. Sistema de mejoramiento de cimentación
- 1.1.4. Sistema de muros de retención
- 1.1.5. Sistema de muros de retención temporales
- 1.1.6. Sistema de retención de taludes
- 1.1.7. Sistemas mineros
- 1.1.8. Sistemas costeros y fluviales
- 1.1.9. Sistemas de gestión de residuos

3.2.1. Sistemas de mejoramiento de caminos

Ya sea que el sistema se utilice para mejorar la sub rasante, para reforzar la capa de base, o ambas, se obtiene como resultado un mejor rendimiento y economía de los pavimentos flexibles.

Figura 2. Tramo terreno natural sin refuerzo de geomalla



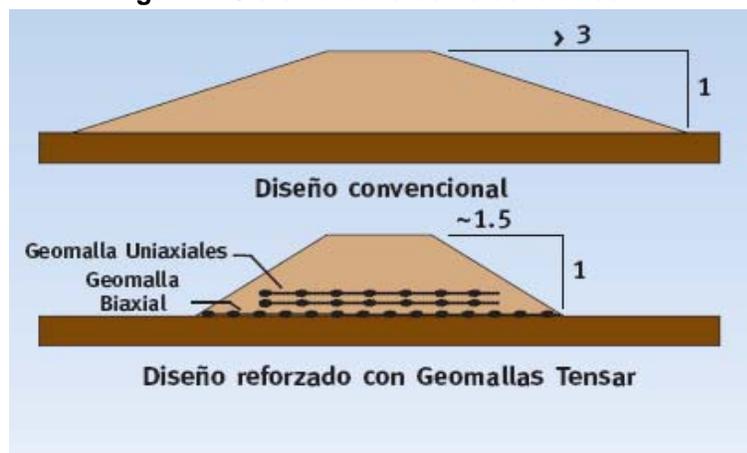
Figura 3. Tramo con refuerzo de geomalla utilizando el material in situ



3.2.2. Taludes reforzados

El sistema minimiza la “superficie” del terraplén, así como sus requisitos de relleno y potencial de asentamiento.

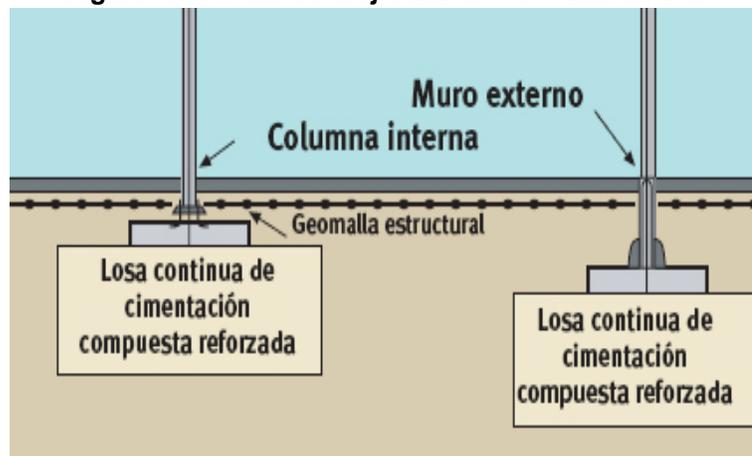
Figura 4. Sistema de refuerzo de taludes



3.2.3. Sistemas de mejoramiento de cimentación

Los suelos débiles y variables representan una amenaza importante para el rendimiento de la cimentación de cualquier estructura. El sistema crea un compuesto estructural de relleno y geomalla, que interactúan para formar una plataforma reforzada sobre suelos débiles y compresibles.

Figura 5. Sistema de mejoramiento de cimentación



3.2.4. Sistema de muros de retención

Es un sistema de muros de retención segmentales que cuentan con una conexión mecánica positiva ofreciendo soluciones estructurales, de jardinería y ornamentales, para centros comerciales, industria, residencia y transporte.

Figura 6. Sistema de muros de retención

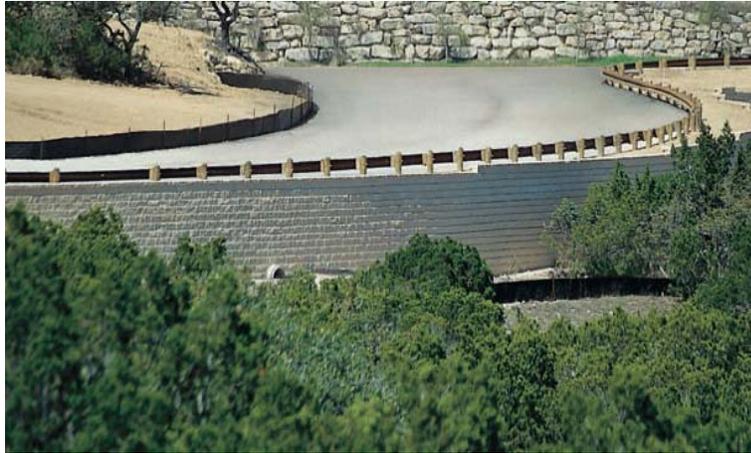
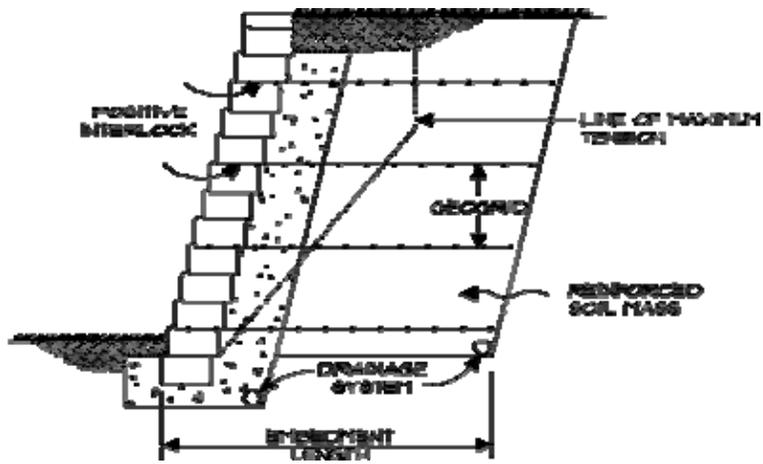


Figura 7. Sección sistema de muros de contención



3.2.5. Sistema de muros de retención temporales

Los muros temporales son necesarios para muchos tipos de construcción por fases, con este sistema se utilizan materiales menos costosos, mano de obra menos calificada y equipo liviano.

Figura 8. Sistema de muros de retención temporales



3.2.6. Sistema de retención de taludes

Este sistema crea estructuras de retención de tierras de aspecto natural y estructuralmente estables en forma de taludes de mucha pendiente.

Figura 9. Sistema de retención de taludes



3.2.7. Sistemas mineros

La sub-rasante estabilizada con geomalla mejora el transporte hacia y desde el interior de la mina, reduciendo de manera significativa el mantenimiento del camino. Dentro de la mina en los puntos de transferencia evita que las piedras flojas caigan.

Figura 10. Sistemas mineros



3.2.8. Sistemas costeros y fluviales

Los sistemas costeros y fluviales son una familia de estructuras marinas que se utilizan en aplicaciones de construcción y protección, en el agua y dentro de

ella, utilizados generalmente para, (a) cimientos de estructuras costeras, (b) protección contra la erosión y socavación de orillas de arroyos, canales, costas y dunas, (c) como capa subyacente para pedraplenes en condiciones sumergidas y de suelo blando.

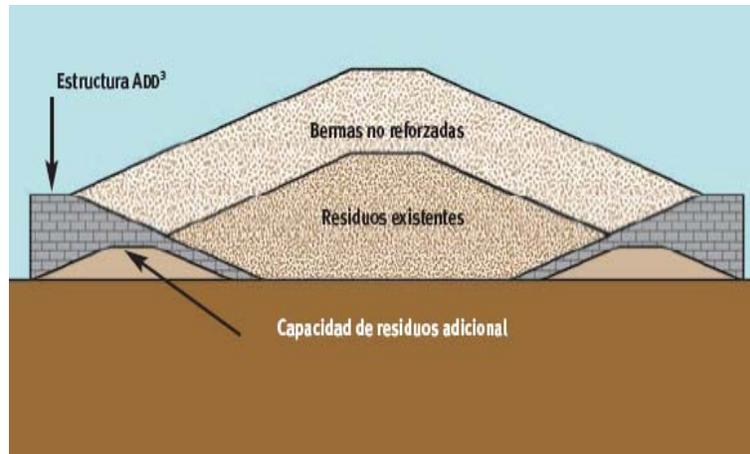
Figura 11. Sistema costeros y fluviales



3.2.9. Sistema de gestión de residuos

El sistema de gestión de residuos reconfigura los depósitos de confinamiento en función de las condiciones del lugar. Puede utilizarse para (a) construir vertederos sobre cimentaciones marginales, (b) soportar estructuralmente vertederos nuevos construidos sobre vertederos existentes, (c) construir taludes seguros, estructuralmente estables y de mayor inclinación para reducir los requisitos de tierra y aumentar la capacidad.

Figura 12. Sistema de gestión de residuos



3.3. La geomalla como refuerzo de la sub rasante

En suelos blandos las sub-rasantes débiles representan un problema común en la construcción de pavimentos, el fallo de la misma conduce al deterioro rápido de la estructura del pavimento flexible.

Tradicionalmente, estas sub-rasantes débiles, pobres o contaminadas han sido removidas para ser reemplazadas con relleno de material importado, o bien estabilizadas químicamente. Sin embargo estas opciones son sumamente caras y consumen mucho tiempo durante el proceso constructivo.

Con la incorporación de la geomalla se aumenta el rendimiento de la sub-rasante, formando una estructura de pavimento flexible más resistente, dando a la misma una capa de cimentación estable y mucho más resistente, actuando como una plataforma constructiva, mejorando la compactación, reduciendo la oscilación y el punzonamiento maximizando la capacidad de carga de la sub-

rasante, además de reducir costos y tiempos provocados por el movimiento de tierras.⁹

Figura 13. Tendido de la geomalla directo sobre una sub-rasante blanda



Esto se logra mediante la distribución de cargas de manera más eficiente, reduciendo la presión sobre la sub-rasante, mejorando de este modo su desempeño, utilizando el mismo principio de las raquetas para nieve, que soportan el peso de un hombre sobre la nieve blanda, transformando la carga puntual en una carga distribuida.

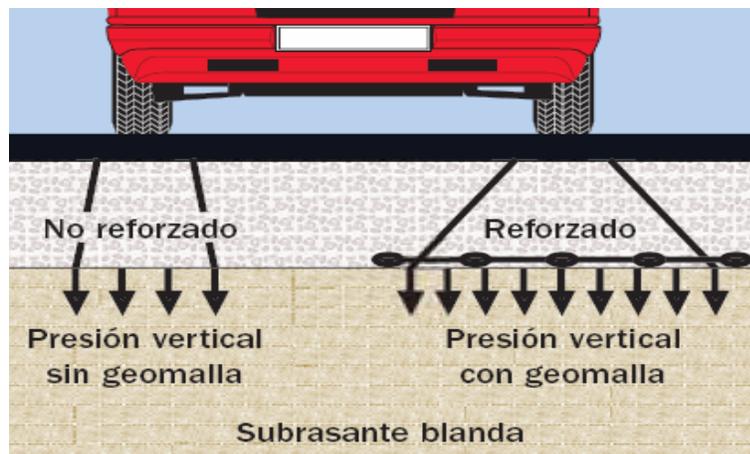
⁹ US, Army Corps of Engineers, Geotechnical Laboratory.

Figura 14. Principio de la raqueta de nieve



La geomalla debe tener la capacidad de distribuir cargas eficazmente sobre la sub-rasante, de manera amplia y pareja, debe de existir una interacción compleja entre la geomalla y el material.

Figura 15. Distribución de cargas sobre la sub-rasante con geomalla



En la medida en que la resistencia de la sub-rasante se incrementa, la aplicación de la geomalla va de estabilización mecánica de la misma, a refuerzo

de la capa de base granular, en general, la utilización de la geomallas se recomienda para sub-rasantes, en los rangos de:

- CBR, entre cero y dos, para permitir la construcción de una plataforma de trabajo (mejoramiento de la sub-rasante) y proteger la sub-rasante ante fallas por capacidad soporte.
- CBR entre dos y cuatro, para garantizar la estabilidad de las capas granulares.
- CBR, mayor a cuatro, para reducir el espesor de las capas de base granular y aumentar la vida útil de la estructura del pavimento flexible.

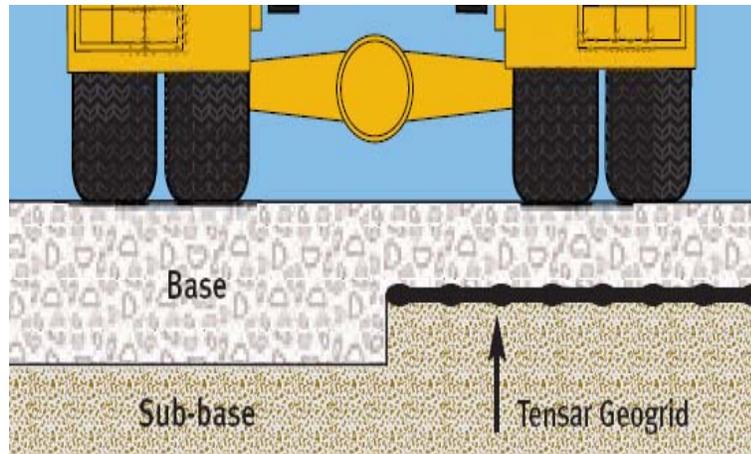
3.4. La geomalla como refuerzo de la base de la estructura del pavimento flexible

Con frecuencia, las estructuras de pavimento flexible fallan prematuramente porque el material de la capa de base se esparce lateralmente de los senderos de las ruedas, produciendo el ahuellamiento, alejándose de las cargas del tránsito. Dando como resultado la rotura de la superficie del pavimento.

Se ha podido demostrar que la utilización de la geomalla aumenta significativamente la vida útil de la estructura del pavimento flexible, además de contribuir con la reducción de las capas de base, y aumentar la capacidad soporte de la misma, dando como resultado un ahorro significativo en los costos tanto de construcción como de operación.¹⁰

¹⁰ US, Army Corps of Engineers, Geotechnical Laboratory.

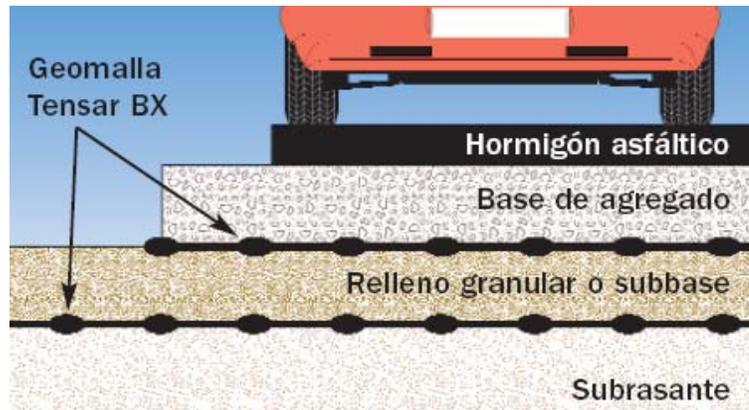
Figura 16. Reducción del movimiento de tierras y espesor de la capa de base



Las geomallas han sido utilizadas con éxito como refuerzo de estructuras granulares en pavimentos flexibles desde el año de 1980 en Estados Unidos. Este tipo de refuerzo se ha definido como refuerzo de base, como efecto de restricción lateral o de refuerzo de confinamiento, debido a la unión que se genera en la interacción del suelo granular con la geomalla. El agregado no reforzado se desplaza lateralmente bajo las cargas del tráfico, causando el ahuellamiento, y finalmente el fallo de la estructura del pavimento flexible.

Las capas reforzadas con geomalla resisten este movimiento lateral y brindan un mejor desempeño a largo plazo.

Figura 17. Ubicación de la geomalla dentro de la estructura del pavimento.

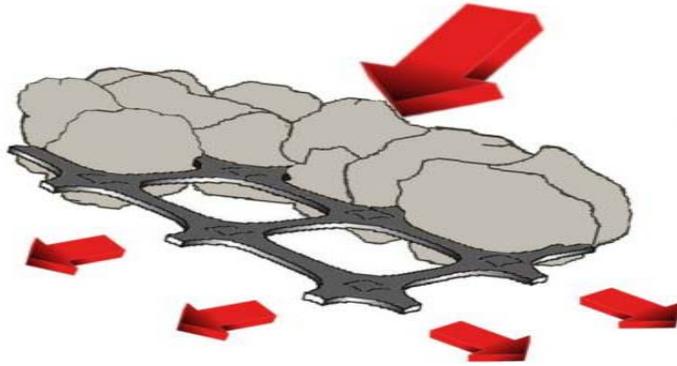


La restricción al desplazamiento lateral hace referencia al confinamiento que restringe el desplazamiento del material granular ante la aplicación de cargas. Dado que la mayoría de los materiales utilizados para la construcción de pavimentos flexibles son esfuerzo – dependientes, la restricción al desplazamiento lateral hace que queden trabajando permanentemente a compresión, obteniendo como resultado un aumento en el módulo mecánico de la capa de base, lo que significa una mayor capacidad soporte y de distribución de esfuerzo, por lo tanto, menores deformaciones sobre la sub-rasante.

La geomalla actúa como una barrera que controla la superficie inferior de la envolvente de falla que se genera, confinándola completamente a la capa de base granular, que ofrece mayor resistencia que la sub-rasante.

El refuerzo a tensión que ejerce la geomalla interactuando con el suelo y el mecanismo vertical resultante, están en función del módulo de deformación elástico de la geomalla y de la restricción lateral al movimiento del suelo granular, utilizando para ello, de preferencia suelos granulares con mayor cantidad de partículas angulares, para obtener un mayor efecto de refuerzo como resultado de la interacción de las partículas y la geomalla.

Figura 18. Interacción entre la geomalla y el material granular



La colocación de una o varias capas de geomalla dentro o en el fondo de la capa de base, permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente. La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla y la coloca en tensión. La relativamente alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta. Una deformación lateral más pequeña de la base se traduce en menor deformación vertical de la superficie de rodadura.

Cuando se diseña un refuerzo de la estructura granular de un pavimento flexible, debe tenerse en cuenta que las aperturas de la geomalla permitan una buena interacción con el suelo y especialmente que garantice una baja deformación a lo largo de la vida útil de la misma, ante la permanente repetición de cargas dinámicas, que exigen a la geomalla mantener su resistencia a la tensión, para no permitir deformaciones en la estructura del pavimento flexible.

3.5. Tipos de geomallas y sus características

Las geomallas pueden ser flexibles de hilos de poliéster, nylon o fibra de vidrio de alta tenacidad, u homogéneos de alta densidad fabricados con polietileno, polipropileno, o bien fibra de vidrio para casos especiales.

La geomalla es una red regular de elementos tensiles conectados integralmente, con una geometría de apertura suficiente para permitir una traba mecánica importante con el suelo, agregado y material que le rodea.

Para todos los tipos de geomalla el porcentaje del área abierta debe estar entre el cincuenta y ochenta por ciento, según recomendación del Cuerpo de Ingenieros de los Estado Unidos.

Todas las geomallas deberán tener una resistencia mínima en las costillas, o juntas, de cuarenta libras, si esto no se cumple entonces deberá tener una masa mínima de 8 onzas por yarda cuadrada, y una rigidez flexional de 30.000 mg-cm.

Las mallas de polietileno y de polipropileno, deben contar con los tratamientos antioxidantes para estabilizarlos dentro del proceso de fabricación, para protegerlos durante la construcción y su vida útil, introduciendo la cantidad de carbón necesario para lograr dicho efecto.

Todas estas características forman una cadena de propiedades que confiere a las geomallas su capacidad para mejorar el rendimiento de la estructura del pavimento flexible.

3.5.1. Geomallas uni-axiales

Las geomallas uni-axiales poseen toda su capacidad alineada en una única dirección, con juntas transversales, éstas, se utilizan en aplicaciones donde se conoce a ciencia cierta la dirección de aplicación de la carga, soportando así grandes cargas de tracción en la dirección del rollo, por ejemplo en el refuerzo de taludes y muros, fabricadas principalmente con polietileno.

Estas suelen utilizarse como un refuerzo primario del suelo, brindándole resistencia al mismo, permitiendo en el caso de taludes, tomar ángulos de inclinación prácticamente verticales.

Actúan mediante dos mecanismos, por un lado, transfieren las tensiones resistentes al suelo por el empuje pasivo que se genera en los miembros transversales de la misma, y por el otro lado, crean esfuerzos de fricción entre el suelo y sus superficies horizontales (costillas). Ambos mecanismos se resisten al movimiento o *pull out* de la malla, creando un refuerzo eficaz.

Figura 19. Geomalla uni-axial



Figura 20. Detalle de costilla geomalla uni-axial



3.5.2. Geomallas bi-axiales

Las geomallas bi-axiales poseen su capacidad de carga en ambas direcciones, aproximadamente perpendiculares entre sí, y se utilizan para refuerzos con cargas en direcciones variables, por ejemplo carreteras.

Resisten altas cargas, a corto plazo o cargas moderadas durante períodos prolongados de tiempo, aplicadas en cualquier dirección del plano de colocación de la misma.

Estas son fabricadas principalmente con resinas selectas de polipropileno, son química y biológicamente inertes y muy resistentes a procesos degenerativos de los suelos, además de ser resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección del plano de la malla.

Dentro de las geomallas bi-axiales, pueden diferenciarse otros dos grupos, las geomallas rígidas y las geomallas flexibles. Las primeras son aquellas fabricadas de polipropileno, y las segundas fabricadas generalmente con fibras de poliéster unidas en los puntos de encuentro mediante diferentes métodos de tejido con un revestimiento generalmente de PVC.

La función más importante que debe cumplir la geomalla bi-axial es la de servir de refuerzo de las capas de la estructura de pavimento flexible, ayudando efectivamente a soportar las cargas vehiculares sobre la misma, ya sea durante el proceso constructivo, o bien durante su funcionamiento.

A partir de investigaciones realizadas en Estado Unidos, se ha demostrado que para el refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles, se requiere que la geomalla bi-axial esté a una profundidad óptima entre veinticinco y treinta y cinco centímetros de la superficie de rodadura, para lograr un mejor desempeño de la misma y obtener todos los beneficios proporcionados por la geomalla.

Figura 21. Geomalla bi-axial

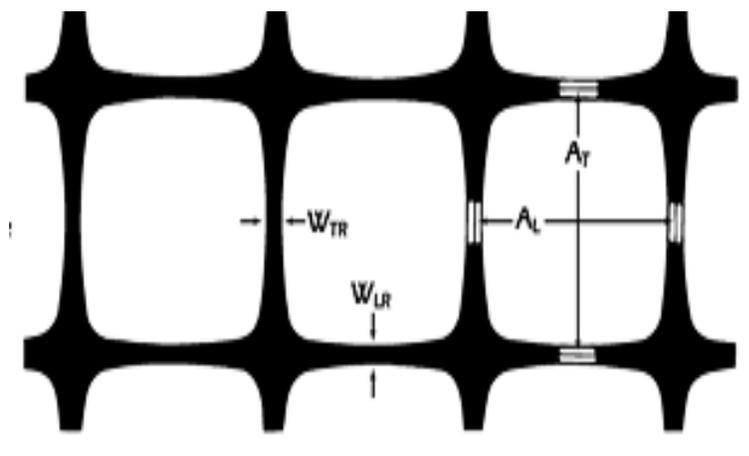


Figura 22. Detalle de costilla geomalla bi-axial



La presencia de la geomalla bi-axial en la capa de base ha demostrado contribuir con el cambio en las condiciones de carga y deformación del material de la sub-rasante, ya que la rigidez incrementada en esta capa da lugar a una reducción en las tensiones verticales actuantes sobre la sub-rasante.

3.6. Beneficios que se obtienen utilizando la geomalla en el diseño de pavimentos flexibles

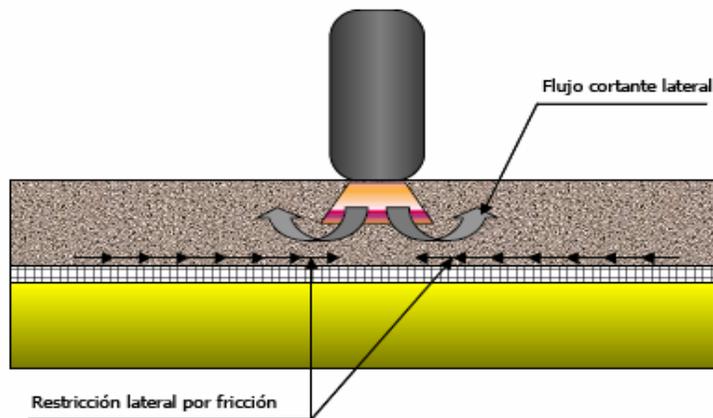
3.6.1. Refuerzo

Se han identificado tres tipos de mecanismos de refuerzo fundamental que suceden al colocar una geomalla dentro de la capa granular, o bien dentro del sub-rasante y la capa de base granular.

3.6.1.1. Restricción del desplazamiento lateral

La restricción del desplazamiento lateral hace referencia al confinamiento que restringe el desplazamiento del material granular ante la aplicación de carga.

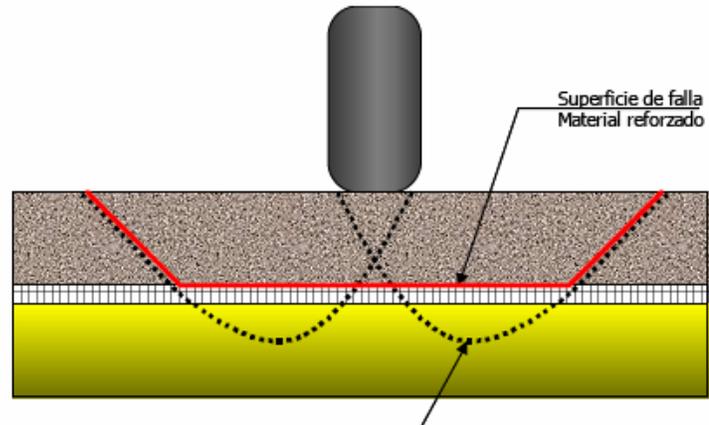
Figura 23. Restricción del desplazamiento lateral y confinamiento del material



3.6.1.2. Mejora de la capacidad soporte

El segundo mecanismo es en consecuencia al desplazamiento hacia arriba de la envolvente de falla del sistema del pavimento. La geomalla actúa como una barrera que controla la superficie inferior de la envolvente de falla, confinándola completamente a la capa de base granular, que ofrece mayor resistencia que la sub-rasante.

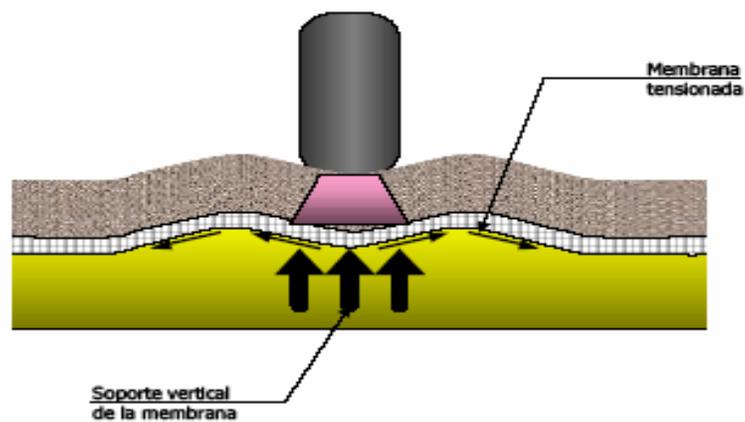
Figura 24. Mejora de la capacidad soporte del suelo



3.6.1.3. Efecto de membrana tensionada

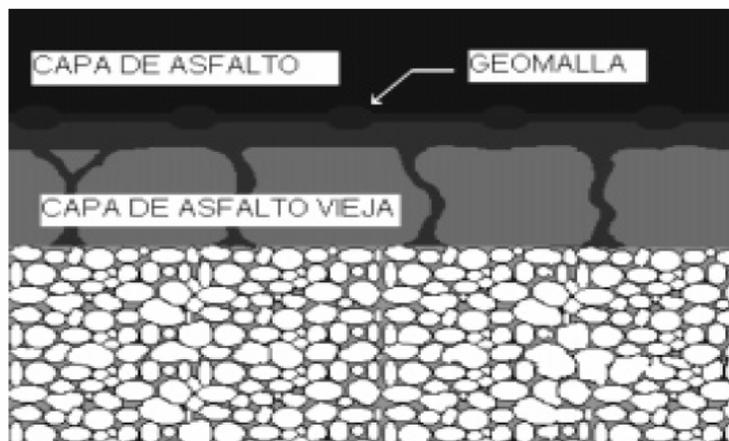
Este efecto se basa en el mejoramiento de la capacidad de distribución vertical del esfuerzo resultante de la tensión en una membrana deformada.

Figura 25. Efecto de membrana tensionada producido por la geomalla



En recapeos para minimizar el espesor de la nueva carpeta de rodadura, retrasar la aparición de las grietas e incrementar la resistencia de la estructura del pavimento flexible se ha utilizado la geomalla de fibra de vidrio, aumentando la resistencia de la nueva carpeta asfáltica, ya que absorbe los esfuerzos a tracción horizontal que se generan sobre la misma. Es importante tomar en cuenta que exista continuidad dentro del conjunto, por lo que es fundamental que la geomalla se adhiera perfectamente al asfalto. Para incrementar esta adherencia se puede impregnar y recubrir esta de material bituminoso

Figura 26. Ubicación de la geomalla en recapeos



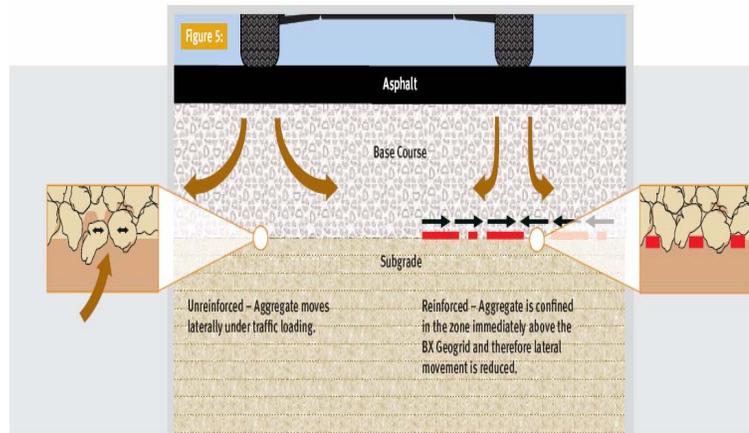
3.6.2. Confinamiento

El refuerzo de estructuras granulares en pavimentos flexibles con la utilización de la geomalla se ha definido como refuerzo de confinamiento, debido al trabe que se genera en la interacción de suelo granular de la capa de base con la geomalla.

3.6.3. Separación de capas

La separación de capas a través de una geomalla evita que los componentes de la capa de base granular de un pavimento flexible, se puedan mezclar con el suelo de la sub-rasante, cambiando las características iniciales de ésta, produciendo una falla de deformación en esta interfase, y desde luego el ahuellamiento y fisuras en la carpeta de rodadura.

Figura 27. Efecto de separación de capas y confinamiento de la geomalla



3.7. Características específicas para geomallas utilizadas en refuerzo de pavimentos

3.7.1. Tamaño de la abertura

Las aberturas de las geomallas deben ser lo suficientemente grandes, como para permitir que los agregados y el suelo penetren a través de ellas, pero lo suficientemente pequeñas para proporcionar un trabe eficaz. Se ha demostrado que una abertura entre 0.9 y 1.5 pulgadas tiene el mejor desempeño con la mayor parte de las combinaciones de agregados y suelos de las bases para carreteras.

3.7.2. Área de la abertura

El área de abertura es un porcentaje del área total de la geomalla medida en sentido horizontal. Para todos los tipos de geomalla este porcentaje debe de ser entre el cincuenta y ochenta por ciento del área total. Las geomallas con mayor estabilidad de apertura tienen un mejor desempeño en campo.

3.7.3. Grosor de las costillas y uniones

Las costillas cuadradas o rectangulares y gruesas proporcionan mejor interacción con los suelos al momento de confinar las partículas, en comparación a las costillas redondeadas y angostas.

3.7.4. Resistencia a la torsión

También es conocido como módulo de estabilidad de la abertura, es la resistencia al movimiento de rotación en el plano de una carga aplicada a la unión central de una muestra.

3.7.5. Resistencia a la flexión

Esta característica simplifica la instalación en campo ya que ofrece resistencia a la deformación durante y después de la instalación de la geomalla.

3.7.6. Resistencia a la tensión

Para el caso de las geomallas uni-axiales esta resistencia se da únicamente en un sentido, en el sentido longitudinal de la misma, o bien el sentido del rollo.

Para el caso de la geomallas bi-axiales esta resistencia se presenta en ambos sentidos, sin embargo presentan mayor capacidad a la tensión en el sentido longitudinal, o bien el sentido del rollo.

3.7.7. Resistencia de las juntas

Todas las geomallas deben tener una resistencia mínima en las uniones o costillas de cuarenta libras, con el fin de transmitir eficazmente las cargas de costilla a costillas, a lo largo y ancho de toda la geomalla.

3.8. Procedimiento de instalación en campo

Al recibir el producto en campo, debe de asegurarse de haber recibido el producto solicitado, ya que las geomallas tienen un aspecto similar a simple vista, pero distintas características estructurales. Examinar la geomalla para asegurarse que no tiene defectos o daños que pudieron haberse producido durante el envío y manipulación del producto. Es indispensable almacenar las geomallas de tal modo que no tengan contacto excesivo con lodo, concreto húmedo y otros materiales nocivos que puedan quedar adheridos a ella. Se pueden almacenar descubiertas durante seis meses a la intemperie, en forma vertical o tradicionalmente en forma horizontal en pilas de hasta cinco rollos de altura.

Figura 28. Rollos de geomalla apilados correctamente



Remover la capa vegetal, eliminando raíces troncos y toda clase de vegetación y desechos que se encuentren dentro del ancho de la vía a construir.

Nivelar con equipo adecuado para lograr una superficie lo más uniforme posible.

La instalación de la geomalla debe de realizarse durante el día, en ausencia de lluvia, es recomendable no extender los rollos de geomalla durante la noche ya que la iluminación artificial no garantiza suficiente visibilidad ni permite identificar y corregir de inmediato los defectos que pudieran surgir durante la instalación.

Sobre la vía, desenrollar la geomalla en la dirección del tráfico, de manera que el eje largo del rollo ruede paralelo a los patrones del tráfico, para subrasantes muy blandas es aconsejable desenrollar la geomalla en forma transversal o perpendicular a la alineación del terraplén del camino.

Figura 29. Colocación y tendido de la geomalla



Traslapar los rollos adyacentes en sus costados y extremos, de acuerdo con los datos de la tabla.

Figura 30. Traslapos recomendados para geomalla

| Resistencia de la subrasante | ¿Se debe eliminar la vegetación? | Orientación de BX ³ | Traslape de BX ⁴ | ¿Ataduras? ^{4,2} | ¿Tráfico directo? ⁵ |
|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| $CBR \leq 0,5$ | N | T o L | 90 cm | S | N |
| $0,5 \leq CBR \leq 2$ | Usualmente | L | 60 cm – 90 cm | N | N |
| $2 \leq CBR \leq 4$ | S | L | 30 cm – 60 cm | N | Limitado |
| $4 \leq CBR$ | S | L | 30 cm | N | S |

Notas:

1. El resumen es una presentación general, consulte el texto para obtener información específica.
2. S = Sí, normalmente se requiere; N = No, normalmente no se requiere.
3. Orientación de la geomalla (eje del rollo en relación con el tráfico): T = Transversal, L = Longitudinal.
4. Regla general de traslape de la geomalla: Traslape = 90 cm para $CBR \leq 1$; Traslape = 30 cm para $CBR \geq 3$; interpolar.
5. Tráfico directo se refiere sólo a equipos convencionales con neumáticos.

Traslapar las geomallas en la dirección que se esparcirá el relleno para evitar que se levante en los traslapos a medida que avanza el mismo. Para acelerar el proceso de traslape de la geomalla es recomendable colocar los rollos en el extremo más alejado del área de cobertura primero, avanzada hacia el extremo desde donde se esparcirá el relleno.

Figura 31. Traslape de la geomalla en campo



Para el caso de las sub-rasantes muy blandas, es recomendable la utilización de ataduras de cable de nylon, para ayudar a mantener las dimensiones del traslape, es importante tomar en cuenta que estas ataduras no son consideradas como conexiones estructurales, simplemente son medios auxiliares durante el proceso constructivo.

Para segmentos de curva, tapaderas de drenajes y otras estructuras y obras inamovibles que se encuentren a lo largo del trayecto, se puede realizar el corte de la geomalla con cualquier instrumento similar a un cuchillo o con una sierra mecánica de mano, siempre y cuando se utilice el equipo de seguridad adecuado y respetando los traslapes correspondientes.

Figura 32. Colocación de la geomalla en curva



Figura 33. Corrección de arrugas y corte de la geomalla



Es importante colocar las geomalla en sesiones de trabajo diarias, para mantener la correcta alineación durante todo el tramo.

Para mantener los traslapes y la alineación en toda el área de cobertura se debe de sujetar, antes de desenrollar totalmente la geomalla, al comienzo del rollo, en el centro y las esquinas. Esto se puede lograr con pequeñas pilas de material, con arandelas, clavijas o bien utilizando grapas grandes de gran calibre, colocándolas a través de las aperturas de la geomalla, nunca rasgando el producto.

Figura 34. Fijación de la geomalla por medio de clavijas

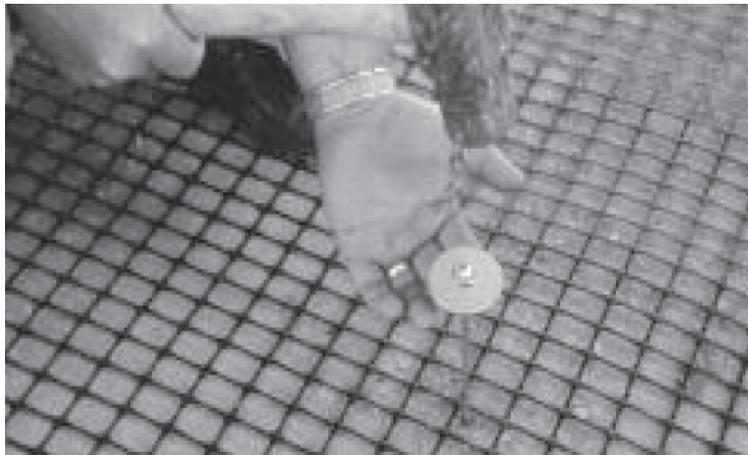
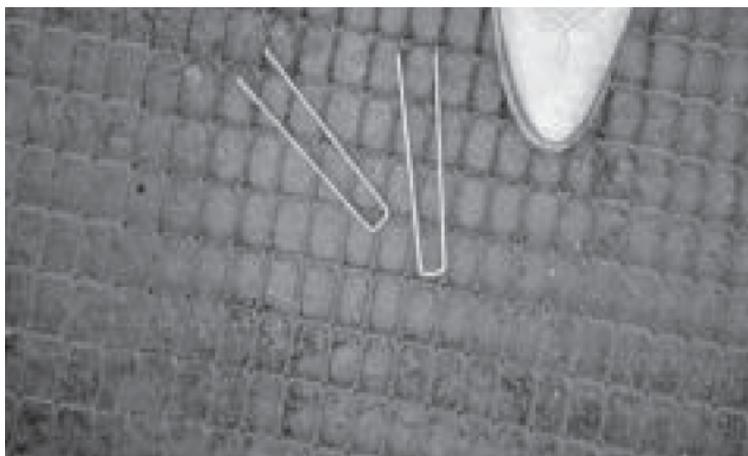


Figura 35. Grapas grandes de gran calibre para fijación de la geomalla



Para que ésta quede bien tensa, se debe desenrollar la geomalla, alinearla y estirla en forma manual para eliminar las arrugas. Puede ser necesario, dependiendo del proyecto, la utilización de clavijas o grapas adicionales para mantener la geomalla en posición, antes de colocar el material de relleno.

Figura 36. Geomalla alineada y tensada



Al momento de esparcir el material sobre la geomalla con maquinaria, es común que el desplazamiento genere ondulaciones de la geomalla delante del relleno que avanza, provocando que estas ondulaciones se eleven a tal grado que puedan ser dañadas por el equipo de tendido. Para solucionar esto, se debe de tensar nuevamente la geomalla en el sector afectado, eliminando en este caso la ondulación si fuera pequeña. Por otro lado si la ondulación es considerablemente grande y la geomalla no esta lo suficientemente tensa, deben eliminarse por completo las clavijas o el material apilado para permitir que las ondulaciones se disipen en los extremos y bordes del rollo.

No se debe, por ningún motivo, conducir directamente los vehículos de oruga sobre la geomalla. Para poder hacer esto, se debe de contar con una

capa de por lo menos quince centímetros de espesor de relleno, entre la geomalla y las orugas.

Debe tenerse cuidado que los dispositivos y accesorios de la maquinaria pesada, no queden atrapadas con la geomalla, las cuchillas deben de levantarse gradualmente a medida que se vierta el material de relleno, procurando que el mismo caiga en forma de cascada sobre la geomalla, en lugar de ser empujado sobre ella.

Figura 37. Tendido de material sobre la geomalla



Pueden utilizarse los métodos de compactación estándar, en el caso de suelos muy blandos, se recomienda la compactación estática, en lugar de la vibratoria, con un rodillo liviano, manteniendo el porcentaje de humedad óptimo del relleno para lograr una compactación más eficaz. Si se forman surcos debido al tráfico de camiones o niveladoras, deberá colocarse el material de relleno de inmediato para reforzar la sección. Una compactación inadecuada producirá la formación de surcos en la superficie debajo de las cargas de las ruedas, estos reducen el espesor efectivo total del relleno y aumentan la tensión en la sub-rasante.

Figura 38. Procedimiento de compactación tradicional



Si la geomalla se daña durante o después de la instalación, se debe de reparar colocando un parche en el área dañada, sustituir el relleno y colocar el parche extendiéndolo un metro más allá del área dañada en todas las direcciones.

Si se forman surcos debajo de las ruedas de los camiones, no se deben de nivelar. Los surcos normalmente indican que el relleno es demasiado delgado, esta demasiado húmedo o no esta bien compactado. Los surcos se deben de rellenar y compactar, proporcionando un relleno extra en las áreas donde se necesite.

4. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA GEOMALLA BI-AXIAL BX DE LA EMPRESA TENSAR

4.1. Estabilidad de la abertura y resistencia a la torsión

Los términos “estabilidad secante de la abertura”, “módulo torcional de rigidez” y “módulo de estabilidad de la abertura”, son términos frecuentemente utilizados para describir esta misma propiedad.

El módulo de estabilidad de la abertura, se define como una fuerza torcional, o torque, dividido entre los grados de rotación del mismo.

El procedimiento que se describirá a continuación se limita únicamente a geomallas bi-axiales con tamaños de abertura no mayores de setenta y cinco milímetros y no menores de quince milímetros, medidos en cualquier sentido de la costilla.

El ensayo consiste en colocar una muestra de geomalla sobre una superficie horizontal, plana, cuadrada, sujeta en sus dos extremos, aplicando un torque en el centro de la misma provocando que esta gire y se deforme. El valor total del torque dividido entre el ángulo de rotación es lo que se conoce como módulo de estabilidad de la abertura. El ángulo de rotación de la barra para este tipo de ensayos no debe de ser mayor a veinte grados.

El módulo de estabilidad de la abertura, es una medida de la rigidez de la geomalla, que depende directamente de otras características de la geomalla tales como, la estabilidad, rigidez y resistencia de las costillas. El conjunto de

estas características influyen en la calidad de geomalla utilizada como refuerzo de estructuras de pavimento flexible.

El aparato consiste en una mesa, un par de abrazaderas rectangulares para los extremos de la geomalla, una barra con una abrazadera rectangular para sujetar las costillas en un punto, y un mecanismo de aplicación de carga y de lectura del ángulo de rotación.

La mesa permite que la geomalla descansa sobre una superficie de sesenta centímetros cuadrados, completamente horizontal pero no estirada, tal y como se colocaría en campo. Esto implica la necesidad de contar con dos platos, uno para la parte superior y el otro para la parte inferior para asegurar que la muestra quede completamente horizontal sin arrugas, es importante tener en cuenta que estos platos deben de ser retirados al momento de realizar el ensayo.

Las abrazaderas rectangulares de los extremos deben sujetar la muestra a una distancia no mayor de ocho milímetros, medidos a partir del extremo de la última apertura, evitando que la muestra se mueva lateralmente. El movimiento lateral máximo permitido es de un milímetro durante el ensayo, si ésto llegara a suceder, se debe descartar la muestra y colocar una nueva.

La barra para la aplicación de torque tiene una abrazadera rectangular en su extremo inferior, la cual se coloca en el centro de la costilla, o bien el nudo, instalada de tal forma que no provoque ningún tipo de carga o fuerza vertical sobre la muestra, es importante asegurarse que esta barra esté completamente vertical o perpendicular sobre la mesa y la muestra para evitar que induzca un torque adicional debido a la inclinación.

La abrazadera rectangular colocada en el extremo de la barra debe transmitir la misma fuerza horizontal a cada costilla, a una distancia de doce milímetros medidos a partir del centro del nudo.

El ensayo finaliza en el momento de alcanzar un torque de dos mil newton-milímetro, o bien un ángulo de rotación de veinte grados.

Figura 39. Mesa para ensayo de resistencia a la torsión para geomalla bi-axial

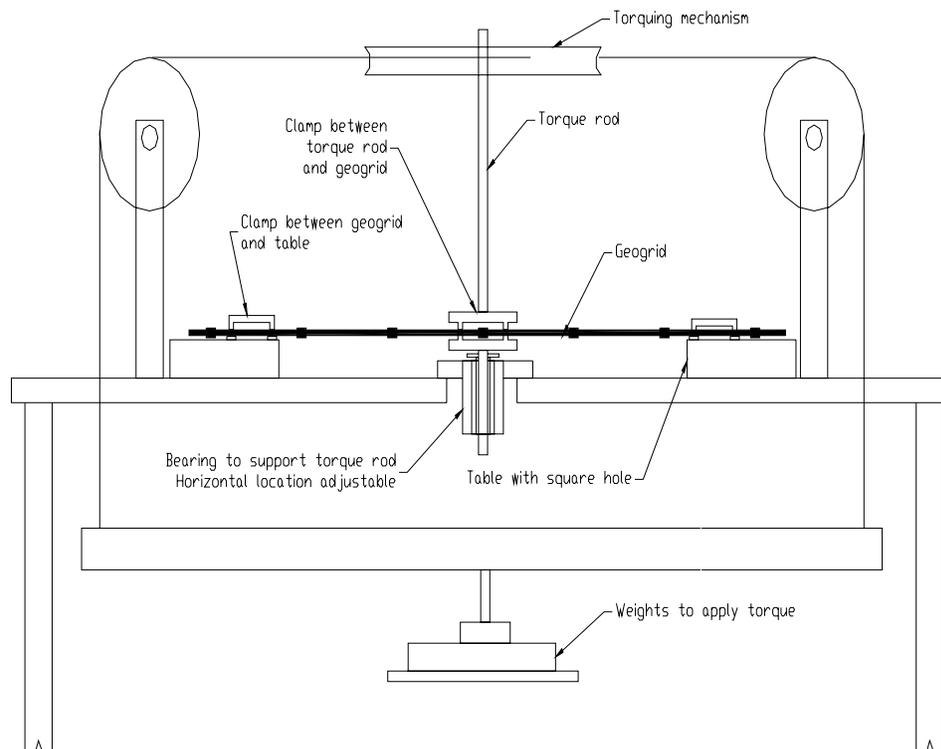
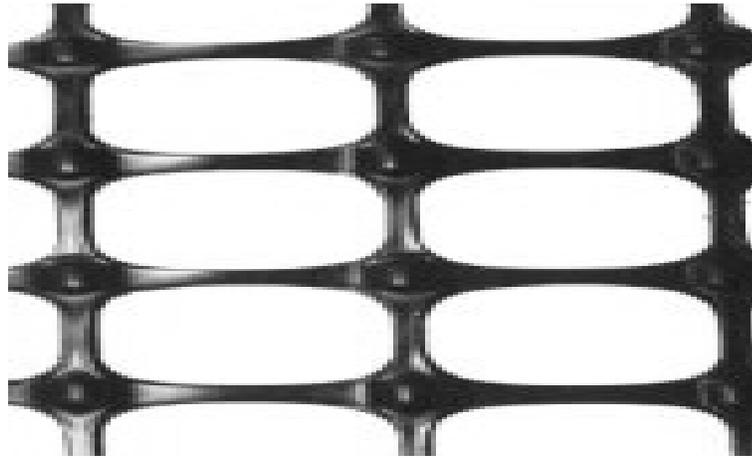


Figura 40. Muestra de geomalla bi-axial para ensayo



4.2. Rigidez y resistencia a la flexión

El ensayo se realiza para determinar la rigidez y la resistencia a la flexión de un conjunto de costillas de una geomalla bi-axial.

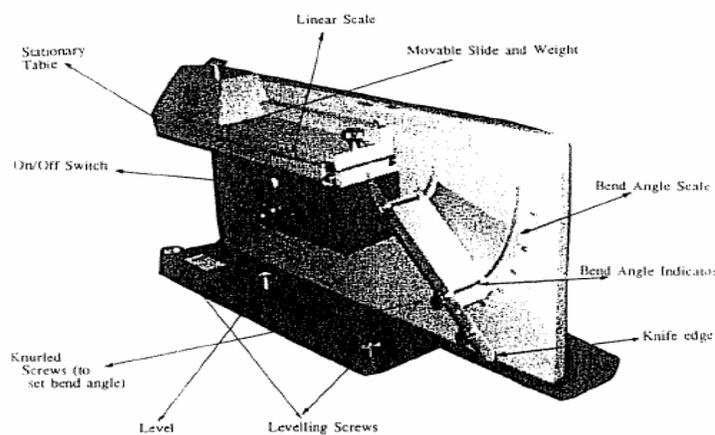
El aparato con el que se realiza el ensayo, consiste en una plataforma horizontal, con un área mínima de setenta y ocho centímetros cuadrados, de un material que proporcione una superficie suave y plana sin fricción, con un nivel de burbuja para asegurar que la muestra quede completamente horizontal, y un brazo metálico para aplicar la fuerza de flexión, con su respectivo indicador de ángulo de rotación. Cuenta además con un motor para alimentar la máquina con las muestras a una velocidad de ciento veinte milímetros por minuto, abrazaderas rectangulares para sujetar la geomalla y una escala para medir tanto el largo de la muestra como la longitud de la curva que se forme, al momento de aplicar la fuerza.

La muestra a utilizar, de un metro de largo, debe indicar la dirección del rollo, que es como se ha dicho en otras oportunidades, la dirección de mayor resistencia de la geomalla.

El ensayo consiste en aplicar una fuerza a la muestra, hasta que esta se doble, tomando la lectura de la escala incorporada en la máquina, tanto del ángulo de rotación, no mayor de cuarenta grados, así como la longitud de curva formada en la deflexión, datos de los cuales se obtiene la rigidez flexural, o resistencia a la flexión.

La muestra debe ser ensayada en sus dos extremos, y en sus dos caras, realizando un total de cuatro ensayos a la misma, obteniendo como resultado final el promedio de los cuatro ensayos.

Figura 41. Máquina para realizar ensayo de rigidez y resistencia a la flexión



4.3. Resistencia a la tensión

Este ensayo se realiza para determinar la resistencia a la tensión y el comportamiento a la elongación de una costilla o de un conjunto de éstas, de una geomalla bi-axial, el resultado del mismo puede utilizarse como referencia para el rollo completo de geomalla, indicando siempre la dirección del mismo en la que se realizó el ensayo.

Se debe poner especial atención al método de sujeción con las abrazaderas rectangulares, debido a los diferentes tipos de costillas, espesores y formas que existen en el mercado, para evitar que la muestra se suelte o destruya en los extremos al momento de hacer el ensayo. Se pueden realizar algunas modificaciones al sistema de sujeción, dependiendo de la muestra.

Para la realización de este ensayo se deben identificar dos tipos de costillas propias de la geomalla bi-axial, las costillas longitudinales y las transversales. Las primeras son los elementos de la geomalla bi-axial que se encuentran paralelo a la dirección del rollo, que además son las que resisten mayores esfuerzos de tensión. Y las segundas son los elementos transversales o perpendiculares a la dirección del rollo, y se colocan en sentido del menor esfuerzo.

El aparato con el que se realice el ensayo debe ser capaz de operar a un rango constante de tensión, de cincuenta milímetros por minuto, aplicada a la muestra, midiendo al mismo tiempo la fuerza de tensión, y la deformación con un margen de error de más menos uno por ciento.

La muestra se debe colocar centrada entre las abrazaderas rectangulares de tal forma que exista una distancia entre estas de doscientos milímetros, con

un margen de error de más menos tres milímetros, quedando completamente paralelas entre sí.

El procedimiento consiste en aplicar una fuerza de tensión constante sobre la muestra midiendo al mismo tiempo la fuerza aplicada y la deformación o elongación de la misma, a una velocidad de cincuenta milímetros por minuto, hasta que esta falle.

Si en dado caso la muestra se suelta de las abrazaderas o bien se daña o desgarrar durante el ensayo, se debe de detener el procedimiento descartando la misma y colocando una muestra nueva, iniciando nuevamente el proceso.

Figura 42. Costilla de geomalla bi-axial utilizada para ensayo

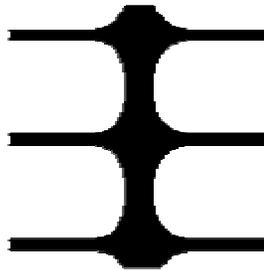


Figura 43. Máquina utilizada para ensayo de tensión y deformación

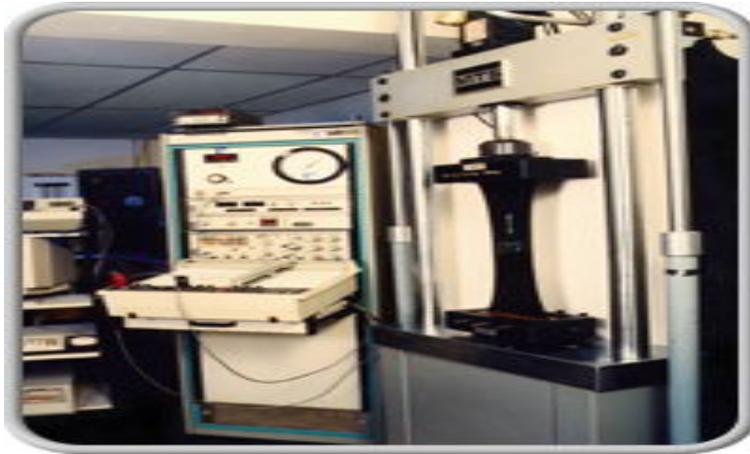


Figura 44. Detalle de ensayo de tensión y deformación



4.4. Resistencia de la uniones o nudos

Este procedimiento se utiliza para determinar la resistencia de una unión también llamada nudo o nodo, de una geomalla bi-axial. Los resultados de éste pueden ser comparados con los del ensayo de la resistencia a la tensión, de la misma muestra.

La unión o nudo se define como la interconexión de las costillas longitudinales y transversales de una geomalla bi-axial, proporcionando estabilidad dimensional así como un mecanismo de transferencia de cargas o esfuerzos.

El aparato que se utiliza para realizar este ensayo es exactamente el mismo que utiliza para el ensayo de resistencia a la tensión descrito anteriormente. La única diferencia radica en el método de sujeción de la muestra por medio de las abrazaderas rectangulares, de las cuales se deben de identificar dos tipos, las abrazaderas rectangulares para las uniones y las abrazaderas rectangulares para la costilla.

Las abrazaderas rectangulares para las uniones se utilizan únicamente para sujetar o confinar las costillas transversales a cada lado del nudo, evitando que la muestra se suelte o deteriore durante el ensayo. Deben de ser ajustables para que la muestra descansa libremente sobre las mismas y por ningún motivo deben tocar la unión.

El segundo tipo de abrazadera rectangular que se utiliza se debe colocar en la parte inferior de la costilla. Debe ser lo suficientemente ancha para sujetar la muestra completa evitando que esta se suelte y deteriore al momento de realizar el ensayo.

La muestra para hacer el ensayo debe cortarse forma de “T” siendo la parte inferior la más larga de un total de tres a cuatro nudos aproximadamente, con el fin de permitir suficiente área de sujeción en la abrazadera. Debe indicarse como en todos los ensayos descritos anteriormente la dirección del rollo, que es como ya se ha dicho, el sentido con mayor resistencia.

Figura 45. Sección de abrazadera rectangular para sujeción de nodo

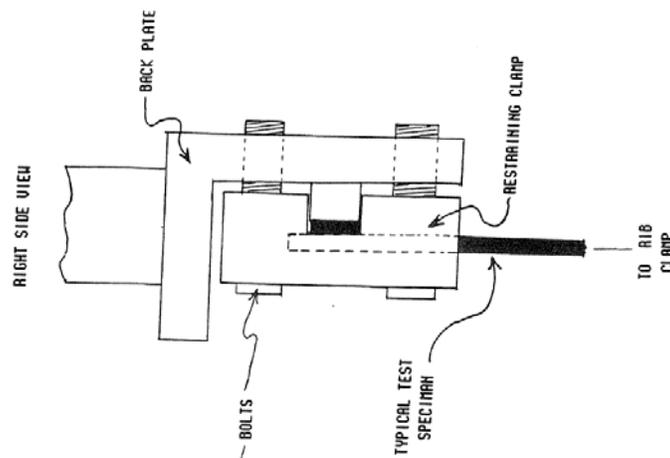
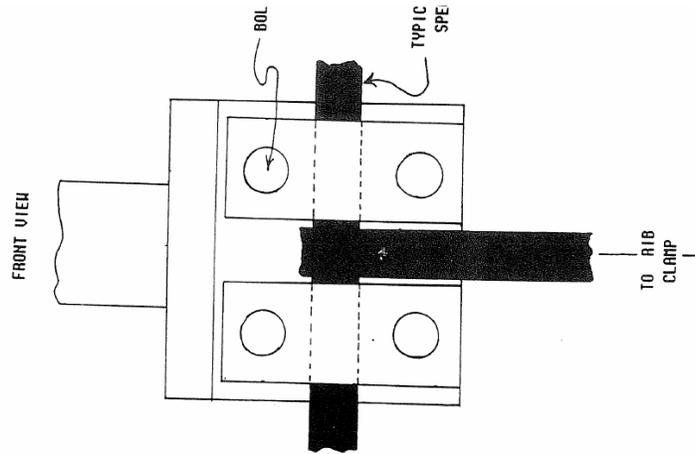


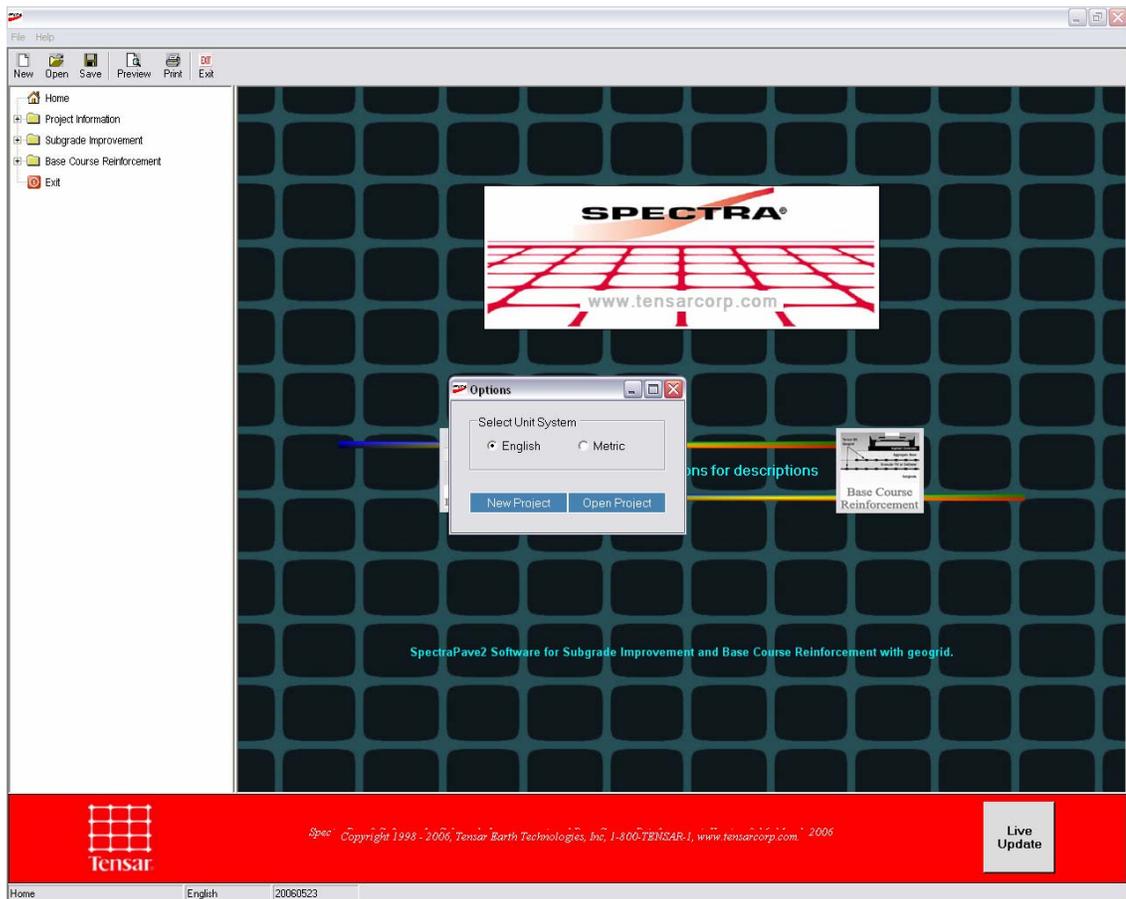
Figura 46. Abrazadera rectangular para sujeción de nodo



5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO ASISTIDO POR COMPUTADORA UTILIZANDO EL PROGRAMA SPECTRA PAVE 2

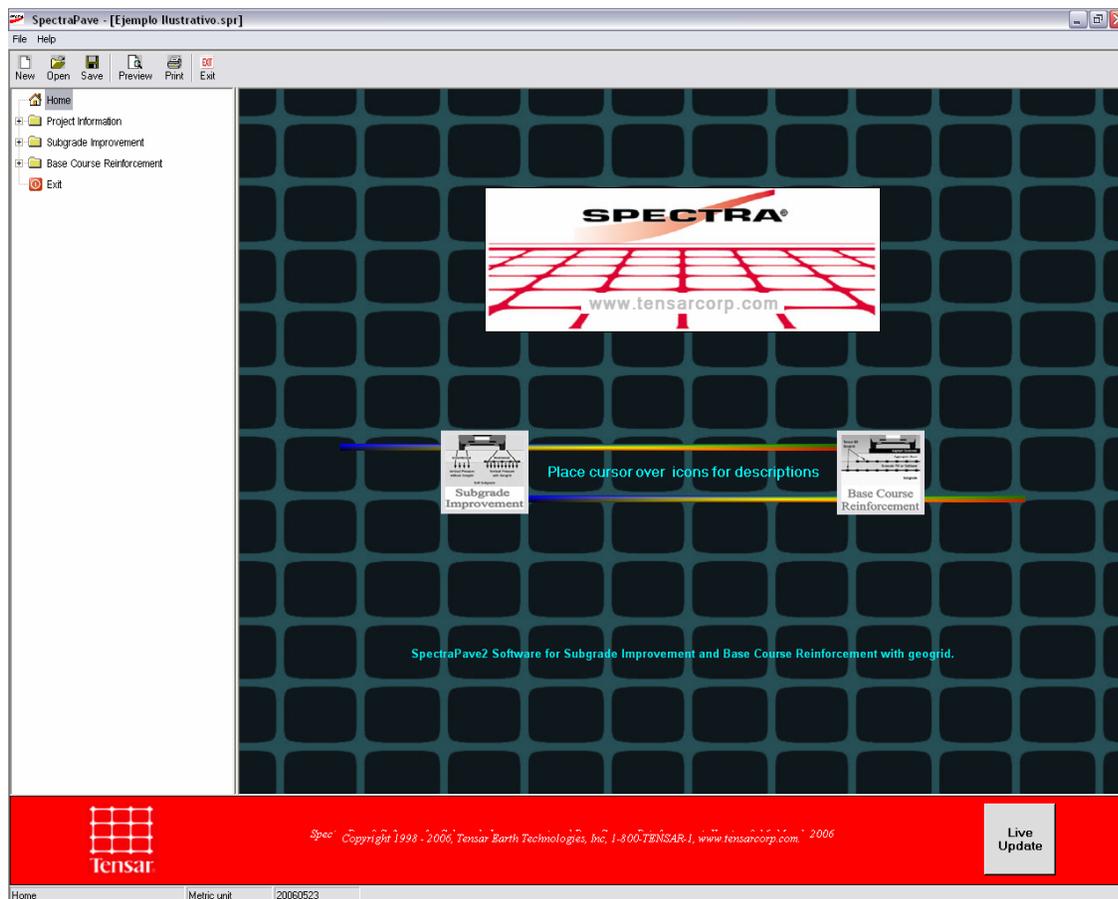
5.1. Utilización del programa SPECTRA PAVE 2, de la empresa TENSAR

Figura 47. Pantalla principal



En la primera pantalla se presenta la opción de iniciar un proyecto nuevo o bien de abrir el archivo de uno previamente guardado. Además de dar la opción de seleccionar entre dos sistemas de medida, el métrico o inglés.

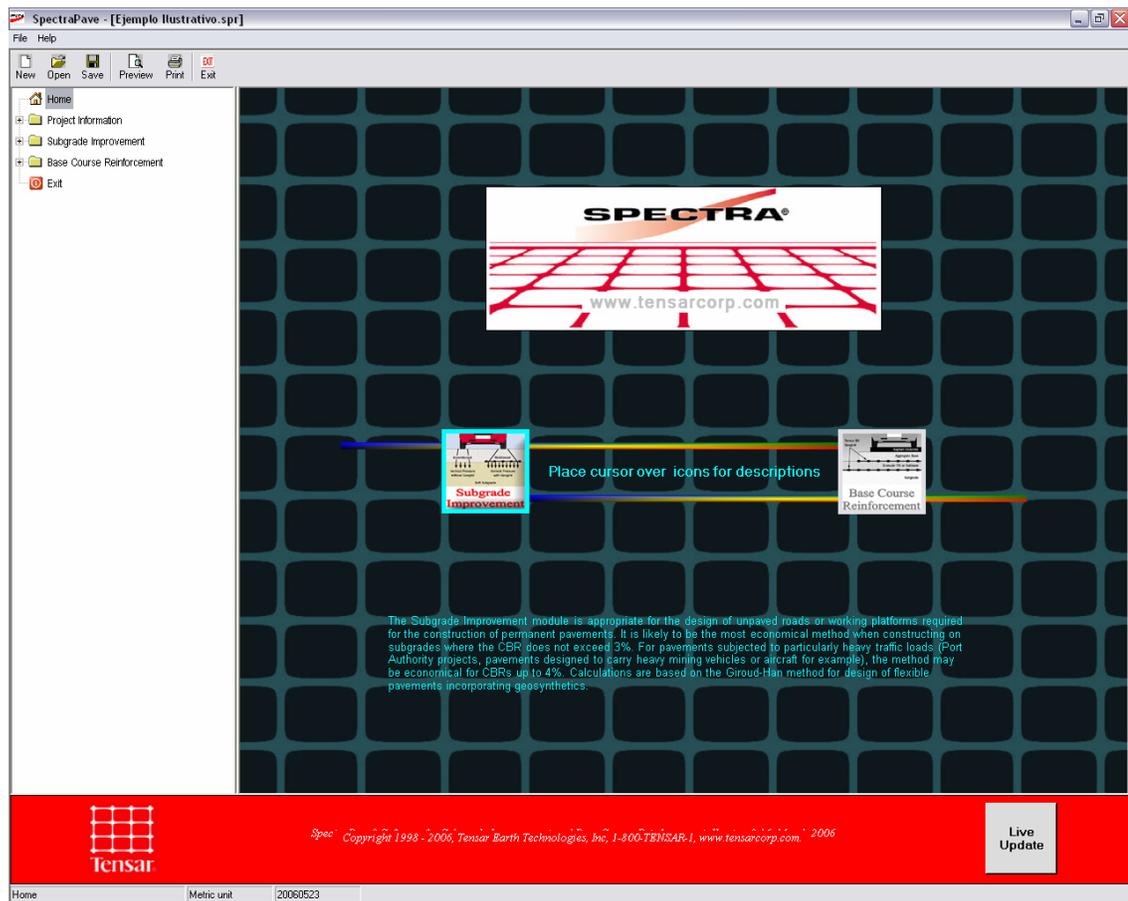
Figura 48. Selección de proyecto a desarrollar



Como complemento al menú tradicional que presenta el sistema Windows, el programa cuenta con su propio menú, al lado izquierdo de la pantalla, para acceder a todas las aplicaciones y módulos, con las que cuenta, en forma de carpetas y sub carpetas.

Una vez seleccionado el archivo y el sistema de medida a utilizar el programa presente dos opciones de diseño.

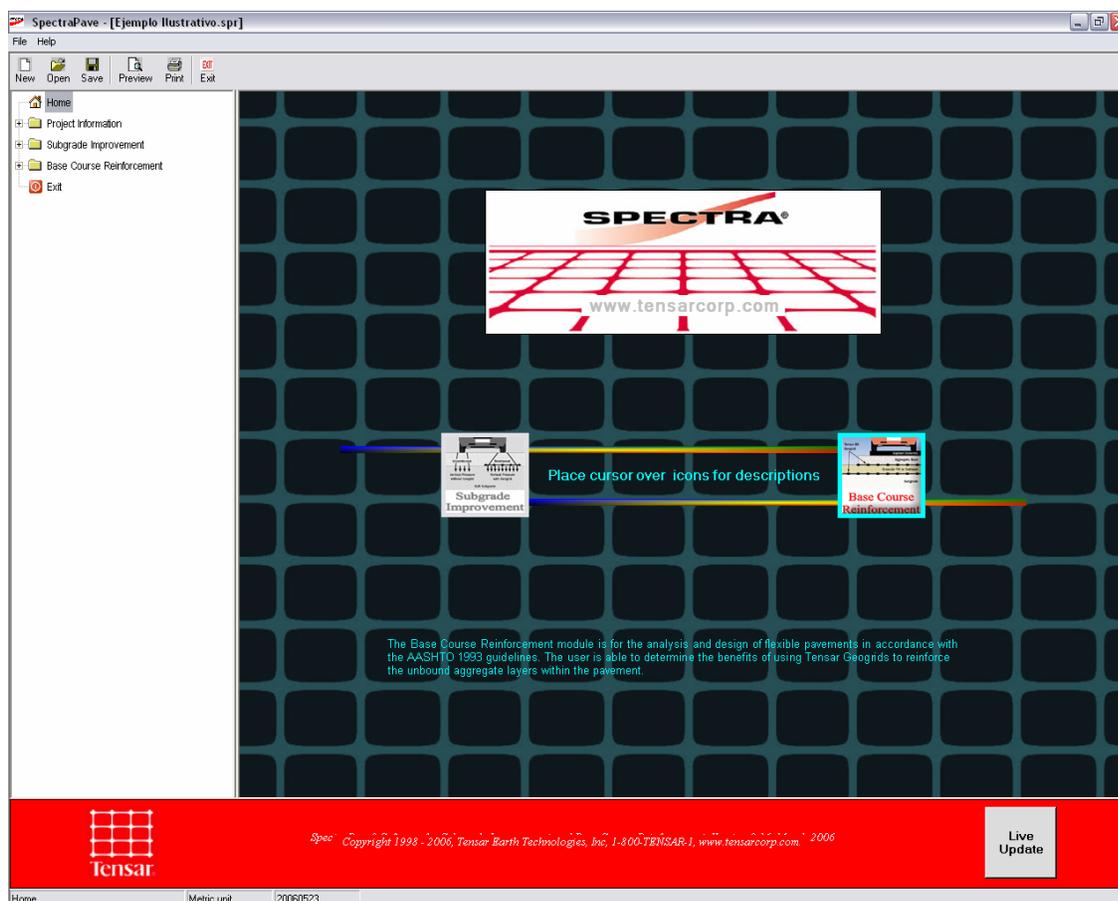
Figura 49. Opción de refuerzo de sub-rasante



El icono de la izquierda, que se encuentra resaltado, es la opción que nos da el programa, para realizar el estudio del mejoramiento de la sub-rasante, utilizando la geomalla bi-axial.

Cuando posicionamos el cursor directamente sobre el icono cuadrado correspondiente al módulo de mejoramiento de la sub-rasante, el programa automáticamente despliega una pequeña descripción de su contenido, en este caso, en la parte inferior de los iconos.

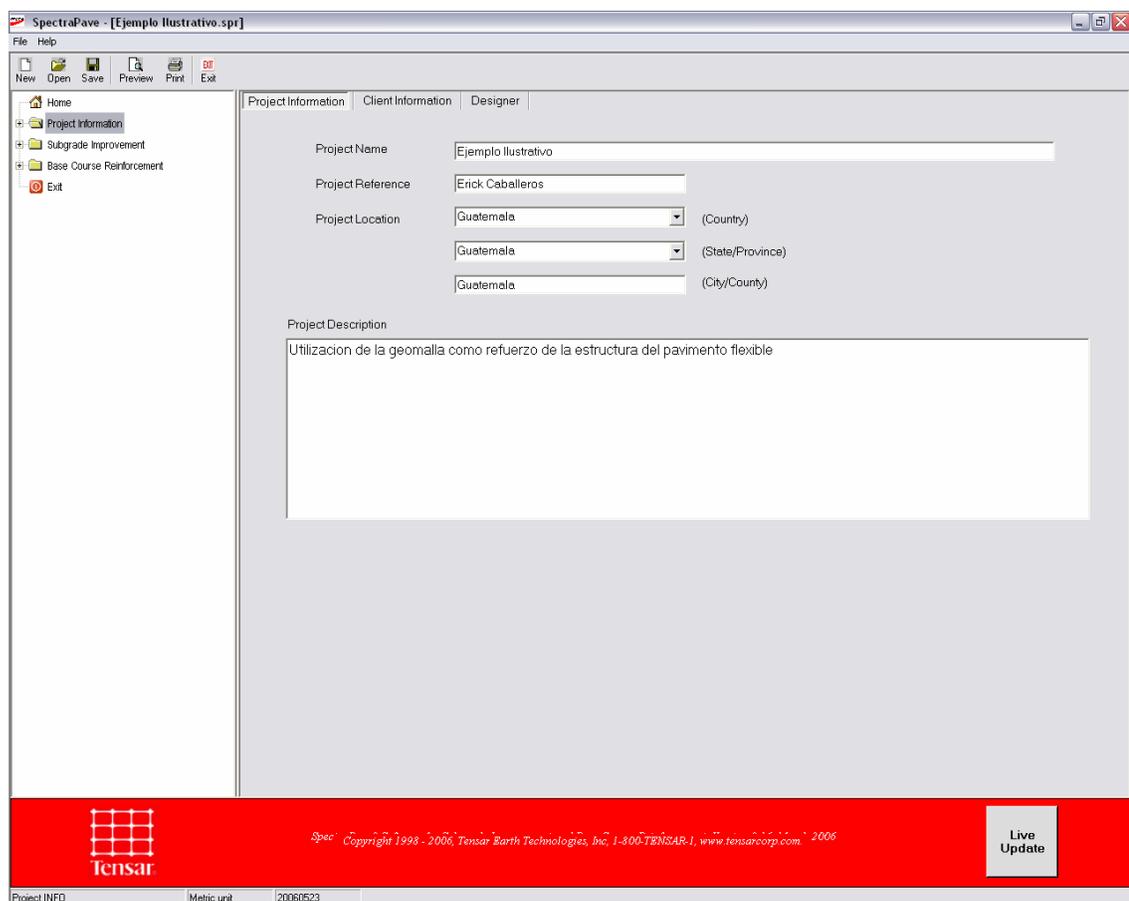
Figura 50. Opción de refuerzo de base



El icono de la derecha, que se encuentra resaltado, es la opción que nos da el programa, para realizar el estudio del mejoramiento de la base granular, utilizando la geomalla bi-axial.

Nuevamente, el programa automáticamente despliega una pequeña descripción del contenido del módulo, en la parte inferior.

Figura 51. Pantalla con información general del proyecto



Posterior a la selección del proyecto a desarrollar se debe completar la información general a dicho proyecto.

- Nombre del proyecto
- Alguna referencia o palabra clave
- La ubicación del proyecto
 - País
 - Estado o Provincia
 - Condado o Ciudad
- Por último una breve descripción del proyecto a desarrollar

Figura 52. Pantalla con información general del cliente

The screenshot displays the SpectraPave software interface. The window title is "SpectraPave - [Ejemplo Ilustrativo.spr]". The menu bar includes "File" and "Help". The toolbar contains icons for "New", "Open", "Save", "Preview", "Print", and "Exit". On the left, a tree view shows a folder structure: "Home", "Project Information", "Subgrade Improvement", "Base Course Reinforcement", and "Exit". The main area is divided into three tabs: "Project Information", "Client Information", and "Designer". The "Client Information" tab is active, showing a form with the following fields:

| | |
|------------------|---------------------------------|
| Company Name | Erick Arnoldo |
| Contact Person | Caballeros Torres |
| Street Address | . |
| City/County | Guatemala |
| Country | Guatemala |
| State | Guatemala |
| Zip Code | 01011 |
| Telephone Number | (502) 53 06 26 54 |
| Fax Number | . |
| E-mail Address | erickcaballeros@intelnet.net.gt |

At the bottom of the window, there is a red footer bar. On the left is the Tensar logo. In the center, it reads "Spec Copyright 1998 - 2006, Tensar Earth Technologies, Inc. 1-800-TENSAR-1, www.tensarcorp.com 2006". On the right is a "Live Update" button. Below the footer bar, the status bar shows "Project INFO", "Metric unit", and "20060523".

Adicionalmente se completa la información completa del cliente.

- Nombre de la empresa
- Nombre del contacto
- Dirección del cliente o empresa
- Ciudad y/o Estado
- Código postal
- Número de teléfono
- Número de fax
- Dirección de correo electrónico

Figura 53. Pantalla con información general del diseñador

The screenshot shows the SpectraPave software interface with the 'Designer' tab selected. The form contains the following information:

| Field | Value |
|--------------------|---------------------------------|
| Design Firm's Name | Tensor Earth Technologies, Inc. |
| Street Address | 5883 Glenridge Drive |
| City/County | Atlanta |
| Country | United States |
| State | Georgia |
| Zip Code | Subgrade improvement |
| Telephone Number | 404-250-1290 |
| Fax Number | 404-250-9185 |
| User | Erick Caballeros |
| E-mail Address | erickcaballeros2@telnet.net.gt |
| Date | Guatemala 2006 |

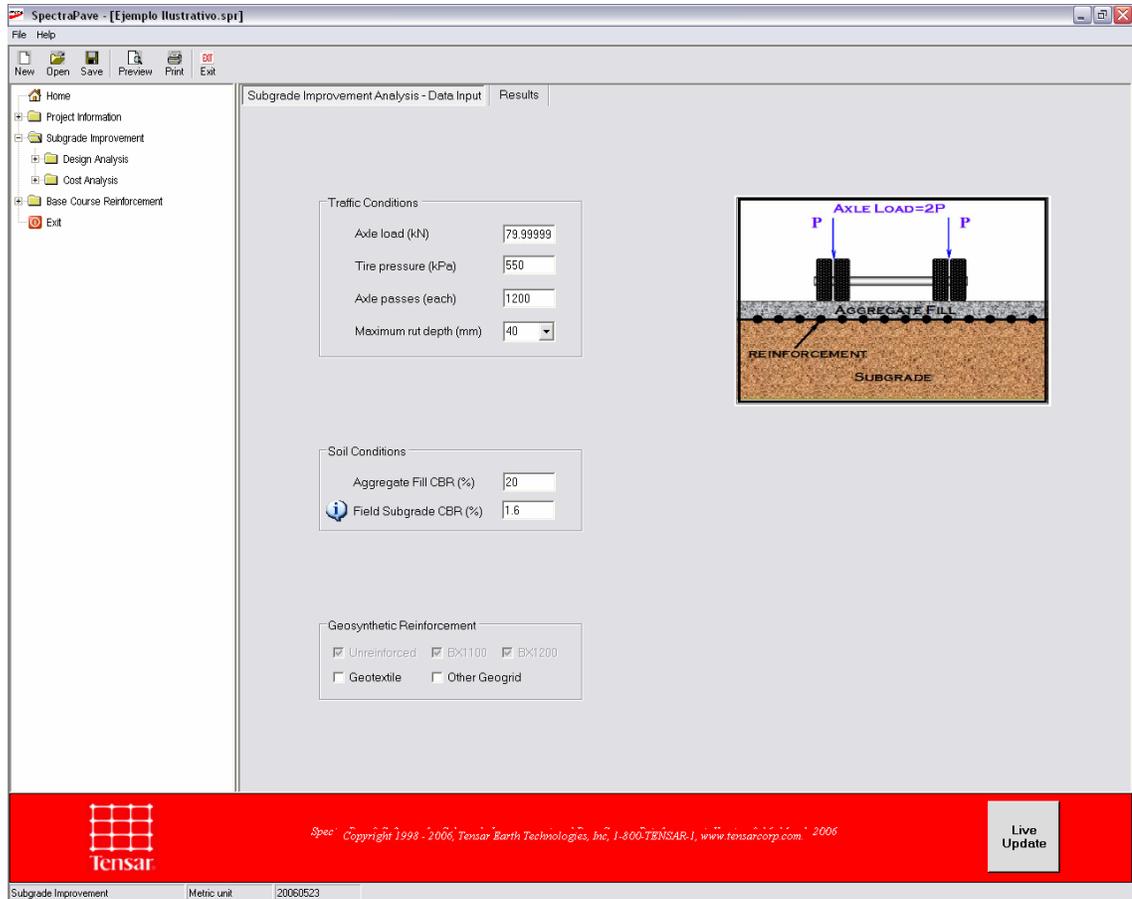
A button labeled 'Click here to save designer information' is located next to the User field.

The footer of the application includes the Tensar logo, copyright information: 'Copyright 1998 - 2006, Tensor Earth Technologies, Inc. 1-800-TENSAR-1, www.tensarcorp.com 2006', and a 'Live Update' button. The status bar at the bottom shows 'Project INFO', 'Metric unit', and '20060523'.

Por último la información general del diseñador,

- Nombre
- Dirección
- Ciudad
- País
- Estado
- Código postal
- Número de teléfono
- Número de fax
- Nombre del usuario que corrió el programa
- Dirección de correo electrónico del usuario
- Fecha

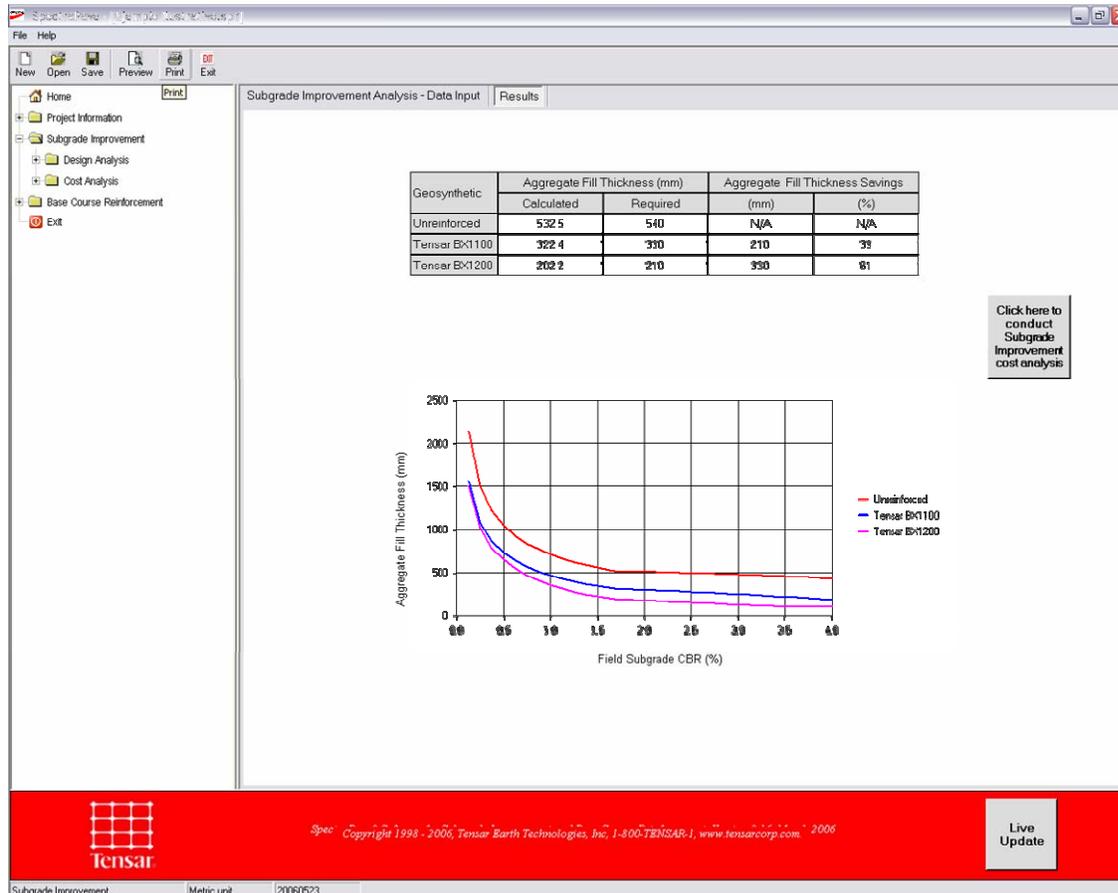
Figura 54. Ingreso de datos para refuerzo de sub-rasante



Para el módulo de mejoramiento de la sub-rasante, es necesario ingresar los siguientes datos, para la opción de sistema métrico.

- La carga de cada eje (80 kN)
- La presión de las llantas (550 kPa)
- La cantidad de ejes que transitarán (esto depende del diseño)
- Profundidad máxima permisible del ahuellamiento (40 mm)
- El porcentaje del CBR , proveniente del estudio de suelos
- El tipo de geomalla bi-axial (BX) a utilizar, (BX 1100 ó BX 1200)

Figura 55. Resultado de espesores de sub-rasante



El programa devuelve la pantalla con la siguiente información

- En la tabla
 - Comparación de los espesores de la capa de sub-rasante para soportar el tránsito requerido, con los dos tipos de geomalla bi-axial seleccionados.

- En la gráfica
 - Comparación de los espesores de la sub-rasante en función del CBR,.

Figura 56. Pantalla de ingreso de datos para refuerzo de base

Base Course Reinforcement - Data Input

Overall Structural Number Analysis Overall Structural Number and Layered Analyses Round Results

Number of Layers in Pavement Structure: 3

| Layer Name | Material Type | Elastic Modulus (MPa) | Cost (\$/cu.m) | Thickness (mm) | Layer Coefficient | Drainage Factor |
|------------|------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|
| ACC1 | Asphalt Wearing Course | 2,760 | 169.99 | 25 | 0.42 | |
| ABC | Aggregate Base Course | 210 | 56.00 | 100 | 0.14 | 1.0 |
| SBC | Subbase Course | 80 | 39.00 | 100 | 0.08 | 1.0 |

Reliability: Reliability (%) 95, Standard Normal Deviate -1.645, Standard Deviation 0.49

Serviceability: Initial Serviceability 4.2, Terminal Serviceability 2.0

Roadway Subgrade: Subgrade Resilient Modulus (MPa) 35

| Tensor Geogrid Data | Supply Cost (\$/sq.m) | TBR |
|---------------------------------|-----------------------|------|
| EX1100 | 2.40 | 3 |
| EX1200 | 3.60 | 6 |
| Cost to place geogrid (\$/sq.m) | | 0.30 |

© Copyright 1998 - 2006, Tensar Barth Technologies, Inc. 1-800-TENSAR-1, www.tensarcorp.com 2006

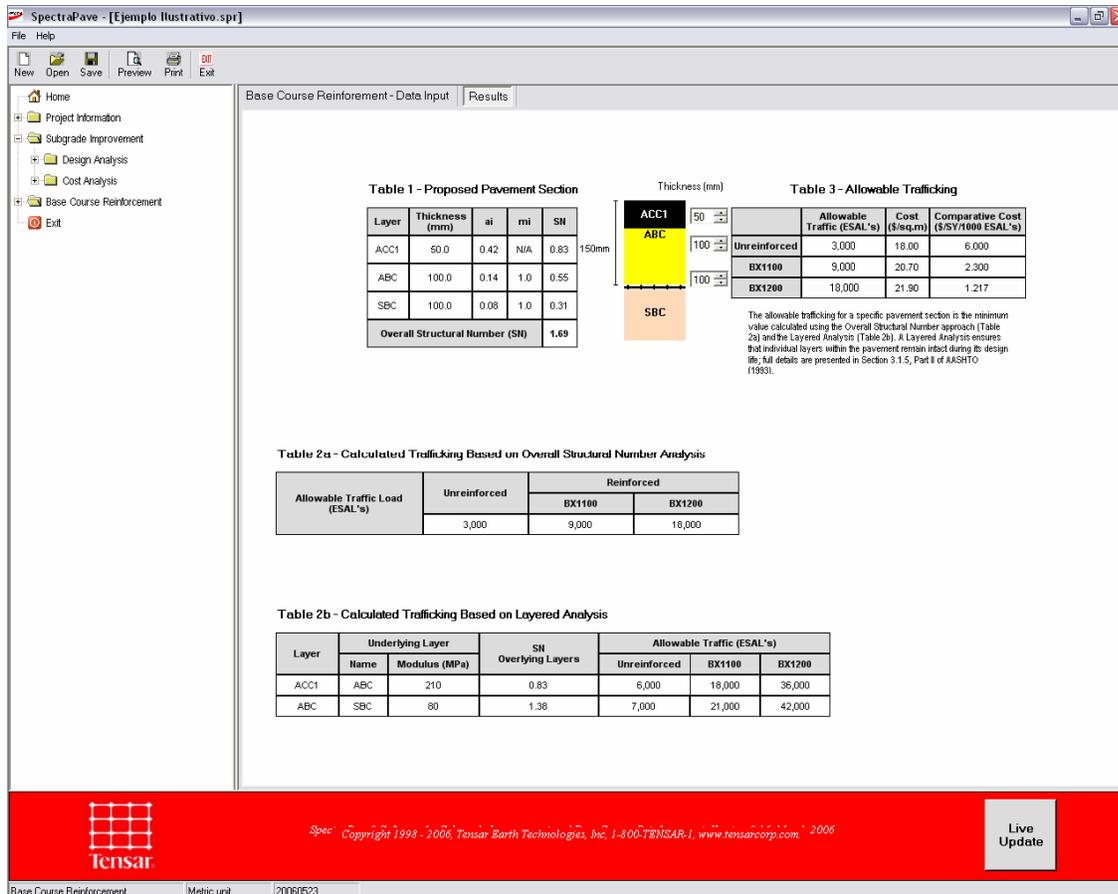
Base Course Reinforcement Metric unit 20060523

En el módulo de refuerzo de la capa de base, se debe ingresar los siguientes datos,

- Número total de capa a utilizar en la estructura del pavimento flexible
- Módulo de elasticidad de los materiales, de cada capa
- Espesores propuestos de cada capa
- Factor de drenaje para la estructura del pavimento

- Serviciabilidad inicial y final de la estructura
- Tipo de geomalla bi-axial a utilizar

Figura 57. Pantalla de resultados de análisis de refuerzo de base



El programa devuelve la pantalla con la siguiente información

- Resumen de los espesores propuestos para el diseño
- Resultado del cálculo de ejes equivalentes de carga para cada caso; sin refuerzo, con geomalla bi-axial BX 1100 y BX 1200.
- Ubicación de la geomalla bi-axial dentro de la estructura del pavimento flexible para su instalación

- Sección esquemática de los espesores propuestos de cada capa de la estructura del pavimento flexible.

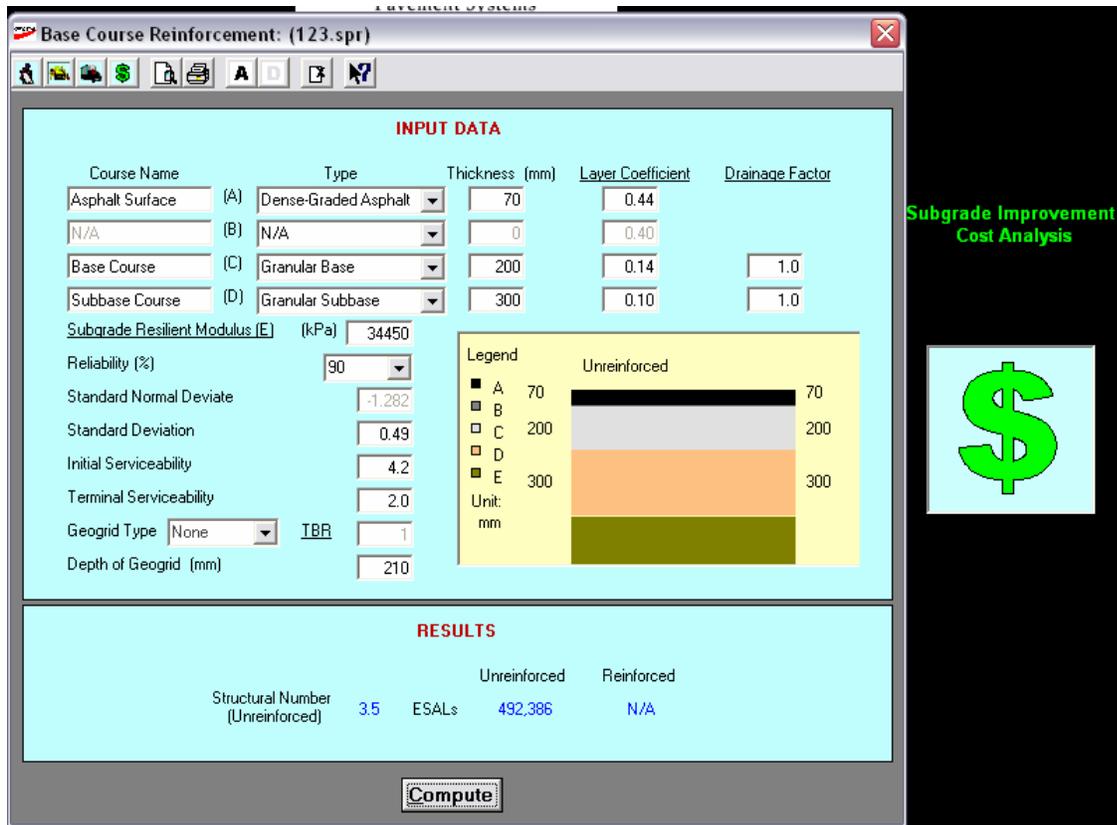
La versatilidad del programa, permite, en cualquier momento, modificar cualquier dato, actualizando toda la información automáticamente sin necesidad de reiniciar el proceso, por lo que el diseño se convierte en un procedimiento práctico y sencillo.

5.2. Ejemplo ilustrativo

El ejemplo que a continuación se describe, fue realizado con una carretera de asfalto de un kilómetro de longitud y ocho metros de ancho, con una sección propuesta de la siguiente manera.

5.2.1. Estudio comparativo de estructuras de pavimento flexible con geomalla y sin geomalla

Figura 58. Pantalla con sección propuesta



La figura 58 muestra la sección típica, con las siguientes características:

- Carpeta de rodadura de 70 milímetros de espesor
- Capa de base de 200 milímetros de espesor
- Capa de sub base de 300 milímetros de espesor

De lo anterior el programa devuelve un valor de ejes equivalentes de carga igual a cuatrocientos noventa y dos mil trescientos ochenta y seis ejes, en la parte inferior de la pantalla en letras azules.

Ya que con la utilización de la geomalla, se busca reducir espesores y mejorar la capacidad soporte de la estructura del pavimento en general. Se diseña una nueva sección, esta vez con el refuerzo de geomalla, BX 1100 para la capa de base, la cual debe ser colocada entre ésta y la sub-base.

Figura 59. Pantalla con nueva sección y refuerzo de geomalla BX 1100

The screenshot displays the 'Pavement Systems' software interface for 'Base Course Reinforcement: (123.spr)'. The interface is divided into 'INPUT DATA' and 'RESULTS' sections.

INPUT DATA:

| Course Name | Type | Thickness (mm) | Layer Coefficient | Drainage Factor |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| Asphalt Surface (A) | Dense-Graded Asphalt | 65 | 0.44 | |
| N/A (B) | N/A | 0 | 0.40 | |
| Base Course (C) | Granular Base | 160 | 0.14 | 1.0 |
| Subbase Course (D) | Granular Subbase | 250 | 0.10 | 1.0 |

Subgrade Resilient Modulus (E) (kPa): 34450
 Reliability (%): 90
 Standard Normal Deviate: -1.282
 Standard Deviation: 0.49
 Initial Serviceability: 4.2
 Terminal Serviceability: 2.0
 Geogrid Type: BX1100, IBB, 3
 Depth of Geogrid (mm): 210

Legend:

| Layer | Unreinforced Thickness (mm) | Reinforced Thickness (mm) |
|-------|-----------------------------|---------------------------|
| A | 65 | 65 |
| B | 0 | 0 |
| C | 160 | 160 + BX1100 |
| D | 250 | 250 |
| E | | |

RESULTS:

| Structural Number (Unreinforced) | ESALs | Unreinforced | Reinforced |
|----------------------------------|-------|--------------|------------|
| 2.99 | | 172,316 | 516,948 |

A 'Compute' button is located at the bottom of the interface. To the right of the software window, there is a green text label 'Subgrade Improvement Cost Analysis' and a green dollar sign icon.

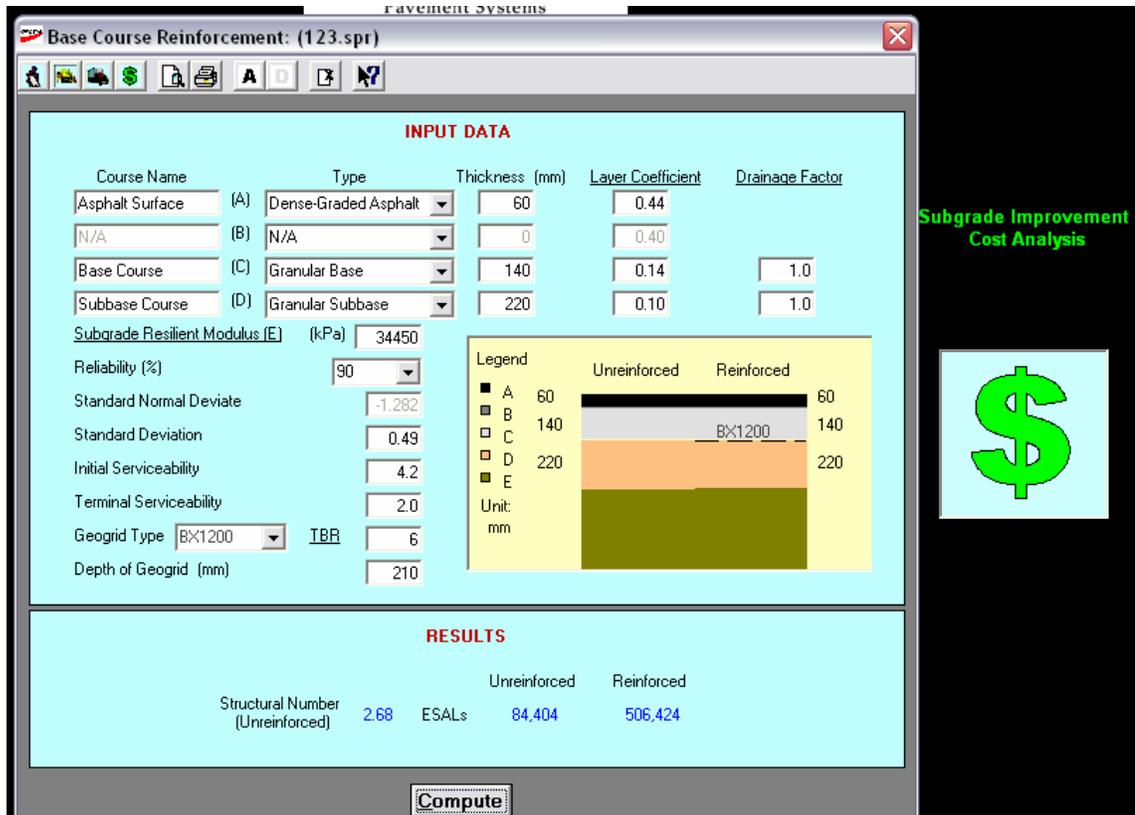
La figura 59 muestra la nueva sección con las siguientes características:

- Carpeta de rodadura de 65 milímetros de espesor
- Capa de base de 160 milímetros de espesor
- Capa de sub base de 250 milímetros de espesor
- La ubicación de la geomalla biaxial BX 1100 como refuerzo entre la sub base y la base.
- Un valor de eje equivalente de carga de quinientos diez y seis mil, novecientos cuarenta y ocho.

Con la introducción de la geomalla bi-axial BX 1100 se logró reducir los espesores de las capas así como un aumento en el número de ejes equivalentes de carga para el cual fue diseñada inicialmente.

Existe otra opción, la utilización de la geomalla bi-axial BX 1200, con la cual se diseña nuevamente la estructura del pavimento obteniendo los siguientes resultados.

Figura 60. Pantalla con nueva sección y refuerzo de geomalla BX 1200



La figura 60 muestra la nueva sección con las siguientes características:

- Carpeta de rodadura de 60 milímetros de espesor
- Capa de base de 140 milímetros de espesor
- Capa de sub-base de 220 milímetros de espesor
- La ubicación de la geomalla bi-axial BX 1200 como refuerzo entre la sub-base y la base.
- Un valor de eje equivalente de carga de quinientos seis mil, cuatrocientos veinticuatro.

Con la introducción de la geomalla bi-axial BX 1200 se logró nuevamente reducir los espesores de las capas así como un aumento en el número de ejes equivalentes de carga para el cual fue diseñada inicialmente.

5.2.2. Estudio comparativo de costos de pavimentos flexibles con geomalla y sin geomalla

Para efectos de mejor interpretación y comprensión de los resultados, de la figura 58, a continuación, se presenta la siguiente tabla, como resumen, con la sección propuesta, la integración de costos y el análisis de resultados de la misma.

Tabla I. Sección de pavimento tradicional propuesta con sus respectivos costos

| Capa | Espesor (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Costo (Q.) | Total (Q) |
|----------------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| Asfalto | 0.07 | 8.00 | 1,000.00 | Q 1,500.00 | Q 840,000.00 |
| Base | 0.20 | 8.00 | 1,000.00 | Q 400.00 | Q 640,000.00 |
| Sub base | 0.30 | 8.00 | 1,000.00 | Q 247.00 | Q 592,800.00 |
| Ejes equivalentes de carga | | | 492,386.00 | | Q 2,072,800.00 |

La tabla I muestra la integración de los costos así como los espesores de las capas y la cantidad de ejes equivalentes de carga de la sección de pavimento propuesta, igual a cuatrocientos noventa y dos mil, trescientos ochenta y seis .

A continuación se presenta la siguiente tabla como resumen, para efectos de comprensión e interpretación de la figura 59, con la nueva sección, la utilización de la geomalla bi-axial BX 1100 como refuerzo, la integración de costos y su respectivo análisis de resultados.

Tabla II. Tabla con nueva sección reforzada con geomalla BX 1100 con sus respectivos costos

| Capa | Espesor (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Costo (Q.) | Total (Q) |
|----------------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| Asfalto | 0.065 | 8.00 | 1,000.00 | Q 1,500.00 | Q 780,000.00 |
| Base | 0.160 | 8.00 | 1,000.00 | Q 400.00 | Q 512,000.00 |
| Sub base | 0.250 | 8.00 | 1,000.00 | Q 247.00 | Q 494,000.00 |
| Geomalla Biaxial BX 1100 | | 8.00 | 1,000.00 | Q 30.40 | Q 243,200.00 |
| Ejes equivalentes de carga | | | 516,948.00 | | Q 2,029,200.00 |
| | | | | Ahorro | Q 43,600.00 |
| | | | | Equivalente | 2.10% |

En la tabla II, se observa que existe una reducción de los espesores de las tres capas, con la introducción de la geomalla bi-axial BX 1100, entre la base y la sub-base, por lo consiguiente, una reducción de costos, equivalente al dos por ciento y sin embargo se logra un aumento en el número de ejes equivalentes de carga, para los cuales fue diseñada la estructura inicialmente.

Con la introducción de la geomalla bi-axial BX 1200, se logra nuevamente una mejora en las cualidades de la sección en análisis, de acuerdo a la figura 60, las cuales se resumen en la siguiente tabla, para efectos de comprensión e interpretación.

Tabla III. Tabla con nueva sección reforzada con geomalla BX 1200 con sus respectivos costos

| Capa | Espesor (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Costo (Q.) | Total (Q) |
|----------------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| Asfalto | 0.060 | 8.00 | 1,000.00 | Q 1,500.00 | Q 720,000.00 |
| Base | 0.140 | 8.00 | 1,000.00 | Q 400.00 | Q 448,000.00 |
| Sub base | 0.220 | 8.00 | 1,000.00 | Q 247.00 | Q 434,720.00 |
| Geomalla Biaxial BX 1200 | | 8.00 | 1,000.00 | Q 38.00 | Q 304,000.00 |
| Ejes equivalentes de carga | | | 506,424.00 | | Q 1,906,720.00 |
| | | | | Ahorro | Q 166,080.00 |
| | | | | Equivalente | 8.01% |

De los datos contenidos en la tabla III, se puede colegir que: Nuevamente existe una reducción de los espesores de las tres capas, con la introducción de la geomalla bi-axial BX 1200, y por lo consiguiente, una reducción de costos, equivalente al ocho por ciento; sin embargo, aumenta la cantidad de ejes equivalentes de carga, para los cuales fue diseñada inicialmente la estructura.

CONCLUSIONES

1. Técnicamente, no se recomienda el uso de las geomallas uni-axiales como refuerzo en las estructuras de pavimento flexible, en virtud, de que su capacidad de carga, es en un solo sentido y/ dirección.
2. La geomalla de fibra de vidrio es la mejor solución para minimizar el espesor de la nueva carpeta de rodadura para recapeo, ya que ésta puede ser impregnada con material bituminoso para asegurar la adherencia de la misma con el asfalto y, generar continuidad dentro del conjunto de la estructura del pavimento flexible.
3. De acuerdo con la aplicación del programa, la introducción de la geomalla biaxial en la estructura del pavimento flexible presentó efectivamente una reducción de los espesores de las capas que la conforman, así como una reducción de los costos de construcción equivalentes al dos por ciento para la geomalla BX 1100 y el ocho por ciento para la geomalla BX 1200.
4. El estudiante egresado de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, no posee los conocimientos mínimos necesarios relacionados con la geomalla y sus aplicaciones, ya que dentro del contenido de los cursos de pavimentos y materiales de construcción, no se toca dicho tema.

RECOMENDACIONES

1. El Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, carece del equipo necesario para realizar los ensayos correspondientes a los diferentes tipos de geomalla, por lo que se sugiere la obtención del equipo descrito en este trabajo de graduación.
2. Incluir dentro del contenido de los cursos de materiales de construcción o bien pavimentos, una unidad relacionada con la geomalla, debido a que tanto el producto como las técnicas de construcción, se están utilizando actualmente, y el estudiante egresado de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, deberá tener los conocimientos mínimos relacionados con el tema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y Secretaría de Integración Económica Centroamericana: **Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos**. Guatemala, noviembre 2002. 289 pp.
2. Cajigas Silva, Germán, **Medición en campo del aporte de geomallas biaxiales en el mejoramiento de sub rasantes blandas**: Bogotá, Colombia, 21 pp.
3. Dirección General de Caminos **Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes**: Guatemala: septiembre 2001.. 724 pp
4. Flores Arango, Eddy Rolando. Análisis comparativo para la construcción de pavimentos flexibles, rígidos y semi rígidos: Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 122 pp.
5. Geosynthetic Materials Association. ***Geosynthetic Reinforcement of the aggregate base and subbase courses of pavement structures***: Estados Unidos, junio 2000. 281 pp. Versión en inglés.
6. Instituto Mexicano del Transporte. **Pavimentos flexibles, problemática, metodologías de diseño y tendencias**. Querétaro, 1998. 145 pp.

7. Pérez, Sandra y Alzadora, Daniel. **Uso de geogrillas para mejoramiento de caminos y sub rasantes:** Buenos Aires, Argentina. 30 pp.
8. Quednow Gálvez, Jorge Tomas. Aplicación de la norma AASHTO 2002 en el diseño de pavimentos flexibles: Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 135 pp
9. The Tensar Corporation. **Tensar Technical Note:** Estados Unidos, marzo 1986. Versión en inglés. 21 pp.
10. The Tensar Corporation. **Tensar Training Seminar:** Guatemala, abril 2002. Versión en inglés.
11. The Tensar Corporation. **Design guideline for flexible pavements with tensar geogrid reinforced base layers :** Estado Unidos, abril 1996. Versión en inglés. 121 pp.
12. The Tensar Corporation. **Spectra roadway improvement system.** Estados Unidos. Revista, Versión en inglés.
13. The Tensar Corporation. **A review of geosynthetic functions and applications in paved and unpaved roads.** Estados Unidos, Julio 1998. Versión en inglés. 48 pp.
14. The Tensar Corporation. **Chemical and mechanical stabilization of subgrades and flexible pavement sections.** Estados Unidos, Julio 1998. Versión en inglés. 72 pp.

15. Torres, Omar., **El suelo mecánico estabilizado: Geomallas flexibles y geotextiles de alto módulo:** Noviembre 2003. Revista. 6 pp.
16. US, Army Corps of Engineers, ***Expedient Road Construction Over Soft Soils:*** Estados Unidos, mayo 2001. Versión en inglés. 107 pp.
17. US, Army Corps of Engineers, ***Geotechnical Laboratory.*** Estados Unidos, abril 1994.. Versión en inglés. 162 pp.

ANEXOS

1. Hojas técnicas de los diferentes tipos de geomalla uni axial de la empresa Tensar

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification Tensar Structural Geogrid

- **UX1000HS Structural Geogrid**
- **UX1100HS Structural Geogrid**
- **UX1400HS Structural Geogrid**
- **UX1500HS Structural Geogrid**
- **UX1600HS Structural Geogrid**
- **UX1700HS Structural Geogrid**
- **UX1800HS Structural Geogrid**

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Structural Geogrid UX1000HS

| | |
|---------------------------|--|
| Product Type: | Integrally Formed Structural Geogrid |
| Polymer: | High Density Polyethylene |
| Load Transfer Mechanism: | Positive Mechanical Interlock |
| Recommended Applications: | Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls |

| Product Properties Index Properties | Units | MD Values ¹ |
|--|-----------------|---------------------------|
| Tensile Strength @ 5% Strain ² | kN/m (lb/ft) | 23 (1,570) |
| Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 46 (3,150) |
| Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 43 (2,950) |
| Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 400,000 |
| Durability | | |
| Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |
| Load Capacity | | |
| Maximum Allowable (Design) Strength ⁷ | kN/m (lb/ft) | 17.7 (1,210) |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | 1.05 2.48 |

Minimum Reduction Factor for Creep
(RF_{CR})

1.00

Minimum Reduction Factor for Durability
(RF_D)

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 76.2 meters (250.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 432 rolls.

Notes:

1 . Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensar Earth Technologies, Inc.

2 . True resistance to elongation when initially subjected to a load measured via ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3 . Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4 . Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimen dimensions of 864 millimeters in length by one aperture in width.

5 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

6 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

7 . Reduction factors are used to calculate the geogrid strength available for resisting force in long-term load bearing applications. Allowable Strength (T_{allow}) is determined by reducing the ultimate tensile strength (T) by reduction factors for installation damage (RF_{ID}), creep (RF_{CR}) and

RF_{CR} chemical/biological durability ($RF_D = RF_{CD} \cdot RF_{BD}$) per GRI-GG4 [$T_{allow} = T_{ult} / (RF_{ID} \cdot RF_{CR} \cdot RF_D)$]. Recommended minimum reduction factors are based on product-specific testing. Project specifications, standard public agency specifications and/or design code requirements may require higher reduction factors. It is the responsibility of the designer to ensure that appropriate reduction factors are applied. Contact Tensar Earth Technologies, Inc. for further recommendations.

8 . Minimum value is based on Installation Damage Testing in Sand, Silt, and Clay soils. Coarser soils require increased RF_{ID} values.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Structural Geogrid UX1100HS

| | |
|---------------------------|--|
| Product Type: | Integrally Formed Structural Geogrid |
| Polymer: | High Density Polyethylene |
| Load Transfer Mechanism: | Positive Mechanical Interlock |
| Recommended Applications: | Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls |

| Product Properties Index Properties | Units | MD Values ¹ |
|--|-----------------|---------------------------|
| Tensile Strength @ 5% Strain ² | kN/m (lb/ft) | 27 (1,850) |
| Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 58 (3,970) |
| Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 54 (3,690) |
| Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 500,000 |
| Durability | | |
| Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |
| Load Capacity | | |
| Maximum Allowable (Design) Strength ⁷ | kN/m (lb/ft) | 23.6 (1,620) |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | 1.05 2.34 |

Minimum Reduction Factor for Creep (RF_{CR})

1.00

Minimum Reduction Factor for Durability (RF_D)

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 76.2 meters (250.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 432 rolls.

Notes:

Tensar Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensar Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1 . Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensar Earth Technologies, Inc.

2 . True resistance to elongation when initially subjected to a load measured via ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3 . Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4 . Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimen dimensions of 864 millimeters in length by one aperture in width.

5 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

6 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

7 . Reduction factors are used to calculate the geogrid strength available for resisting force in long-term load bearing applications. Allowable Strength (T_{allow}) is determined by reducing the ultimate tensile strength (T) by reduction factors for installation damage (RF_{ID}), creep (RF_{CR}) and

$RF_D = RF_{CD} \cdot RF_{BD}$ per GRI-GG4 $[T_{allow} = T_{ult} / (RF_{ID} \cdot RF_{CR} \cdot RF_D)]$.

Recommended minimum reduction factors are based on product-specific testing. Project specifications, standard public agency specifications and/or design code requirements may require higher reduction factors. It is the responsibility of the designer to ensure that appropriate reduction factors are applied. Contact Tensar Earth Technologies, Inc. for further recommendations.

8 . Minimum value is based on Installation Damage Testing in Sand, Silt, and Clay soils. Coarser soils require increased RF_{ID} values.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Structural Geogrid UX1400HS

Product Type: Integrally Formed Structural Geogrid
 Polymer: High Density Polyethylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Recommended Applications: Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls

| Product Properties | Units | MD Values ¹ |
|---|--------------|------------------------|
| Index Properties | | |
| Tensile Strength @ 5% Strain ² | kN/m (lb/ft) | 31 (2,130) |
| Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 70 (4,800) |
| Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 66 (4,520) |
| Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 730,000 |
| Durability | | |
| Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |
| Load Capacity | | |
| Maximum Allowable (Design) Strength ⁷ | kN/m (lb/ft) | 30.2 (2,070) |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | 1.05 |
| Minimum Reduction Factor for Creep (RF _{CR}) | | 2.21 |

Minimum Reduction Factor for Durability (RF_D)

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 76.2 meters (250.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 432 rolls.

Notes:

Tensor Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensor Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1 . Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensor Earth Technologies, Inc.

2 . True resistance to elongation when initially subjected to a load measured via ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3 . Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4 . Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimen dimensions of 864 millimeters in length by one aperture in width.

5 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

6 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

7 . Reduction factors are used to calculate the geogrid strength available for resisting force in long-term load bearing applications. Allowable Strength (T_{allow}) is determined by reducing the ultimate tensile strength (T) by reduction factors for installation damage (RF_{ID}), creep (RF_{CR}) and

RF_{CR} chemical/biological durability ($RF_D = RF_{CD} \cdot RF_{BD}$) per GRI-GG4 [$T_{allow} = T_{ult} / (RF_{ID} \cdot RF_{CR} \cdot RF_D)$].

Recommended minimum reduction factors are based on product-specific testing. Project specifications, standard public agency specifications and/or design code requirements may require higher reduction factors. It is the responsibility of the designer to ensure that appropriate reduction factors are applied. Contact Tensor Earth Technologies, Inc. for further recommendations.

8 . Minimum value is based on Installation Damage Testing in Sand, Silt, and Clay soils. Coarser soils require increased RF_{ID} values.

Tensor Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensor Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensor is notified prior to installation, Tensor will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Structural Geogrid UX1500HS

Product Type: Integrally Formed Structural Geogrid
 Polymer: High Density Polyethylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Recommended Applications: Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls

| Product Properties | Units | MD Values ¹ |
|--|--------------|------------------------|
| Index Properties | | |
| Tensile Strength @ 5% Strain ² | kN/m (lb/ft) | 52 (3,560) |
| Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 114 (7,810) |
| Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 105 (7,200) |
| Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 5,100,000 |
| Durability | | |
| Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |
| Load Capacity | | |
| Maximum Allowable (Design) Strength ⁷ | kN/m (lb/ft) | 45.2 (3,100) |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | 1.05 |
| Minimum Reduction Factor for Creep (RF _{CR}) | | 2.40 |
| | | 1.00 |

Minimum Reduction Factor for Durability (RF_D)

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 61.0 meters (200.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 324 rolls.

Notes:

Tensar Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensar Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1 . Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensar Earth Technologies, Inc.

2 . True resistance to elongation when initially subjected to a load measured via ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3 . Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4 . Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimen dimensions of 864 millimeters in length by one aperture in width.

5 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

6 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

7 . Reduction factors are used to calculate the geogrid strength available for resisting force in long-term load bearing applications. Allowable Strength (T_{allow}) is determined by reducing the ultimate tensile strength (T) by reduction factors for installation damage (RF_{ID}), creep (RF_{CR}) and

$RF_{D} = RF_{CD} \cdot RF_{BD}$ per GRI-GG4 $[T_{allow} = T_{ult} / (RF_{ID} \cdot RF_{CR} \cdot RF_{D})]$.
and RF_{CR} chemical/biological durability (RF_{D}). Recommended minimum reduction factors are based on product-specific testing. Project specifications, standard public agency specifications and/or design code requirements may require higher reduction factors. It is the responsibility of the designer to ensure that appropriate reduction factors are applied. Contact Tensar Earth Technologies, Inc. for further recommendations.

8 . Minimum value is based on Installation Damage Testing in Sand, Silt, and Clay soils. Coarser soils require increased RF_{ID} values.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Structural Geogrid UX1600HS

Product Type: Integrally Formed Structural Geogrid
 Polymer: High Density Polyethylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Recommended Applications: Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls

| Product Properties | Units | MD Values ¹ |
|---|--------------|------------------------|
| Index Properties | kN/m (lb/ft) | 58 (3,980) |
| Tensile Strength @ 5% Strain ² | | |
| | kN/m (lb/ft) | 144 (9,870) |
| Ultimate Tensile Strength ² | | |
| | kN/m (lb/ft) | 135 (9,250) |
| Junction Strength ³ | | |
| | mg-cm | 6,000,000 |
| Flexural Stiffness ⁴ | | |
| Durability | | |
| | % | 100 |
| Resistance to Long Term Degradation ⁵ | | |
| | % | 95 |
| Resistance to UV Degradation ⁶ | | |
| Load Capacity | | |
| | kN/m (lb/ft) | 59.9 (4,110) |
| □ Maximum Allowable (Design) Strength ⁷ | | |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| | | 1.05 |
| □ Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | |
| | | 2.29 |
| □ Minimum Reduction Factor for Creep (RF _{CR}) | | |
| | | 1.00 |

□ Minimum Reduction Factor for Durability (RF_D)

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 61.0 meters (200.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 216 rolls.

Notes:

Tensor Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensor Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1 . Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensor Earth Technologies, Inc.

2 . True resistance to elongation when initially subjected to a load measured via ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3 . Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4 . Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimen dimensions of 864 millimeters in length by one aperture in width.

5 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

6 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

7 . Reduction factors are used to calculate the geogrid strength available for resisting force in long-term load bearing applications. Allowable Strength (T_{allow}) is determined by reducing the ultimate tensile strength (T) by reduction factors for installation damage ($_{ult}$ RF), creep ($_{ID}$ RF) and $_{CR}$ chemical/biological durability ($RF_D = RF_{CD} \square RF_{BD}$) per GRI-GG4 [$T_{allow} = T_{ult} / (RF_{ID} \square RF_{CR} \square RF_D)$]. Recommended minimum reduction factors are based on product-specific testing. Project specifications, standard public agency specifications and/or design code requirements may require higher reduction factors. It is the responsibility of the designer to ensure that appropriate reduction factors are applied. Contact Tensor Earth Technologies, Inc. for further recommendations.

8 . Minimum value is based on Installation Damage Testing in Sand, Silt, and Clay soils. Coarser soils require increased RF_{ID} values.

Tensor Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensor Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensor is notified prior to installation, Tensor will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Structural Geogrid UX1700HS

Product Type: Integrally Formed Structural Geogrid
 Polymer: High Density Polyethylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Recommended Applications: Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls

| Product Properties | Units | MD Values ¹ |
|--|--------------|------------------------|
| Index Properties | kN/m (lb/ft) | 75 (5,140) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ² | | |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 175 (11,990) |
| <input type="checkbox"/> Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 160 (10,970) |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 9,075,000 |
| Durability | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |
| Load Capacity | | |
| <input type="checkbox"/> Maximum Allowable (Design) Strength ⁷ | kN/m (lb/ft) | 75.1 (5,140) |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| <input type="checkbox"/> Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | 1.05 |
| <input type="checkbox"/> Minimum Reduction Factor for Creep (RF _{CR}) | | 2.22 |
| | | 1.00 |

□ Minimum Reduction Factor for Durability (RF_D)

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 61.0 meters (200.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 144 rolls.

Notes:

Tensar Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensar Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1 . Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensar Earth Technologies, Inc.

2 . True resistance to elongation when initially subjected to a load measured via ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3 . Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4 . Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimen dimensions of 864 millimeters in length by one aperture in width.

5 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

6 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

7 . Reduction factors are used to calculate the geogrid strength available for resisting force in long-term load bearing applications. Allowable Strength (T_{allow}) is determined by reducing the ultimate tensile strength (T) by reduction factors for installation damage (RF_{ID}), creep (RF_{CR}) and RF_{CD} chemical/biological durability ($RF_D = RF_{CD} \square RF_{BD}$) per GRI-GG4 [$T_{allow} = T_{ult} / (RF_{ID} \square RF_{CR} \square RF_D)$]. Recommended minimum reduction factors are based on product-specific testing. Project specifications, standard public agency specifications and/or design code requirements may require higher reduction factors. It is the responsibility of the designer to ensure that appropriate reduction factors are applied. Contact Tensar Earth Technologies, Inc. for further recommendations.

8 . Minimum value is based on Installation Damage Testing in Sand, Silt, and Clay soils. Coarser soils require increased RF_{ID} values.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Structural Geogrid UX1800HS

Product Type: Integrally Formed Structural Geogrid
 Polymer: High Density Polyethylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Recommended Applications: Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls

Product Properties

Index Properties

| | Units | MD Values ¹ |
|--|--------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ² | kN/m (lb/ft) | 95 (6,510) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 210 (14,390) |
| <input type="checkbox"/> Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 180 (12,340) |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 9,500,000 |

Durability

| | | |
|---|---|-----|
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |

Load Capacity

| | | |
|---|--------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> Maximum Allowable (Design) Strength ⁷ | kN/m (lb/ft) | 77.8 (5,330) |
|---|--------------|--------------|

Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷

| | |
|--|------|
| <input type="checkbox"/> Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | 1.05 |
| <input type="checkbox"/> Minimum Reduction Factor for Creep (RF _{CR}) | 2.57 |
| | 1.00 |

□ Minimum Reduction Factor for Durability (RF_D)

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 61.0 meters (200.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 144 rolls. Notes:

Tensar Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensar Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1 . Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensar Earth Technologies, Inc.

2 . True resistance to elongation when initially subjected to a load measured via ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3 . Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4 . Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimen dimensions of 864 millimeters in length by one aperture in width.

5 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

6 . Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

7 . Reduction factors are used to calculate the geogrid strength available for resisting force in long-term load bearing applications. Allowable Strength (T_{allow}) is determined by reducing the ultimate tensile strength (T) by reduction factors for installation damage (RF_{ID}), creep (RF_{CR}) and RF_{CD} chemical/biological durability ($RF_D = RF_{CD} \square RF_{BD}$) per GRI-GG4 [$T_{allow} = T_{ult} / (RF_{ID} \square RF_{CR} \square RF_D)$]. Recommended minimum reduction factors are based on product-specific testing. Project specifications, standard public agency specifications and/or design code requirements may require higher reduction factors. It is the responsibility of the designer to ensure that appropriate reduction factors are applied. Contact Tensar Earth Technologies, Inc. for further recommendations.

8 . Minimum value is based on Installation Damage Testing in Sand, Silt, and Clay soils. Coarser soils require increased RF_{ID} values.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

2. Hojas técnicas de los diferentes tipos de geomalla bi axial de la empresa Tensar

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Tensar Biaxial Geogrid Product Specifications

- **Biaxial Geogrid BX1100**
- **Biaxial Geogrid BX1120**
- **Biaxial Geogrid BX1200**
- **Biaxial Geogrid BX1220**
- **Biaxial Geogrid BX1300**
- **Biaxial Geogrid BX1500**
- **Biaxial Geogrid BX4100**
- **Biaxial Geogrid BX4200**
- **Biaxial Geogrid BX6100**
- **Biaxial Geogrid BX6200**

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1100

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

| Index Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
|---|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Product Properties | | | |
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | mm (in) | 25 (1.0) | 33 (1.3) |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 0.76 (0.03) | 0.76 (0.03) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 4.1 (280) | 6.6 (450) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 8.5 (580) | 13.4 (920) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 12.4 (850) | 19.0 (1,300) |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | % | 93 | |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | mg-cm | 250,000 | |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | m-N/deg | 0.32 | |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | %SC / %SW / %GP | 95 / 93 / 90 | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | % | 100 | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁹ | % | 100 | |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 75.0 meters (246 feet) in length. A typical truckload quantity is 185 to 250 rolls.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensar Earth Technologies, Inc.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1120

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: SierraScape System, ADD3 System (Exposed Wall Face Wrap)

| Index Properties | Units | MD Values ¹ | XMD ¹ Values |
|---|--------------|------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | mm (in) | 25 (1.0) | 33 (1.3) |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 0.76 (0.03) | 0.76 (0.03) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 4.1 (280) | 6.6 (450) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 8.5 (580) | 13.4 (920) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 12.4 (850) | 19.0 (1,300) |
| <input type="checkbox"/> Carbon Black Content | | % | 2.0 |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | | % | 93 |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | | mg-cm | 250,000 |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | | m-N/deg | 0.32 |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | | %SC / %SW / %GP | 95 / 93 / 90 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | | % | 100 |

□ Resistance to UV Degradation⁹

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 260 to 350 rolls

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. . The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 4500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensor Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensorcorp.com Tensor Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensor is notified prior to installation, Tensor will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1200

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

| Index Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
|---|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Product Properties | | | |
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | mm (in) | 25 (1.0) | 33 (1.3) |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 1.27 (0.05) | 1.27 (0.05) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 6.0 (410) | 9.0 (620) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 11.8 (810) | 19.6 (1,340) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 19.2 (1,310) | 28.8 (1,970) |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | % | | 93 |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | mg-cm | | 750,000 |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | m-N/deg | | 0.65 |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | %SC / %SW / %GP | | 95 / 93 / 90 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | % | | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁹ | % | | 100 |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 160 to 210 rolls.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. . The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1220

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: SierraScape System, ADD3 System (Exposed Wall Face Wrap)

| Index Properties | Product Properties | | |
|---|--------------------|------------------------|-------------------------|
| | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | mm (in) | 25 (1.0) | 33 (1.3) |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 1.27 (0.05) | 1.27 (0.05) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 6.0 (410) | 9.0 (620) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 11.8 (810) | 19.6 (1,340) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 19.2 (1,310) | 28.8 (1,970) |
| <input type="checkbox"/> Carbon Black Content | % | | 2.0 |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | % | | 93 |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | mg-cm | | 750,000 |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | m-N/deg | | 0.65 |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | %SC / %SW / %GP | | 95 / 93 / 90 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | % | | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁹ | % | | 100 |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 160 to 210 rolls.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. . The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 4500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1300

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

| Product Properties | | | |
|---|--------------|------------------------|-------------------------|
| Index Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | mm (in) | 46 (1.8) | 64 (2.5) |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 1.27 (0.05) | 1.27 (0.05) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 5.5 (380) | 9.5 (650) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 10.5 (720) | 17.5 (1,200) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 16.0 (1,100) | 28.0 (1,920) |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | | % | 93 |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | | mg-cm | 450,000 |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | | m-N/deg | 0.58 |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | | %SC / %SW / %GP | 91 / 83 / 72 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | | % | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁹ | | % | 100 |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 180 rolls.

(

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. . The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1500

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

| Product Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
|---|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Index Properties | | | |
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | mm (in) | 25 (1.0) | 30.5 (1.2) |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 1.78 (0.07) | 1.78 (0.07) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 8.5 (580) | 10.0 (690) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 17.5 (1,200) | 20.0 (1,370) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 27.0 (1,850) | 30.0 (2,050) |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | % | 93 | |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | mg-cm | 2,000,000 | |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | m-N/deg | 0.75 | |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | %SC / %SW / %GP | 95 / 93 / 90 | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | % | 100 | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁹ | % | 100 | |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 180 rolls.

(

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. . The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX4100

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

| Product Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
|---|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Index Properties | mm (in) | 33 (1.3) | 33 (1.3) |
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | | | |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 0.76 (0.03) | 0.76 (0.03) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2 % Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 4.0 (270) | 5.5 (380) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 8.0 (550) | 10.5 (720) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 12.8 (880) | 13.5 (920) |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | % | 93 | |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | mg-cm | 250,000 | |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | m-N/deg | 0.28 | |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | %SC / %SW / %GP | 90 / 83 / 70 | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | % | 100 | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁹ | % | 100 | |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 75.0 meters (246 feet) in length. A typical truckload quantity is 185 to 250 rolls.

(Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensor Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensorcorp.com Tensor Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensor is notified prior to installation, Tensor will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX4200

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Applications: Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

| Product Properties | | | |
|---|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Index Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
| <input type="checkbox"/> Aperture Dimensions ² | mm (in) | 33 (1.3) | 33 (1.3) |
| <input type="checkbox"/> Minimum Rib Thickness ² | mm (in) | 1.27 (0.05) | 1.27 (0.05) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 5.5 (380) | 7.4 (510) |
| <input type="checkbox"/> Tensile Strength @ 5% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 10.5 (720) | 14.6 (1,000) |
| <input type="checkbox"/> Ultimate Tensile Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 20.5 (1,400) | 23.5 (1,610) |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Junction Efficiency ⁴ | % | | 93 |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁵ | mg-cm | | 750,000 |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁶ | m-N/deg | | 0.48 |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Installation Damage ⁷ | %SC / %SW / %GP | | 90 / 83 / 75 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁸ | % | | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁹ | % | | 100 |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 150 to 240 rolls.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. . The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX6100

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Application: Dimension System (Foundation Improvement)

| Product Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
|--|--------------|------------------------|-------------------------|
| Index Properties | | | |
| <input type="checkbox"/> 1% Junction Tensile Modulus in Use ² | kN/m (lb/ft) | 250 (17,000) | 290 (20,000) |
| <input type="checkbox"/> 2% Junction Tensile Modulus in Use ² | kN/m (lb/ft) | 170 (11,750) | 220 (15,000) |
| <input type="checkbox"/> Junction Strength in Use @ 1% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 2.5 (170) | 2.9 (200) |
| <input type="checkbox"/> Junction Strength in Use @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 3.4 (240) | 4.4 (300) |
| <input type="checkbox"/> Interaction Coefficient (Granular Soil) | | 1.0 | 1.0 |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁴ | | mg-cm | 250,000 |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁵ | | m-N/deg | 0.28 |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁶ | | % | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁷ | | % | 100 |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 4.0 meters (13.1 feet) in width and 75.0 meters (246 feet) in length. A typical truckload quantity is 185 rolls.

Notes:

Tensar Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensar Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values (MARV) determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.

2. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with GRI-GG2-87 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.

5. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.

6. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271 www.tensarcorp.com Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

Product Specification - Biaxial Geogrid BX6200

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
 Polymer: Polypropylene
 Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
 Primary Application: Dimension System (Foundation Improvement)

| Product Properties | Units | MD Values ¹ | XMD Values ¹ |
|--|--------------|------------------------|-------------------------|
| Index Properties | | | |
| <input type="checkbox"/> 1% Junction Tensile Modulus in Use ² | kN/m (lb/ft) | 320 (22,000) | 440 (30,000) |
| <input type="checkbox"/> 2% Junction Tensile Modulus in Use ² | kN/m (lb/ft) | 270 (18,200) | 370 (25,000) |
| <input type="checkbox"/> Junction Strength in Use @ 1% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 3.2 (220) | 4.3 (300) |
| <input type="checkbox"/> Junction Strength in Use @ 2% Strain ³ | kN/m (lb/ft) | 5.3 (370) | 7.3 (500) |
| <input type="checkbox"/> Interaction Coefficient (Granular Soil) | | 1.0 | 1.0 |
| Structural Integrity | | | |
| <input type="checkbox"/> Flexural Stiffness ⁴ | | mg-cm | 750,000 |
| <input type="checkbox"/> Aperture Stability ⁵ | | m-N/deg | 0.47 |
| Durability | | | |
| <input type="checkbox"/> Resistance to Long Term Degradation ⁶ | | % | 100 |
| <input type="checkbox"/> Resistance to UV Degradation ⁷ | | % | 100 |

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 150 rolls.

(Notes:

Tensor Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensor Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. The column labeled MD Values represents results from testing the product in the Machine Direction. The column labeled XMD Values represents results from testing the product in the Cross-Machine (Transverse) Direction.

2. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with GRI-GG2-87 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.

3. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87.

4. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.

5. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.

6. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.

7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensor Earth Technologies, Inc. 5883 Glenridge Drive, Suite 200 Atlanta, Georgia 30328-5363 Phone: (800) 836-7271
www.tensarcorp.com Tensor Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensor is notified prior to installation, Tensor will replace the geogrid at no cost to the customer. This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005