

**MODELOS DE LABORATORIO PARA ESTUDIAR EL EFECTO DE LOS
GEOSINTÉTICOS EN LOS PAVIMENTOS**

JEISSON ARMANDO PAIPA SANABRIA

DIEGO ALEJANDRO PINZÓN VERA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2009

**MODELOS DE LABORATORIO PARA ESTUDIAR EL EFECTO DE LOS
GEOSINTÉTICOS EN LOS PAVIMENTOS**

JEISSON ARMANDO PAIPA SANABRIA

DIEGO ALEJANDRO PINZÓN VERA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Civil**

DIRECTOR:

EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

INGENIERO CIVIL PH. D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2009

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEORICO	2
1.1 CONCEPTOS GENERALES	2
1.1.1 GEOTEXTIL.	2
1.1.2 GEOGRILLAS O GEOMALLAS.	4
1.2 ANTECEDENTES	5
1.3 USOS Y APLICACIONES	5
1.3.1 ESTABILIZACIÓN Y REFUERZO DE SUB-RASANTES.	6
1.3.2 REFUERZO DE CARPETAS ASFÁLTICAS.	7
1.3.3 SEPARACIÓN.	9
2. CONCEPCIÓN DEL MODELO DE LABORATORIO	10
2.1 GENERALIDADES	10
2.2 CARACTERISTICAS	12
2.3 CONFIGURACION FINAL DE LA ESTRUCTURA PARA ENSAYOS	13
2.4 MATERIAL ESTRUCTURAL	13
2.4.1 ESFERAS DE VIDRIO.	13
2.4.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO.	14
2.4.3 CAZATA.	14
2.4.4 LAMINA DE AGLOMERADO DE MADERA.	15
2.5 MATERAL GEOSINTÉTICO	15
2.5.1 Geomalla.	15
▪ Propiedades.	16
2.5.2 Geotextil.	17
▪ Propiedades.	18
3. MÉTODOLOGIAS DE ENSAYO	20
3.1 MÉTODOLOGIA DE LOS MODELOS DEL 1.1 AL 1.9	20
3.2 MÉTODOLOGIA DE LOS MODELOS DEL 2.1 AL 2.9	22
3.3 MÉTODOLOGIA DE LOS MODELOS DEL 3.1 AL 3.9	23
4. DESCRIPCIÓN DE MODELOS Y RESULTADOS	28

4.1	MODELO 1.1	28
❖	MODELO 1.1	29
4.2	MODELOS DEL 1.2 AL 1.5	30
❖	MODELO 1.2	31
❖	MODELO 1.3	32
4.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.2, 1.3	33
❖	MODELO 1.4	34
❖	MODELO 1.5	35
4.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.4, 1.5	36
4.5	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.2, 1.5	37
4.6	RESUMEN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.3, 1.4	38
4.7	MODELOS DEL 1.6 AL 1.9	39
❖	MODELO 1.6	40
❖	MODELO 1.7	41
4.8	RESUMEN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.6, 1.7	42
❖	MODELO 1.8	43
❖	MODELO 1.9	44
4.9	RESUMEN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.8, 1.9	45
4.10	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.6, 1.8	46
4.11	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.7, 1.9	47
4.12	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.2, 1.6	48
4.13	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.3, 1.7	49
4.14	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.5, 1.8	51
4.15	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.4, 1.9	52
4.16	MODELO 2.1	53
❖	MODELO 2.1	55
4.17	MODELOS DEL 2.2 AL 2.5	56
❖	MODELO 2.2	57
❖	MODELO 2.3	58
4.18	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.2, 2.3	59
❖	MODELO 2.4	60
❖	MODELO 2.5	61
4.19	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.4, 2.5	62
4.20	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.2, 2.4	63
4.21	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.3, 2.5	64
4.22	MODELOS DEL 2.6 AL 2.9	66
❖	MODELO 2.6	67
❖	MODELO 2.7	68
4.23	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.6, 2.7	69
❖	MODELO 2.8	70
❖	MODELO 2.9	71
4.24	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.8, 2.9	72
4.25	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.6, 2.8	73
4.26	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.7, 2.9	74

4.27	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.2, 2.6	76
4.28	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.3, 2.7	77
4.29	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.4, 2.8	78
4.30	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.5, 2.9	79
4.31	MODELO 3.1	81
❖	MODELO 3.1	82
4.32	MODELOS DEL 3.2 AL 3.5	83
❖	MODELO 3.2	84
❖	MODELO 3.3	85
4.33	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.2, 3.3	85
❖	MODELO 3.4	87
❖	MODELO 3.5	88
4.34	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.4, 3.5	88
4.35	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.2, 3.4	90
4.36	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.3, 3.5	91
4.37	MODELOS DEL 3.6 AL 3.9	92
❖	MODELO 3.6	94
❖	MODELO 3.7	95
4.38	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.6, 3.7	95
❖	MODELO 3.8	97
❖	MODELO 3.9	98
4.39	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.8, 3.9	98
4.40	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.6, 3.8	100
4.41	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.7, 3.9	101
5.	CONCLUSIONES	103
6.	BIBLIOGRAFIA	103

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Geosintético para el refuerzo de sub-rasantes.....	6
Figura 2. Geosintético para la estabilización de sub-rasantes	6
Figura 3. Refuerzo de capas asfálticas	8
Figura 4. Material estructural del campo y del modelo.....	10
Figura 5. Estructura para ensayos	11
Figura 6. Plano planta y perfil del modulo	12
Figura 7. Imagen de los orificios para la unión entre módulos	13
Figura 8. Esferas de vidrio	14
Figura 9. Poliestireno expandido (icopor).....	14
Figura 10. Cazata.....	15
Figura 11. Aglomerado de madera.....	15
Figura 12. Geomalla BX35	17
Figura 13. Geomalla BX65	17
Figura 14. Geotextil BX60	19
Figura 15. Geotextil BX90.....	19
Figura 16. Gráfica tipo Tiempo Vs Desplazamiento para los modelos del 1.1 al 1.9....	20
Figura 17. Zona de desplazamiento cte, Gráfica Tiempo Vs Desplazamiento	21
Figura 18. Gráfica tipo Tiempo Vs Fuerza para los modelos del 2.1 al 2.9	22
Figura 19. Zona de Fuerza cte, Gráfica fuerza Vs Tiempo	23
Figura 20. Gráfica fuerza Vs desplazamiento, modelo 3.1 – sin geosintético.....	24
Figura 21. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento para los modelos del 3.2 a 3.5.....	25
Figura 22. Gráfica Desplazamiento Vs Tiempo para los modelos del 3.6 al 3.9	26
Figura 23. Zona de Fuerza cte, Gráfica fuerza Vs Tiempo	26
Figura 24. Estructura de pavimento del campo y del modelo 1.1	28
Figura 25. Modelo 1.1.....	29
Figura 26. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 1.2 al 1.5.....	30
Figura 27. Modelo 1.2.....	31
Figura 28. Modelo 1.3.....	32
Figura 29. Comparación de resultados, Modelos 1.1, 1.2, 1.3, Carga 3KN	33
Figura 30. Modelo 1.4.....	34
Figura 31. Modelo 1.5.....	35
Figura 32. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.4, 1.5, Carga 3KN.....	36
Figura 33. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.2, 1.5, Carga 3KN.....	37
Figura 34. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.3, 1.4, Carga 3KN.....	38
Figura 35. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 1.6 al 1.9.....	40
Figura 36. Modelo 1.6.....	40
Figura 37. Modelo 1.7.....	41

Figura 38. Comparación de resultados, Modelos 1.1, 1.6, 1.7, Carga 3KN	42
Figura 39. Modelo 1.8.....	43
Figura 40. Modelo 1.9.....	44
Figura 41. Comparación de resultados, Modelos 1.1, 1.8, 1.9, Carga 3KN	45
Figura 42. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.6, 1.8, Carga 3KN.....	46
Figura 43. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.7, 1.9, Carga 3KN.....	47
Figura 44. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.2, 1.6, Carga 3KN.....	49
Figura 45. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.3, 1.7, Carga 3KN.....	50
Figura 46. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.5, 1.8, Carga 3KN.....	51
Figura 47. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.4, 1.9, Carga 3KN.....	52
Figura 48. Estructura de pavimento del campo y del modelo 2.1	54
Figura 49. Modelo 2.1.....	55
Figura 50. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 2.2 al 2.5.....	56
Figura 51. Modelo 2.2.....	57
Figura 52. Modelo 2.3.....	58
Figura 53. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.2, 2.3, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	59
Figura 54. Modelo 2.4.....	60
Figura 55. Modelo 2.5.....	61
Figura 56. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.4, 2.5, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	62
Figura 57. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.2, 2.4, Desplazamiento sinusoidal, 10mm valor máximo.....	64
Figura 58. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.3, 2.5, Desplazamiento sinusoidal, 10mm valor máximo.....	65
Figura 59. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 2.6 al 2.9.....	66
Figura 60. Modelo 2.6.....	67
Figura 61. Modelo 2.7.....	68
Figura 62. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.6, 2.7, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	69
Figura 63. Modelo 2.8.....	70
Figura 64. Modelo 2.9.....	71
Figura 65. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.8, 2.9, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	72
Figura 66. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.6, 2.8, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	74
Figura 67. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.7, 2.9, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	75
Figura 68. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.2, 2.6, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	76
Figura 69. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.3, 2.7, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	77
Figura 70. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.4, 2.8, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	79

Figura 71. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.5, 2.9, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	80
Figura 72. Estructura de pavimento del campo y del modelo 3.1	81
Figura 73. Modelo 3.1.....	82
Figura 74. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 3.2 al 3.5.....	83
Figura 75. Modelo 3.2.....	84
Figura 76. Modelo 3.3.....	85
Figura 77. Comparación de resultados, Modelos 3.2, 3.3, carga lineal, 6.2 KN valor máximo	86
Figura 78. Modelo 3.4.....	87
Figura 79. Modelo 3.5.....	88
Figura 80. Comparación de resultados, Modelos 3.4, 3.5, carga lineal, 6.2 KN valor máximo	89
Figura 81. Comparación de resultados, Modelos 3.2, 3.4, carga lineal, 6.2 KN valor máximo	90
Figura 82. Comparación de resultados, Modelos 3.3, 3.5, carga lineal, 6.2 KN valor máximo	92
Figura 83. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 3.6 al 3.9.....	93
Figura 84. Modelo 3.6.....	94
Figura 85. Modelo 3.7.....	95
Figura 86. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.6, 3.7, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	96
Figura 87. Modelo 3.8.....	97
Figura 88. Modelo 3.9.....	98
Figura 89. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.8, 3.9, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	99
Figura 90. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.6, 3.8, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	100
Figura 91. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.7, 3.9, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo.....	101

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de la Geomalla	16
Tabla 2. Propiedades del geotextil	18
Tabla 3. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.2, 1.3	33
Tabla 4. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.4, 1.5	36
Tabla 5. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.2, 1.5	37
Tabla 6. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.3, 1.4	39
Tabla 7. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.6, 1.7	42
Tabla 8. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.8, 1.9	45
Tabla 9. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.6, 1.8	46
Tabla 10. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.7, 1.9	48
Tabla 11. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.2, 1.6	48
Tabla 12. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.3, 1.7	50
Tabla 13. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.5, 1.8	51
Tabla 14. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.4, 1.9	53
Tabla 15. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.2, 2.3	59
Tabla 16. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.4, 2.5	62
Tabla 17. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.2, 2.4	63
Tabla 18. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.3, 2.5	65
Tabla 19. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.6, 2.7	69
Tabla 20. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.8, 2.9	72
Tabla 21. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.6, 2.8	73
Tabla 22. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.7, 2.9	75
Tabla 23. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.2, 2.6	77
Tabla 24. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.3, 2.7	78
Tabla 25. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.4, 2.8	78
Tabla 26. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.5, 2.9	80
Tabla 27. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.2, 3.3	86
Tabla 28. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.4, 3.5	89
Tabla 29. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.2, 3.4	91
Tabla 30. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.3, 3.5	91
Tabla 31. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.6, 3.7	96
Tabla 32. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.8, 3.9	99
Tabla 33. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.6, 3.8	100
Tabla 34. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.7, 3.9	102

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Gráficas Tiempo Vs Desplazamiento de los ensayos de los Modelos del 1.1 al 1.9	103
Anexo B. Gráficas Tiempo Vs Fuerza de los ensayos de los modelos el 2.1 al 2.9	116
Anexo C. Gráficas Fuerza Vs Desplazamiento y Fuerza Vs Tiempo de los ensayos de los modelos del 3.1 al 3.9	129

RESUMEN

TITULO:

MODELOS DE LABORATORIO PARA ESTUDIAR EL EFECTO DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LOS PAVIMENTOS*.

AUTORES:

PAIPA SANABRIA JEISSON ARMANDO
PINZÓN VERA DIEGO ALEJANDRO**

PALABRAS CLAVES:

Efecto de los Geosintéticos; Ensayos de laboratorio; Zonas estables; Comparación de desplazamientos; Comparación de fuerza.

DESCRIPCIÓN:

Este documento es una investigación basada en experimentos de laboratorio para observar el efecto de los geosintéticos en el pavimento. La investigación surge como un primer paso para construir teoría sobre el refuerzo con geosintético en los pavimentos.

El trabajo inicia con el diseño de la probeta de ensayo y la escogencia de materiales estructurales que permitan en los modelos a escala obtener deformaciones y esfuerzos sobre el material geosintético.

Para establecer la influencia del geosintético en los modelos de pavimento, para cada modelo se realizaron ensayos con y sin geosintético. En el modelo 1 se aplicó carga para obtener resultados de desplazamiento, en los modelos 2 y 3 se aplicó desplazamiento para obtener resultados de fuerza.

El análisis de los resultados del experimento indica que existe un refuerzo de la estructura de pavimento cuando se incluyen geosintéticos y que la magnitud del aporte al refuerzo de la estructura del pavimento depende de la ubicación y del tipo de material geosintético que se use.

* Proyecto de Grado

** Facultad: Ingenierías FísicoMecánicas. Escuela: Ingeniería Civil. Director: Eduardo Castañeda

ABSTRACT

TITLE:

LABORATORY MODELS TO STUDY THE EFFECT OF GEOSYNTHETICS ON THE PAVEMENT.

AUTHORS:

PAIPA SANABRIA JEISSON ARMANDO
PINZÓN VERA DIEGO ALEJANDRO**

KEYWORDS:

GEOSYNTHETICS; LABORATORY ESSAY; STABLE ZONES; DISPLACEMENT COMPARISON; COMPARISON OF STRENGTH.

DESCRIPTION:

This document is a research based on laboratory experiments to observe the effect of geosynthetics on pavement. The investigation comes as a first step to build a theory of reinforcement with geosynthetics on pavement.

The investigation begins with the design of an essay test tube, and the choosing of the structural materials that allow on the scale models get deformations and efforts over the geosynthetics.

To establish the influence of geosynthetic on pavement models, on each model we ran essays with geosynthetic and without geosynthetic. In the first model we apply the charge to obtain displacement results, on the models 2 and 3 we apply displacement to obtain strength.

The analysis of the results of the experiment means that exist a reinforcement of the pavement structure when the geosynthetics are included, and the magnitude of the input to the reinforcement to the pavement structure depends of the place and the geosynthetic material that is used.

* Project of grade

** Facultad: Ingenierías FísicoMecánicas. Escuela: Ingeniería Civil. Director: Eduardo Castañeda

INTRODUCCIÓN

En la construcción de vías terrestres se emplean materiales geosintéticos para el refuerzo de estructuras de pavimento. Los geosintéticos son productos comerciales cuyo efecto permite reducir espesores de capas granulares, separar capas de diferentes agregados, reforzar bases y capas de concreto asfáltico mejorando las cualidades del pavimento para resistir cargas de tránsito y extender su vida útil.

Para mostrar a los estudiantes el efecto del geosintético en el refuerzo de pavimentos se diseña un modelo de ensayo de laboratorio que permite tener una experiencia tangible del comportamiento de una estructura reforzada con geosintético.

La estructura para ensayos se acopla a la máquina ***Material test system MTS – 810*** y permite variar en los ensayos la ubicación del material geosintético, el espesor y el tipo de material estructural. Los materiales estructurales que se seleccionan son de fácil manipulación para el trabajo y hacen las veces de sub-rasante, capas granulares varias y capas estabilizadas.

Con la implementación de estos ensayos de laboratorio se sigue la idea que promueve la escuela de ingeniería civil de implementar ensayos sobre estructuras y no sobre probetas, y se comienza una primera fase para encontrar un marco teórico del efecto del material geosintético como refuerzo en la estructura del pavimento, cuyos aportes se traducen en optimización de los diseños.

1. MARCO TEORICO

Inicialmente se realiza una descripción de los materiales geosintéticos utilizados en los ensayos.

1.1 CONCEPTOS GENERALES

Los geosintéticos son productos de ingeniería con aplicaciones en control de erosión, estabilización de taludes y refuerzo de estructuras de pavimentos. Son productos enrollables, fabricados con polímeros como el polipropileno, el poliéster, el nylon y el polietileno. Como estos productos sintéticos se van a utilizar en obras en contacto con el suelo, la humedad y el medio ambiente es muy importante analizar su comportamiento en estas condiciones.

1.1.1 Geotextil. Geotextil es el nombre genérico que se le asigna a los textiles permeables o redes de material plástico utilizadas en contacto con el suelo o la roca. Los geotextiles se les utilizan como separadores entre capas de suelo, como refuerzo o como filtro. Los geotextiles difieren unos de otros de acuerdo al material polimérico utilizado para su fabricación. Los geotextiles pueden dividirse en dos clases, tejidos y no tejidos.

Geotextiles no tejidos: Los geotextiles no tejidos son contruidos por filamentos de polímeros colocados en forma desordenada y unidos utilizando calor, resinas o punzado con alfileres. Los geotextiles no tejidos son manufacturados formando una telaraña suelta de fibras cortas o filamentos continuos, organizados en un patrón desordenado y luego sujetos a alguna forma de unión para formar una estructura planar resistente. El proceso de formación de la telaraña es importante por cuanto es responsable de la distribución y orientación de las fibras en el producto definitivo. La tela se forma por medio de un proceso de batido de las fibras (separado y mezclado) y luego son

depositados sobre una correa movable. Varias capas pueden combinarse para formar un geotextil con el ancho requerido y la orientación deseada de fibras. Luego la telaraña es sujeta a una operación de unión o pegado. Después del pegado se le da un tratamiento para obtener unas características especiales de superficie.

Geotextiles tejidos: Los geotextiles tejidos son fibras tejidas en ángulos rectos conformando la apariencia de una manta con huecos de tamaño uniforme. Los geotextiles tejidos pueden dividirse en cinco subgrupos, de acuerdo a la fibra que se usa para su fabricación:

- Geotextiles tejidos de monofilamento: Estos consisten en monofilamentos en las dos direcciones. Los monofilamentos son de sección circular o elíptica.
- Tejidos de hilo: Consisten en hilos de multifilamentos torsionados en la típica estructura de un hilo. Son tejidos en las dos direcciones y se observa que los hilos se aplanan ligeramente en los puntos de entrelace.
- Tejidos de cinta: Consisten en cintas planas tejidas en las dos direcciones. El ancho de las cintas varía entre 1.5 y 4.0 mm.
- Tejidos fibrilados: Consisten en hilos fibrilados de sección es aproximadamente elípticas o rectangulares. El proceso de fibrilado rompe las cintas en hilos fibrosos, pero los hilos se mantienen interconectados uno al otro en varios puntos a lo largo de su longitud. El comportamiento mecánico de los geotextiles tejidos es generalmente, aniso trópico dependiendo de la dirección de colocación de la carga. El refuerzo puede ser diferente en cada una de las direcciones.

1.1.2 Geogrietas o Geomallas. Las geomallas son mallas plásticas con orificios de gran tamaño. Los cuales se utilizan comúnmente como refuerzo de suelo pero también se les usa como separadores entre capas de materiales gruesos, como canastas para gaviones para mejorar las características de otros geosintéticos o para refuerzo del suelo.

En las especificaciones para geomallas se deben tener en cuenta aspectos como:

La malla debe ser un material plástico de refuerzo capaz de soportar esfuerzos de tensión con capacidad completa de continuidad de la carga, integridad estructural y durabilidad.

Debe especificarse la capacidad de carga dinámica al 5% de deformación (Norma ASTM D4595), la cual varía generalmente según las aplicaciones entre 19 y 95 kN/m. La resistencia a la tensión requerida depende de las condiciones del diseño. Debe tenerse en cuenta que la resistencia a la tensión disminuye con el tiempo hasta en un 50% dependiendo del material de suelo junto a la malla. Si se emplea gravas o triturado, la disminución de resistencia es mayor a sí se utilizan limos o arcillas. Debe tenerse en cuenta que las mallas de poliéster no deben colocarse en suelos calcáreos o suelo-cemento. Para determinar la interacción entre el suelo y la malla se utiliza el coeficiente de interacción C, el cual se obtiene en ensayos de arrancamiento (Norma GRI:GG5).

Las geomallas pueden tener resistencia diferencial en las dos direcciones. En estos casos se debe tener información de la resistencia primaria y la resistencia secundaria y se busca siempre que la dirección de resistencia primaria coincida con la dirección de mayores esfuerzos a tensión.

1.2 ANTECEDENTES

En EE.UU. varios programas de investigación tienen documentos con reportes de resultados de la cantidad del mejoramiento y de la extensión de la vida útil de los pavimentos cuando se incluyen geosintéticos, basados en las investigaciones de la *ERDC* pero existen autores que han propuesto su desacuerdo con los resultados de esta investigación debido a que son elaborados por la industria. Numerosos autores también han propuesto de manera empírica metodologías, tablas y guías para el diseño de pavimentos reforzados con geosintéticos.

Existen Ensayos que evalúan indirectamente el desempeño del geosintéticos pero no determinan el comportamiento una vez instalado, la norma INV E 901-917 del Instituto Nacional de Vías enuncia los ensayos a tener en cuenta para estos materiales, algunos de estos son:

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACIÓN DE GEOTEXTILES (MÉTODO GRAB), MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO DE GEOTEXTILES, GEOMEMBRANAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS, MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL RASGADO TRAPEZOIDAL DE GEOTEXTILES ETC. Entre otros.

1.3 USOS Y APLICACIONES

La aplicación de geosintéticos en los diferentes niveles de una estructura de pavimento son de gran beneficio, los más importantes son: separar suelos disímiles, estabilizar la sub-rasante, reforzar las capas granulares, reforzar las capas asfálticas y por supuesto para controlar la humedad con sub-drenes.

Figura 1. Geosintético para el refuerzo de sub-rasantes



Fuente: GEOSINTÉTICOS LAFAYETTE

1.3.1 Estabilización y refuerzo de sub-rasantes. Las geomallas y geotextiles de alto módulo se utilizan para refuerzo de suelos de sub-rasante blandos compresibles en la construcción de vías, vías férreas, terraplenes y locaciones dado que otorgan una componente estructural que permite la compactación eficiente de las capas granulares y reducen el espesor requerido.

Figura 2. Geosintético para la estabilización de sub-rasantes



Fuente: GEOSINTÉTICOS LAFAYETTE

El efecto de refuerzo es generado por las siguientes características:

- Al interactuar con el agregado, restringen el desplazamiento lateral que sucede ante la aplicación de la carga.
- Por su alta resistencia a la tensión limitan la profundidad de la envolvente de falla por capacidad portante, obligándola a desarrollarse a través de la capa de material granular, con lo cual se eleva la capacidad portante.
- Generan un efecto de membrana tensionada, que reduce la presión de contacto sobre el suelo de sub-rasante.
- Aumentan la capacidad de distribución de esfuerzos en profundidad.
- Su alto módulo de deformación garantiza el desarrollo de la capacidad de refuerzo a mínimos valores de deformación, evitando la aparición de fallos.
- Garantizan la condición de drenaje de las capas, dada su estabilidad en el desempeño hidráulico en cualquier escenario de tensión o confinamiento.

1.3.2 Refuerzo de carpetas asfálticas. Las geomallas se caracterizan por:

- Presentar una alta vida de fatiga por carga cíclica tanto en tensión como en corte.
- Presentar una alta relación resistencia a la tensión – deformación (alto módulo mecánico).
- Sus fibras e intersecciones admiten la presión del agregado sin deteriorarse y son suficientemente fuertes y estables para permitir la penetración de las partículas a través de sus aberturas.
- Tienen afinidad con el asfalto.
- Por su estructura presentan baja susceptibilidad al daño por instalación.

Figura 3. Refuerzo de capas asfálticas



Fuente: GEOSINTÉTICOS LAFAYETTE

Las geomallas funcionan como elementos de refuerzo en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico, en forma similar a lo que sucede con el acero de refuerzo en una losa de concreto hidráulico. La geomalla se adhiere por ambas caras al concreto asfáltico y permite el contacto directo de los materiales a través de sus aberturas, quedando las capas estructuralmente ligadas, generando los siguientes beneficios:

- Absorben y distribuyen los esfuerzos de tensión que ocurren en el plano inferior de la carpeta asfáltica.
- Aumentan la capacidad de soportar cargas dinámicas y mejoran el comportamiento a fatiga.
- Retardan la aparición de grietas asociadas al reflejo de discontinuidades en la superficie del pavimento existente o de los provenientes del agrietamiento natural de las bases granulares estabilizadas.
- Extienden los intervalos entre mantenimientos periódicos.

- No alteran la reciclabilidad del concreto asfáltico facilitando acometer trabajos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles de bajo costo.

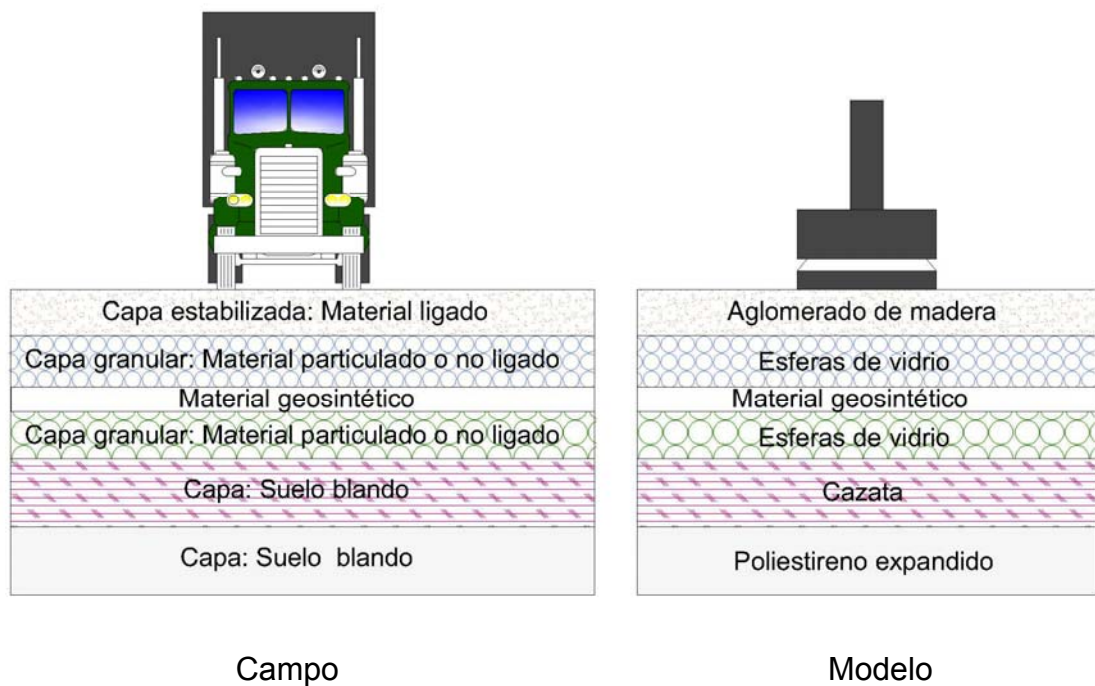
1.3.3 Separación. Los geotextiles se utilizan en la construcción de pavimentos para prevenir la mezcla entre los suelos de subrasante y los materiales granulares garantizando así homogeneidad estructural de la capa conformada, mejor desempeño y aumento del tiempo de servicio.

2. CONCEPCIÓN DEL MODELO DE LABORATORIO

2.1 GENERALIDADES

Con el objetivo de modelar estructuras de pavimentos compuestas por capas, se concibe un modelo de laboratorio que permite colocar en diferentes capas los materiales estructurales que simulan suelos blandos, materiales no ligados y materiales ligados.

Figura 4. Material estructural del campo y del modelo

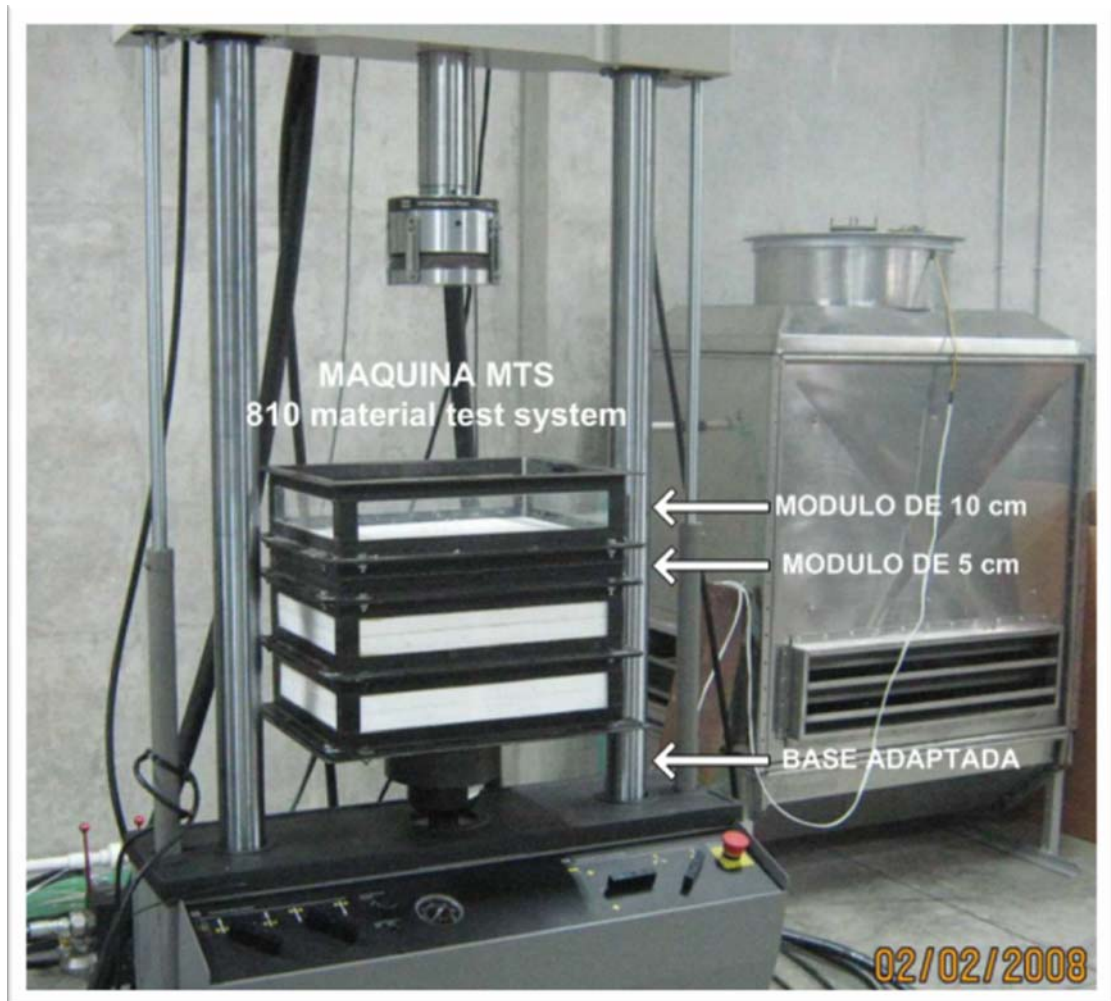


Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Como los materiales particulados o no ligados usados en la estructura de los modelos necesitan confinamiento y de otra parte el geosintético para desarrollar su potencial de refuerzo necesita estar sujeto o anclado, la estructura de ensayo proporciona confinamiento lateral, permite sujetar y ubicar

entre diferentes capas el material geosintético, permite observar los materiales utilizados en los diferentes modelos y se acopla a la maquina de ensayo **MTS 810 material test system**.

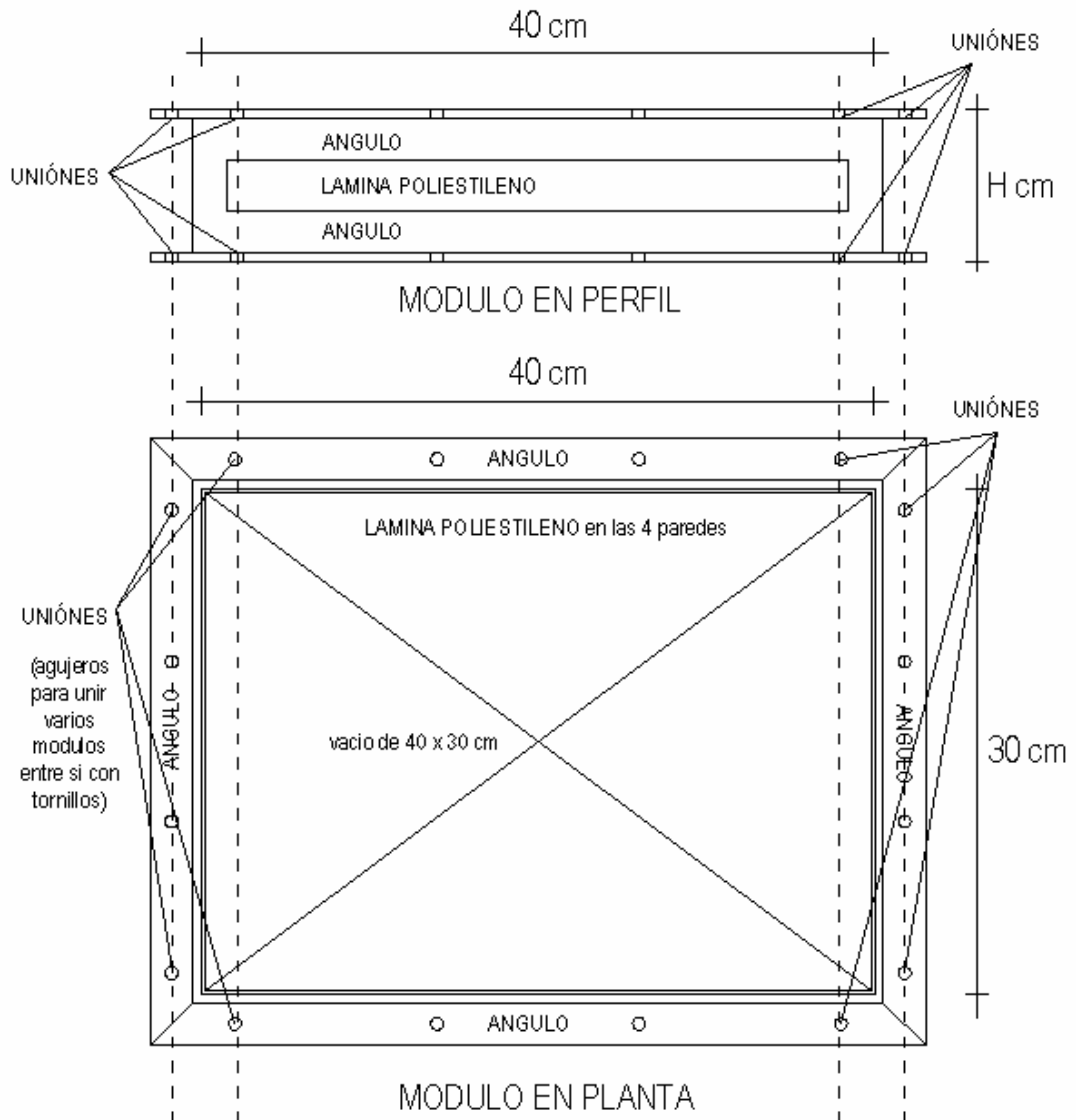
Figura 5. Estructura para ensayos



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

2.2 CARACTERISTICAS

Figura 6. Plano planta y perfil del modulo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La estructura para ensayos esta formada de varios módulos. Un modulo esta compuesto por ángulos L 1 X 1 X 0.0787 Pulgadas de hierro soldados entre si para configurar el modelo que muestra la figura 6. La unión entre módulos se

realiza con 16 tornillos de $\frac{1}{4}$ de pulgada (ver figura 7). Para las paredes del modulo se escogieron laminas de polietileno transparente que permiten observar el material que va a contener el modulo.

Figura 7. Imagen de los orificios para la unión entre módulos



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

2.3 CONFIGURACION FINAL DE LA ESTRUCTURA PARA ENSAYOS

La estructura completa para ensayos consta de 3 módulos de 10cm de altura, 2 módulos de 5cm de altura y una base para adaptarla a la maquina MTS 810.

2.4 MATERIAL ESTRUCTURAL

2.4.1 Esferas de vidrio. Se utilizan esferas de los siguientes diámetros: 24, 16 y 11 mm.

Figura 8. Esferas de vidrio



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

2.4.2 Poliestireno expandido.

Figura 9. Poliestireno expandido (icopor)



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

2.4.3 Cazata.

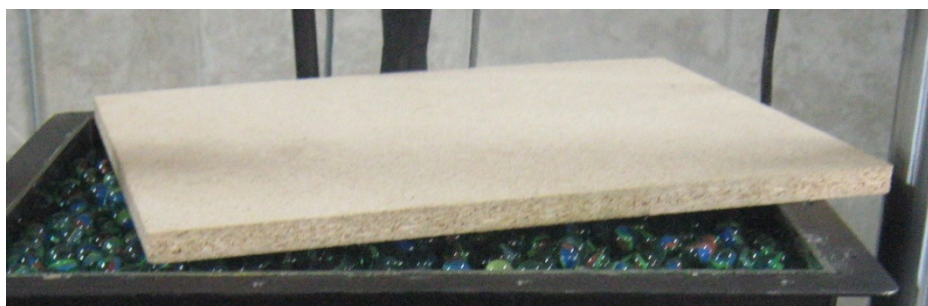
Figura 10. Cazata



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

2.4.4 Lamina de aglomerado de madera.

Figura 11. Aglomerado de madera



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

2.5 MATERIAL GEOSINTÉTICO

2.5.1 Geomalla. La geomalla esta desarrollada para interactuar con suelos granulares proporcionando resistencia y alto modulo que mejoran las propiedades de ingeniería de la estructura del pavimento. La Geomalla se desempeña adecuadamente por sus aberturas uniformes y por su gran resistencia biaxial o uniaxial. Las fibras de la geomalla son recubiertas con un co-polimero que le otorga mayor rigidez dimensional, la protección necesaria en su instalación y compatibilidad con el suelo y el asfalto.

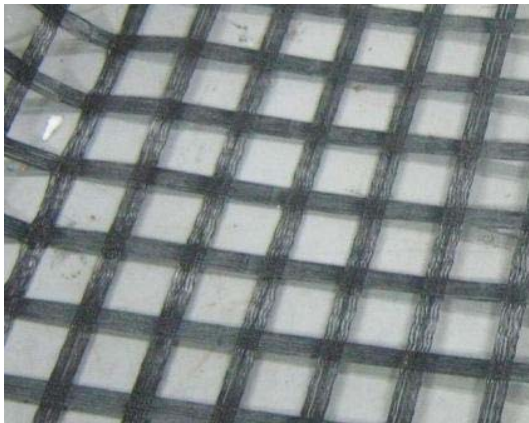
- **Propiedades.**

Tabla 1. Propiedades de la Geomalla

PROPIEDADES MECANICAS	UNIDAD	BX35	BX65
Resistencia última MD1/TD2	KN/m	54.0/52.7	75.4/65.0
Resistencia @ 5% deformación MD1/TD2	KN/m	19.6/22.9	25.9/26.0
Refuerzo de capas granulares en estructuras de pavimento		✓	✓
Mejoramiento de subrasantes		✓	✓
Refuerzo de carpetas asfálticas		✓	✓

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Figura 12. Geomalla BX35



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Figura 13. Geomalla BX65



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

2.5.2 Geotextil. Las fibras de poliéster de los geotextiles ofrecen resistencia a la deformación bajo cargas cortantes en largos periodos de vida útil. El sistema de tejido de estos textiles es un sistema en el cual las fibras que van en el sentido longitudinal no se entrelazan con las fibras que van en el sentido transversal.

- **Propiedades.**

Tabla 2. Propiedades del geotextil

PROPIEDADES MECANICAS	UNIDAD	BX60	BX90
Resistencia - (deformación) a la tensión método Grab MD1	N - (%)	2450-(20.4)	3380 - (14.5)
Resistencia - (deformación) a la tensión método Grab TD2	N - (%)	2550 - (19.7)	3450 - (14.0)
Resistencia al punzonamiento	N	765	1025
Resistencia @ 5% deformación MD/TD	KN/m	21.9/18.0	29.8/29.9
Resistencia disponible por deformación plástica a 114 años	KN/m	48.6/49.1	64.8/69.3
Función Protección		✓	✓
Función separación		✓	✓
Función estabilización		✓	✓
Función refuerzo		✓	✓

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Figura 14. Geotextil BX60



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Figura 15. Geotextil BX90



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

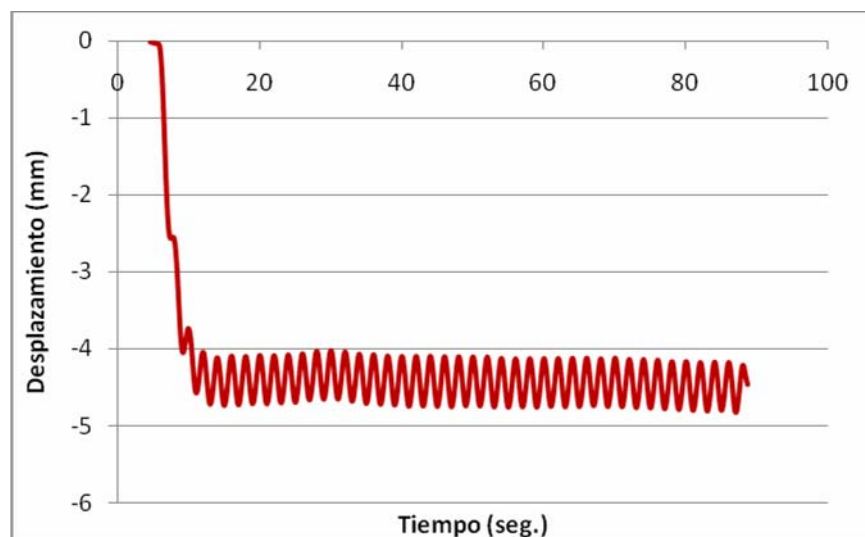
3. MÉTODOLOGIAS DE ENSAYO

3.1 MÉTODOLOGÍA DE LOS MODELOS DEL 1.1 AL 1.9

Los ensayos de estos modelos realizados en la **Material test system MTS – 810** consisten en aplicaciones de carga axial-cíclica para obtener resultados de desplazamiento. Todos los ensayos presentan dos intervalos de comportamiento característico, un intervalo inicial de compactación y acomodamiento de partículas y un segundo intervalo de estabilización del desplazamiento de cada modelo (ver Figura 16).

Los resultados de los modelos se basan en la comparación de los valores de desplazamiento del modelo con geosintético y sin geosintético, obtenidos de las zonas de comportamiento estable de las gráficas Desplazamiento Vs Tiempo de cada ensayo. Con la comparación de resultados entre los modelos se determina el porcentaje de efecto de los geosintéticos.

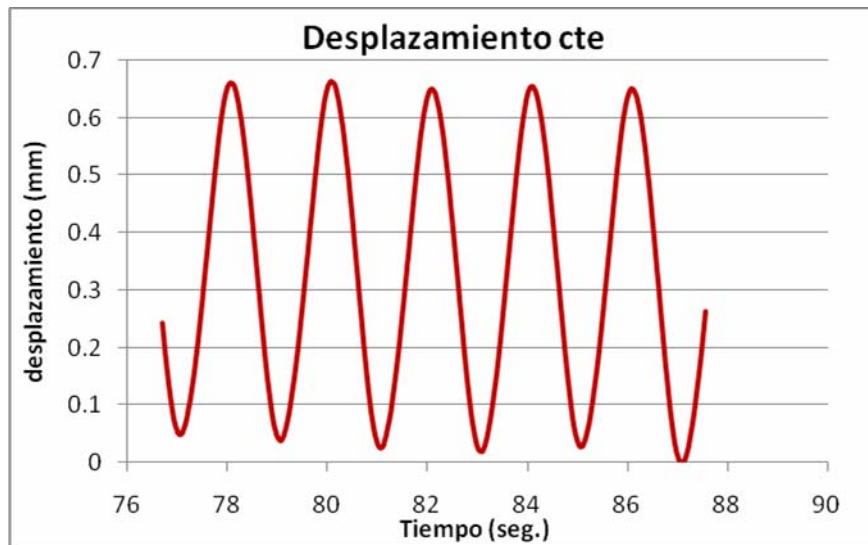
Figura 16. Gráfica tipo Tiempo Vs Desplazamiento para los modelos del 1.1 al 1.9



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Para los modelos del 1.1 al 1.9 se aplico una carga cíclica de 3KN. La Gráfica de la figura 16 describe la curva característica de un ensayo en la cual se puede observar el intervalo de compactación (de 0 a 20 seg.) y luego el intervalo de estabilización del modelo (de 40 seg. en adelante).

Figura 17. Zona de desplazamiento cte, Gráfica Tiempo Vs Desplazamiento



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Las zonas de desplazamiento constante de cada modelo como los que muestra la figura 17 son los que se comparan entre si para observar el efecto de los geosintéticos. La comparación de las curvas Tiempo Vs Desplazamiento se muestra en las Gráficas de resultados.

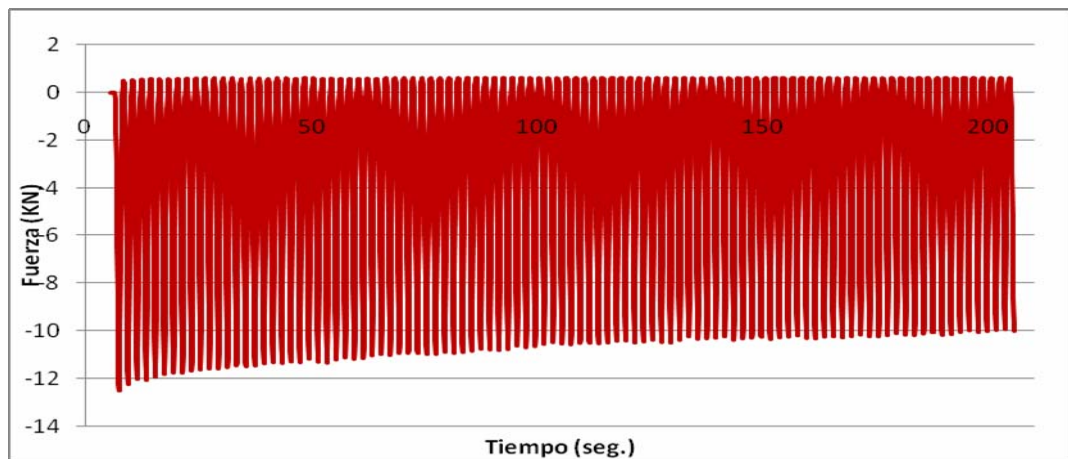
En el Anexo A. se incluyen las gráficas Tiempo Vs Desplazamiento de los ensayos 1 y 2 realizados para los modelos del 1.1 al 1.9

3.2 MÉTODOLÓGIA DE LOS MODELOS DEL 2.1 AL 2.9

Los ensayos de estos modelos realizados en la **Material test system MTS – 810** consisten en aplicaciones de desplazamiento cíclico de 10 mm de amplitud. Todos los ensayos presentan dos intervalos de comportamiento característico, un intervalo inicial de compactación y acomodamiento de partículas y un segundo intervalo de estabilización de la fuerza sobre el modelo (ver Figura 18).

Los resultados de los modelos se basan en la comparación de los valores de fuerza del modelo con geosintético y sin geosintético, obtenidos de las zonas de comportamiento estable de las gráficas Tiempo Vs Fuerza de cada ensayo. Con la comparación de resultados entre los modelos se determina el porcentaje de efecto de los geosintéticos.

Figura 18. Gráfica tipo Tiempo Vs Fuerza para los modelos del 2.1 al 2.9

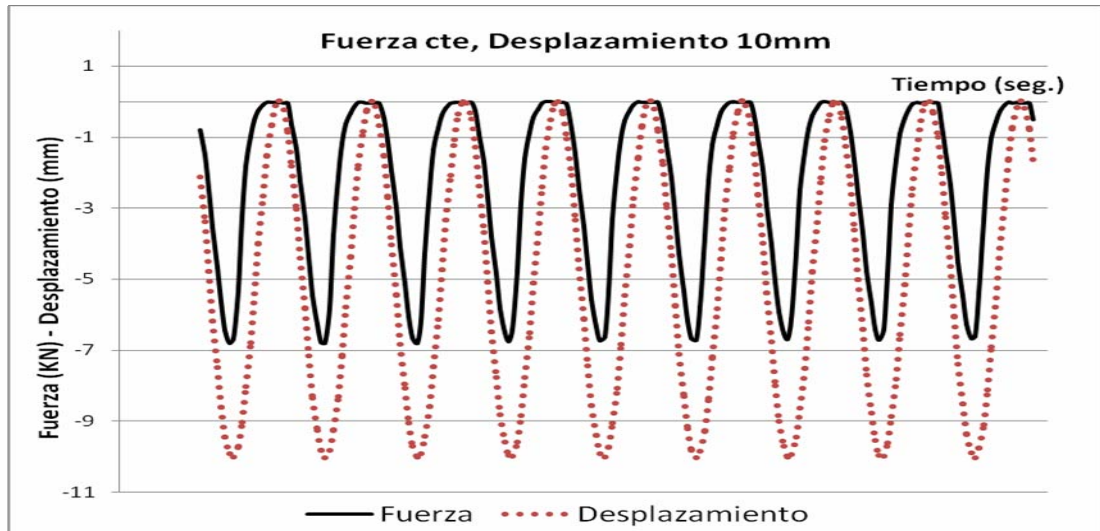


Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Para los modelos del 2.1 al 2.9 se aplicó un desplazamiento cíclico de 10mm de amplitud. La Gráfica de la figura 18 describe la curva característica de un ensayo en la cual se puede observar el intervalo de compactación (de 0 a 140

seg.) y luego el intervalo de estabilización del modelo (de 140 seg. En adelante).

Figura 19. Zona de Fuerza cte, Gráfica fuerza Vs Tiempo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Los valores de fuerza constante de cada modelo como los que se observan en la figura 19 son los que se comparan entre si para observar el efecto de los geosintéticos. La comparación de las curvas fuerza Vs tiempo se muestra en las Gráficas de resultados.

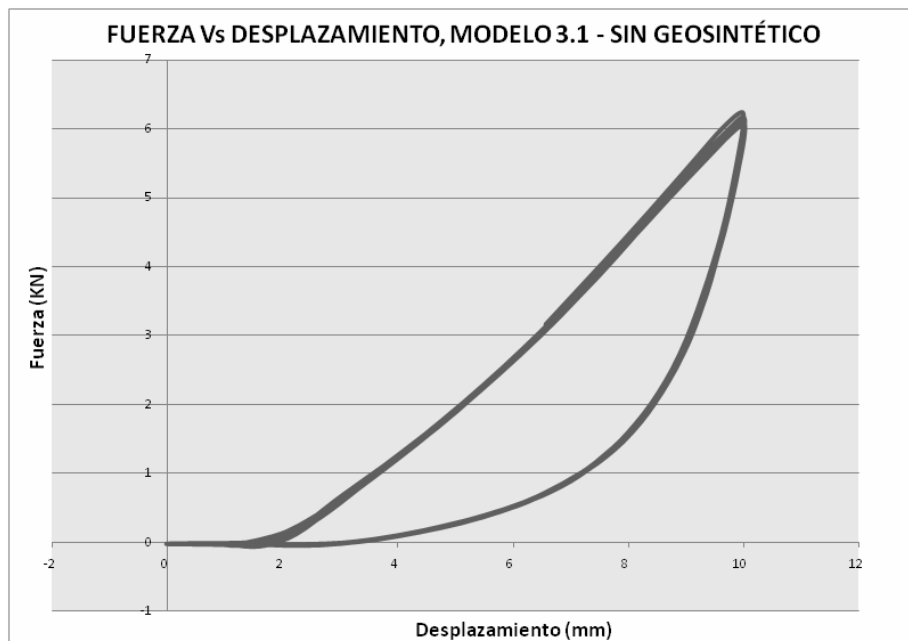
En el Anexo B. se incluyen las gráficas Fuerza Vs Tiempo de los ensayos 1 y 2 realizados para los modelos del 2.1 al 2.9

3.3 MÉTODOLÓGIA DE LOS MODELOS DEL 3.1 AL 3.9

La estructura del modelo 3.1 (sin geosintético) se ensaya aplicando un desplazamiento cíclico para obtener un valor promedio de carga. La fuerza que

registra la estructura del modelo sin geosintético ante un desplazamiento de 10 mm es de 6.2 KN (ver figura 20).

Figura 20. Gráfica fuerza Vs desplazamiento, modelo 3.1 – sin geosintético



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Los ensayos de los modelos 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 se realizaron aplicando una carga lineal de 6.2KN por un periodo de 20 segundos para obtener resultados de desplazamiento como el que se muestra en la figura 21.

Figura 21. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento para los modelos del 3.2 a 3.5

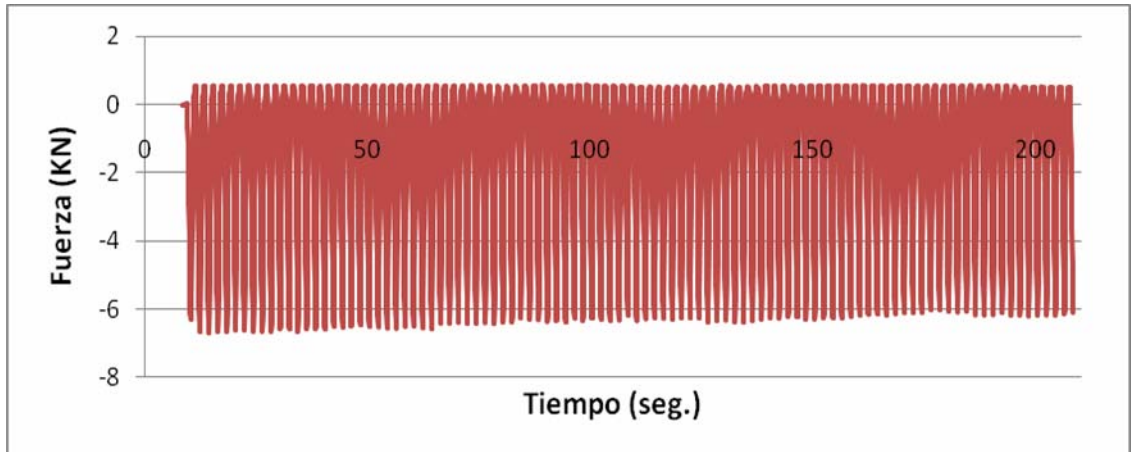


Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Los resultados de los modelos 3.2 a 3.5 se basan en la comparación de los valores de desplazamiento que registra cada modelo reforzado cuando se somete a la carga de 6.2KN que produce una deformación de 10 mm en el modelo sin refuerzo.

Los ensayos de modelos del 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 realizados en la **Material test system MTS – 810** consisten en aplicaciones de desplazamiento cíclico de 10 mm de amplitud. Todos los ensayos presentan dos intervalos de comportamiento característico, un intervalo inicial de compactación y acomodamiento de partículas y un segundo intervalo de estabilización de la fuerza sobre cada modelo (ver Figura 22).

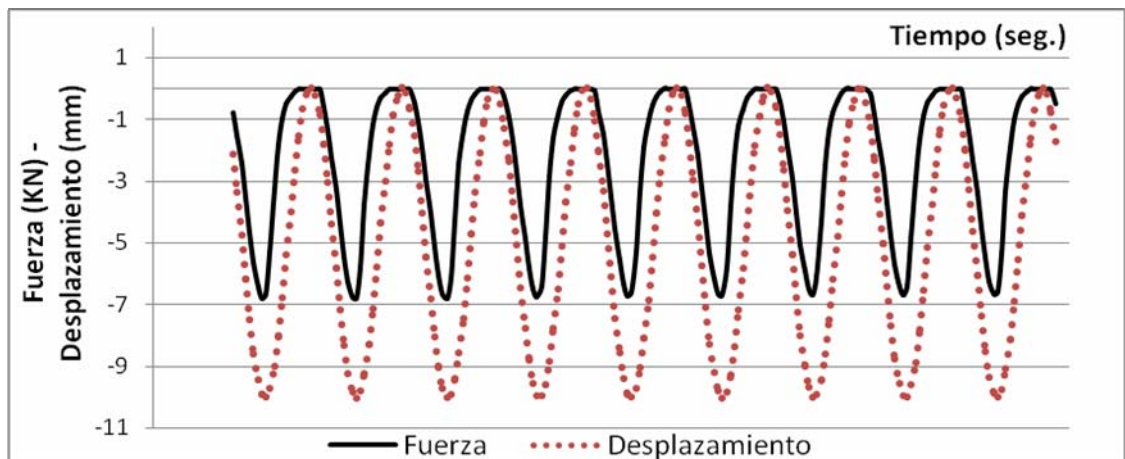
Figura 22. Gráfica Desplazamiento Vs Tiempo para los modelos del 3.6 al 3.9



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Para los modelos del 3.6 al 3.9 se aplicó un desplazamiento cíclico de 10mm de amplitud. La Gráfica de la figura 22 describe la curva característica de un ensayo en la cual se puede observar el intervalo de compactación (de 0 a 160 seg.) y luego el intervalo de estabilización del modelo (de 160 seg. En adelante).

Figura 23. Zona de Fuerza cte, Gráfica fuerza Vs Tiempo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Los valores de fuerza constante de los modelos del 3.6 al 3.9 como los que se observan en la figura 23 son los que se comparan entre si para observar el efecto de los geosintéticos. La comparación de las curvas fuerza Vs tiempo se muestra en las Gráficas de resultados.

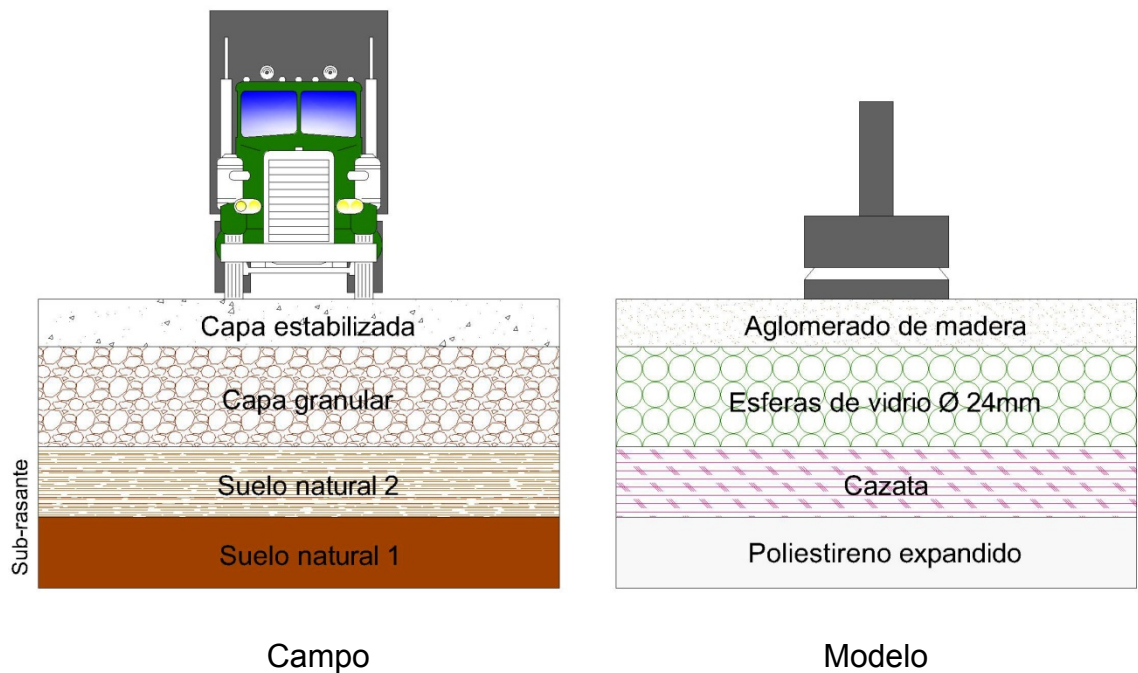
En el Anexo C. se incluyen las gráficas Fuerza Vs Desplazamiento y Tiempo Vs Fuerza de los ensayos 1 y 2 realizados para los modelos del 3.1 al 3.9

4. DESCRIPCIÓN DE MODELOS Y RESULTADOS

4.1 MODELO 1.1

El modelo 1.1 (sin geosintético) representa un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular y una capa estabilizada.

Figura 24. Estructura de pavimento del campo y del modelo 1.1



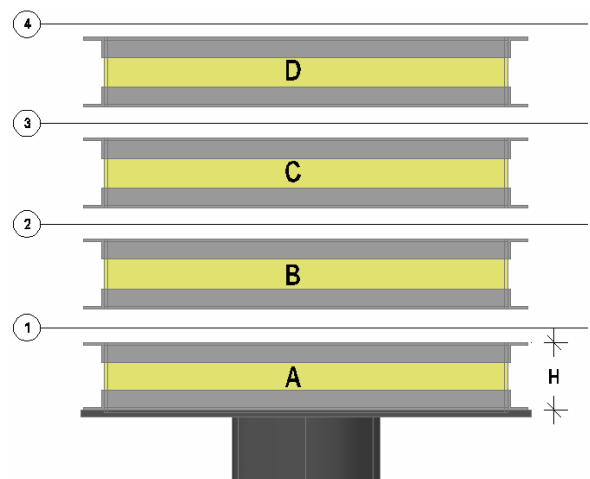
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24mm de diámetro simulan la capa granular. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

❖ MODELO 1.1

Figura 25. Modelo 1.1



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5cm, Esferas de $\Phi=24$ mm

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm

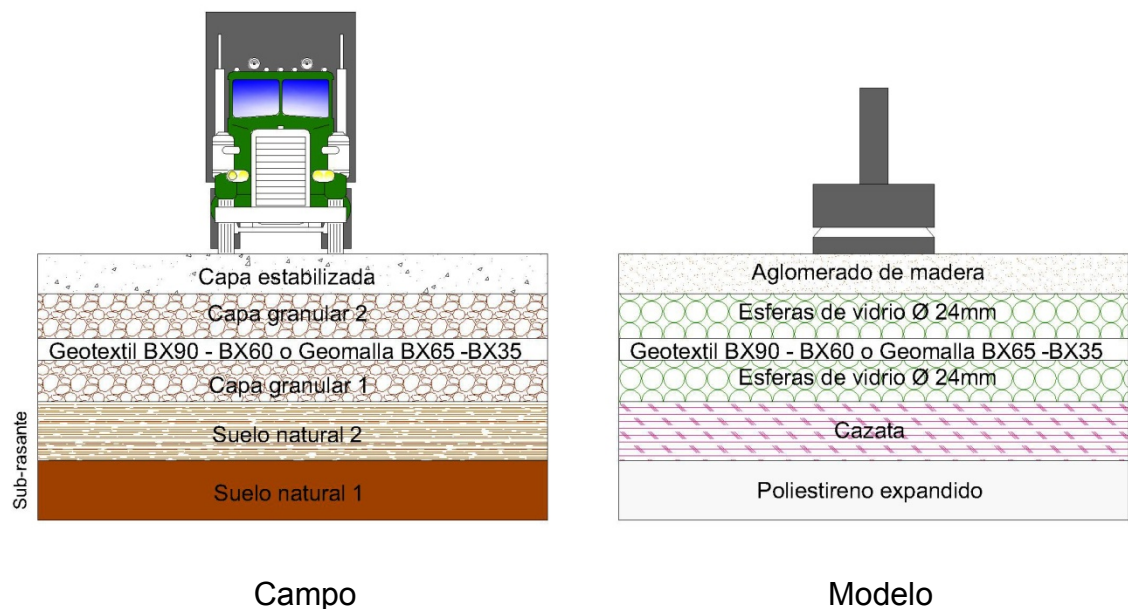
MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm

4.2 MODELOS DEL 1.2 AL 1.5

Los modelos del 1.2 al 1.5 representan un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular 1 de agregado, un refuerzo con geosintético, una capa granular 2 de agregado y una capa estabilizada.

Figura 26. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 1.2 al 1.5



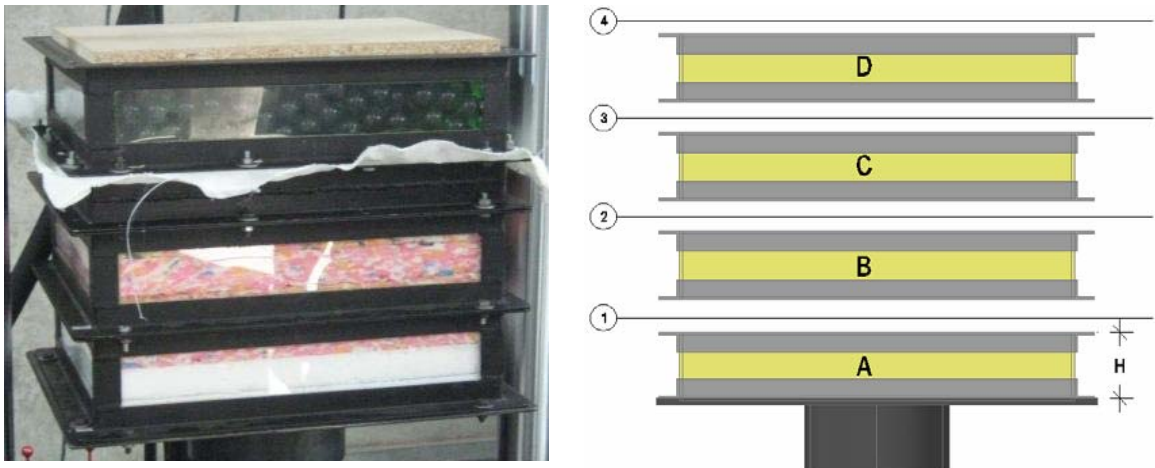
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24mm de diámetro simulan la capa granular 1 y capa granular 2. El geosintético ubicado entre las capas granulares 1 y 2 actúan como refuerzo. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

❖ MODELO 1.2

Figura 27. Modelo 1.2



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

ZONA 3, Geotextil BX90.

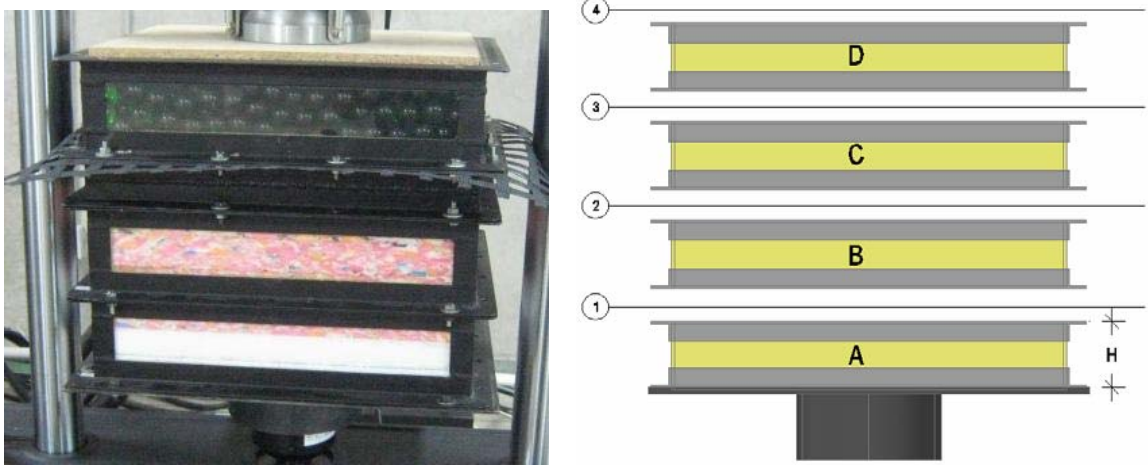
MODULO C - H= 5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm.

❖ MODELO 1.3

Figura 28. Modelo 1.3



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

ZONA 3, Geomalla BX65.

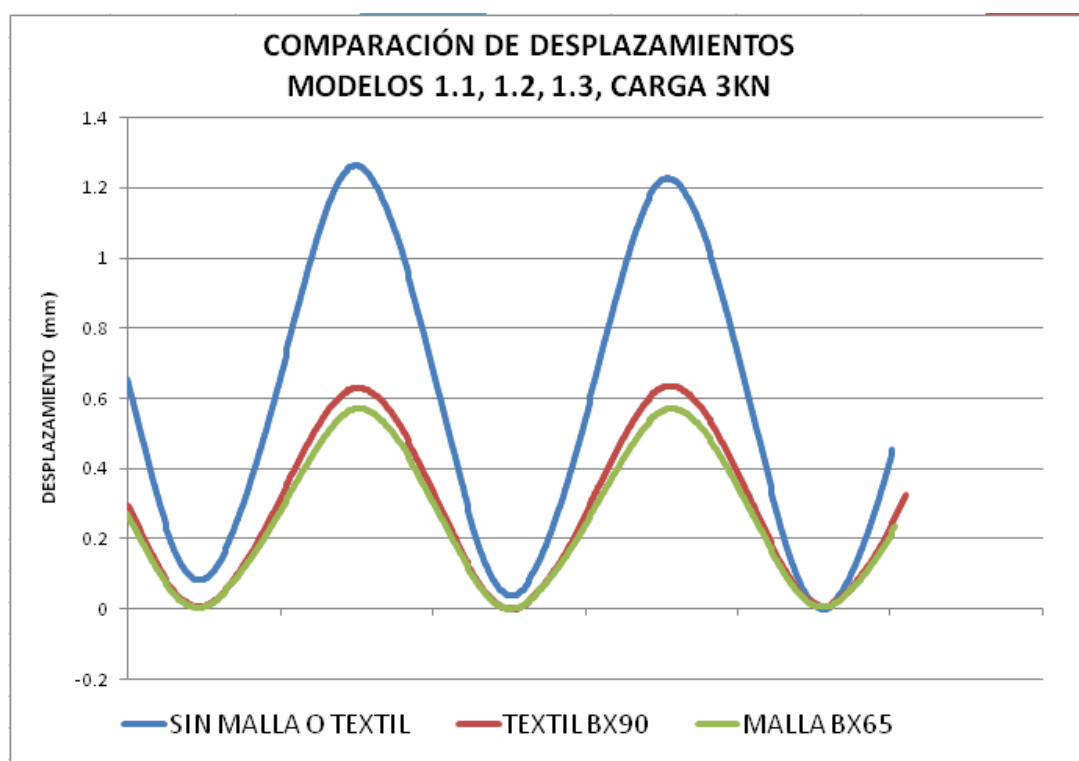
MODULO C - H= 5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm.

4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.2, 1.3

Figura 29. Comparación de resultados, Modelos 1.1, 1.2, 1.3, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 3. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.2, 1.3

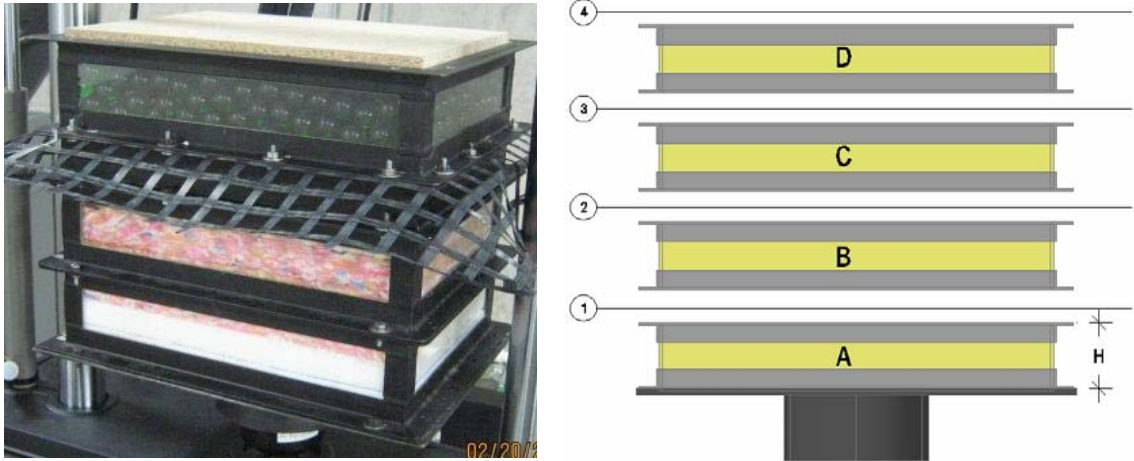
MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.2	3	0.641	47.80%
1.3	3	0.572	53.42%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El Modelo 1.3 (con Geomalla BX65) que con una carga cíclica de 3 KN registra un desplazamiento de 0.572 mm presenta una reducción en el desplazamiento de la estructura en un 53.42% comparado con el Modelo 1.1 (sin geosintético) que con carga cíclica de 3 KN registra un desplazamiento de 1.228 mm.

❖ MODELO 1.4

Figura 30. Modelo 1.4



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

ZONA 3, Geomalla BX35.

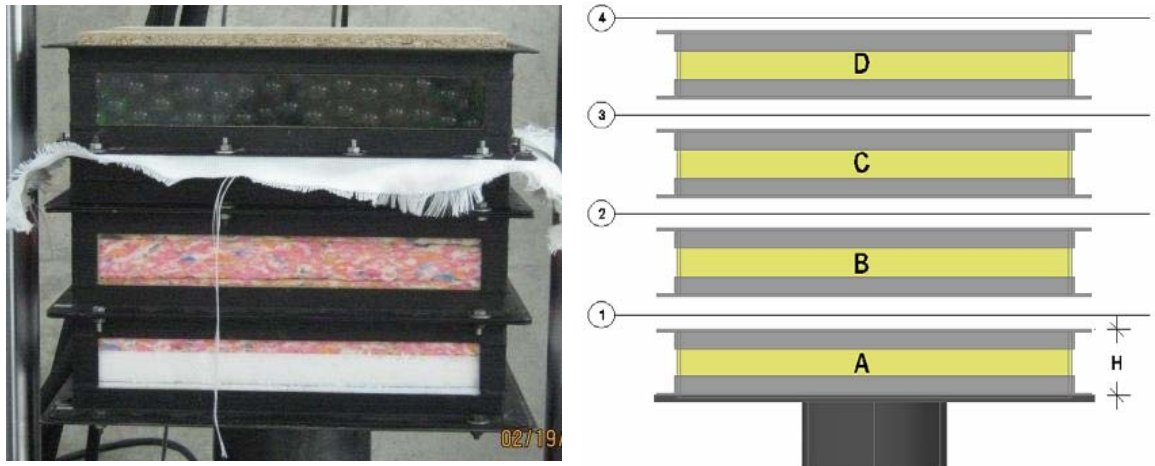
MODULO C - H= 5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliéstireno expandido (icopor), 6cm.

❖ MODELO 1.5

Figura 31. Modelo 1.5



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

ZONA 3, Geotextil BX60.

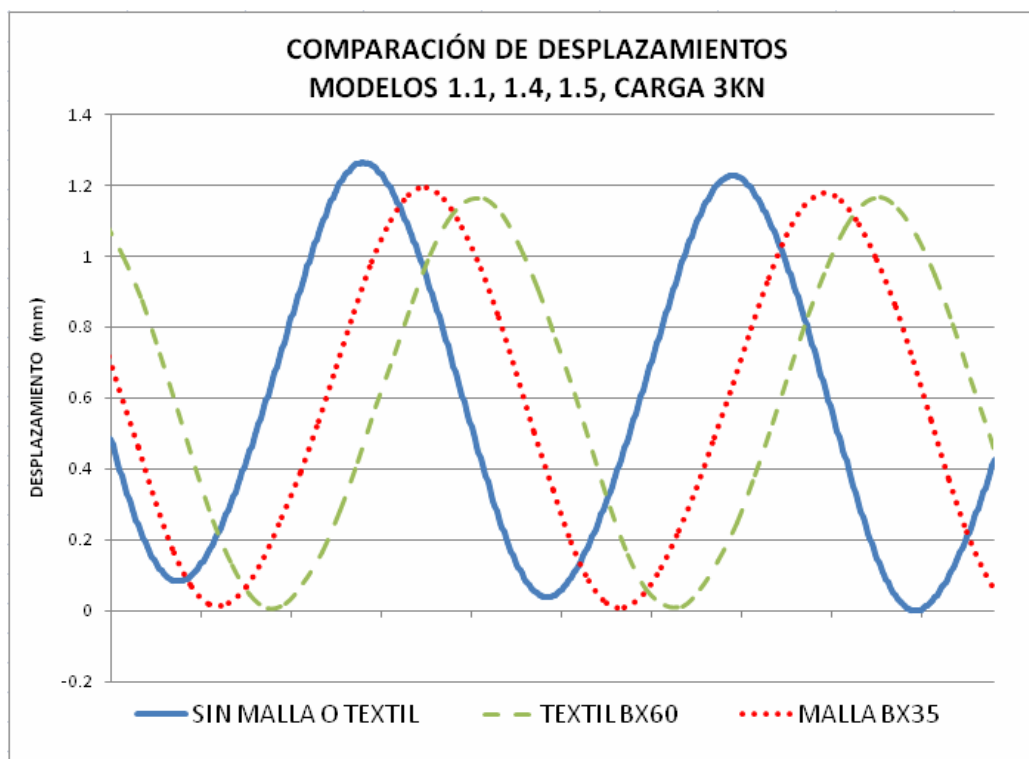
MODULO C - H= 5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm.

4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.4, 1.5

Figura 32. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.4, 1.5, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 4. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.4, 1.5

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.4	3	1.195	2.69%
1.5	3	1.17	4.72%

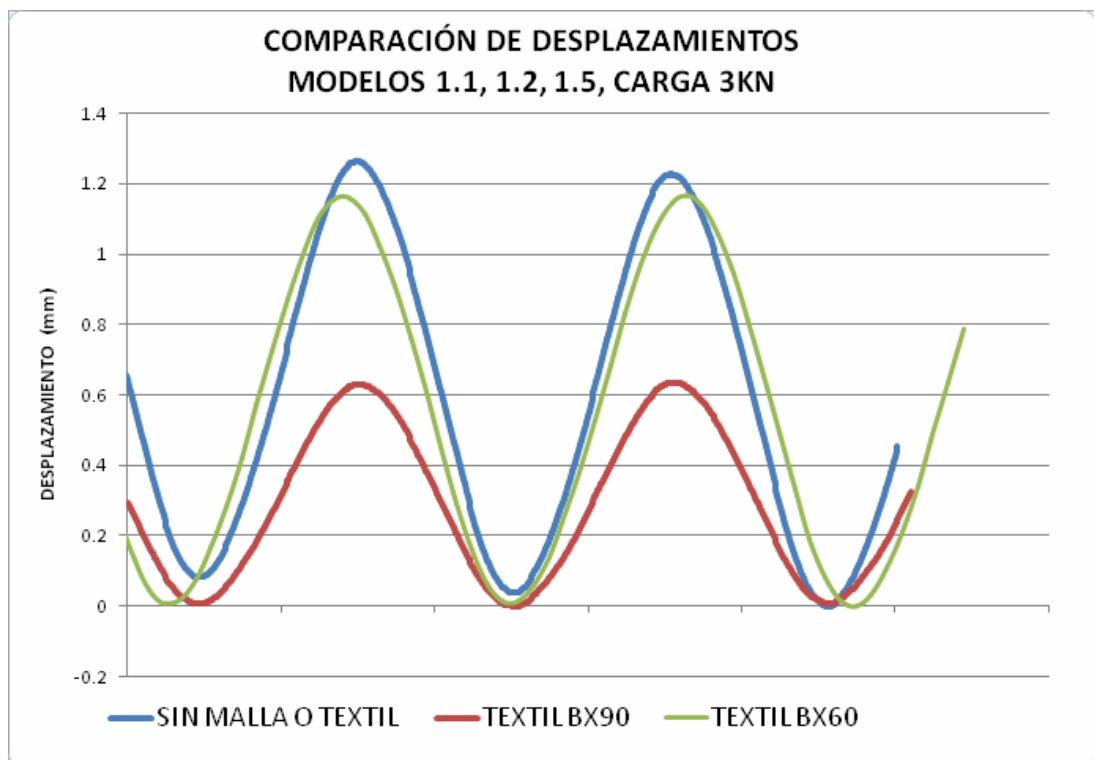
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El Modelo 1.5 (con Geotextil BX60) que con una carga cíclica de 3 KN registra un desplazamiento de 1.17 mm presenta una reducción en el desplazamiento de la estructura en un 4.72% comparado con el Modelo 1.1 (sin geosintético) que con carga cíclica de 3 KN registra un desplazamiento de 1.228 mm.

4.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.2, 1.5

El modelo 1.2 y el modelo 1.5 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geotextil BX60.

Figura 33. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.2, 1.5, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 5. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.2, 1.5

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.2	3	0.641	47.80%
1.5	3	1.17	4.72%

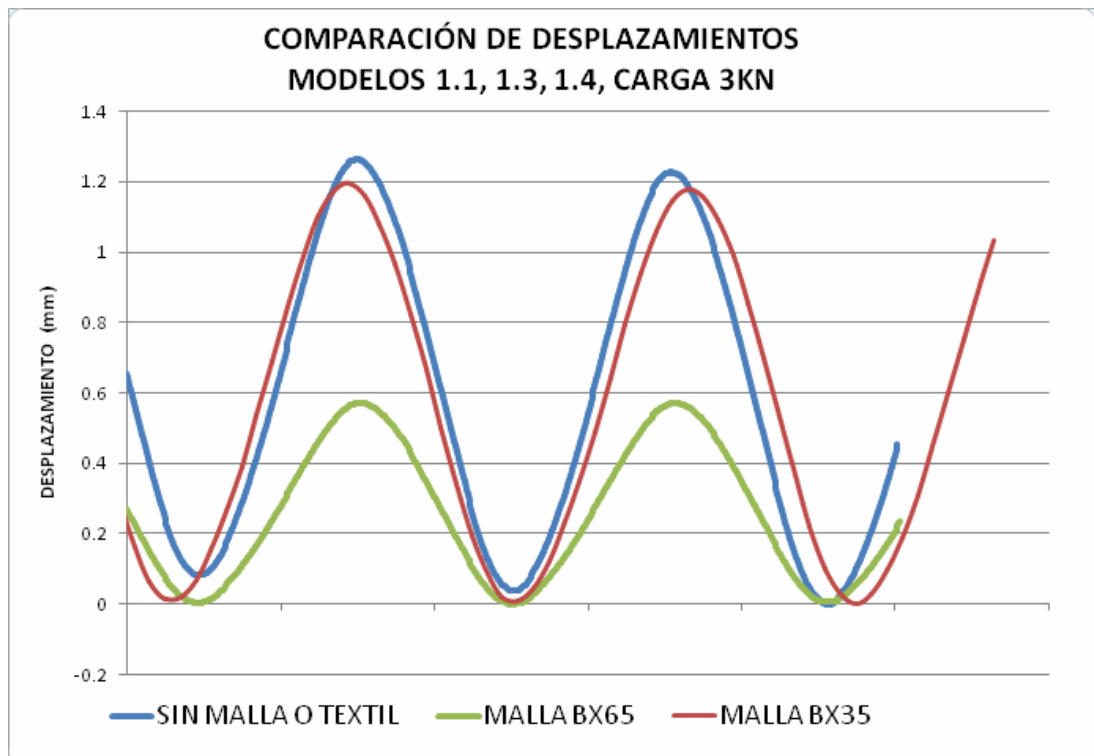
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 33 se observa que los geotextiles BX90 y BX60 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 2..., el modelo 1.2 con geotextil BX90 de mejores propiedades mecánicas registra mayor reducción del desplazamiento en los ensayos que el modelo 1.5 con geotextil BX60.

4.6 RESUMEN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.3, 1.4

El modelo 1.3 y el modelo 1.4 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geomalla BX65 por geomalla BX35.

Figura 34. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.3, 1.4, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 6. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.3, 1.4

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.3	3	0.572	53.42%
1.4	3	1.195	2.69%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

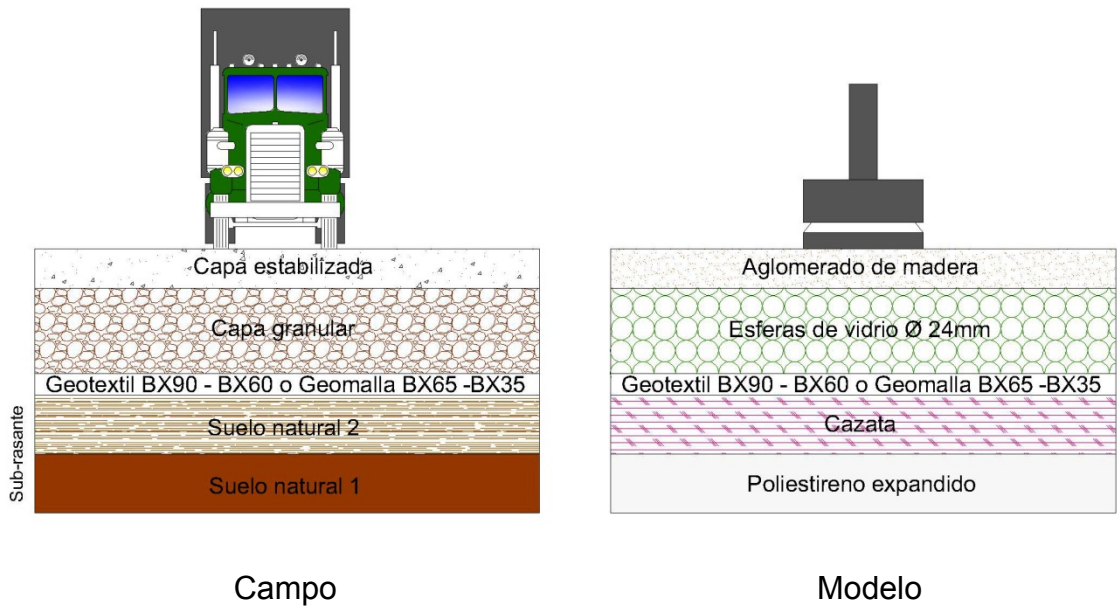
De la figura 34 se observa que las geomallas BX65 y BX35 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 1..., el modelo 1.3 con geomalla BX65 de mejores propiedades mecánicas registra mayor reducción del desplazamiento en los ensayos que el modelo 1.4 con geomalla BX35.

4.7 MODELOS DEL 1.6 AL 1.9

Los modelos del 1.6 al 1.9 representan un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), un refuerzo con geosintético, una capa granular y una capa estabilizada.

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. El geosintético ubicado sobre la cazata actúa como refuerzo y separador de materiales. Las esferas de vidrio de 24mm de diámetro representa una capa granular. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

Figura 35. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 1.6 al 1.9

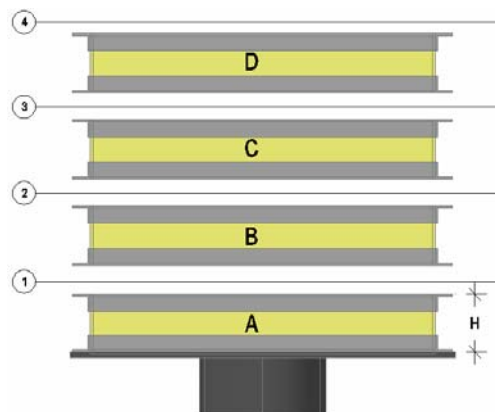


Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

❖ MODELO 1.6

Figura 36. Modelo 1.6



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=5cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

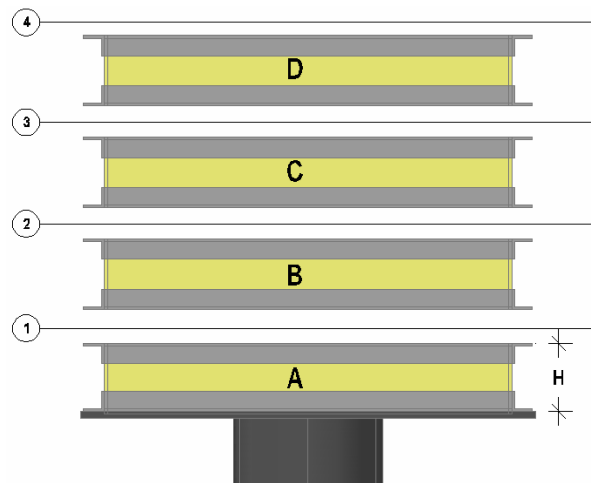
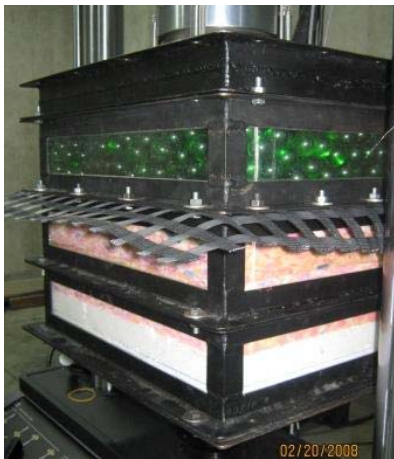
ZONA 2, Geotextil BX90.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm.

❖ MODELO 1.7

Figura 37. Modelo 1.7



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=5cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

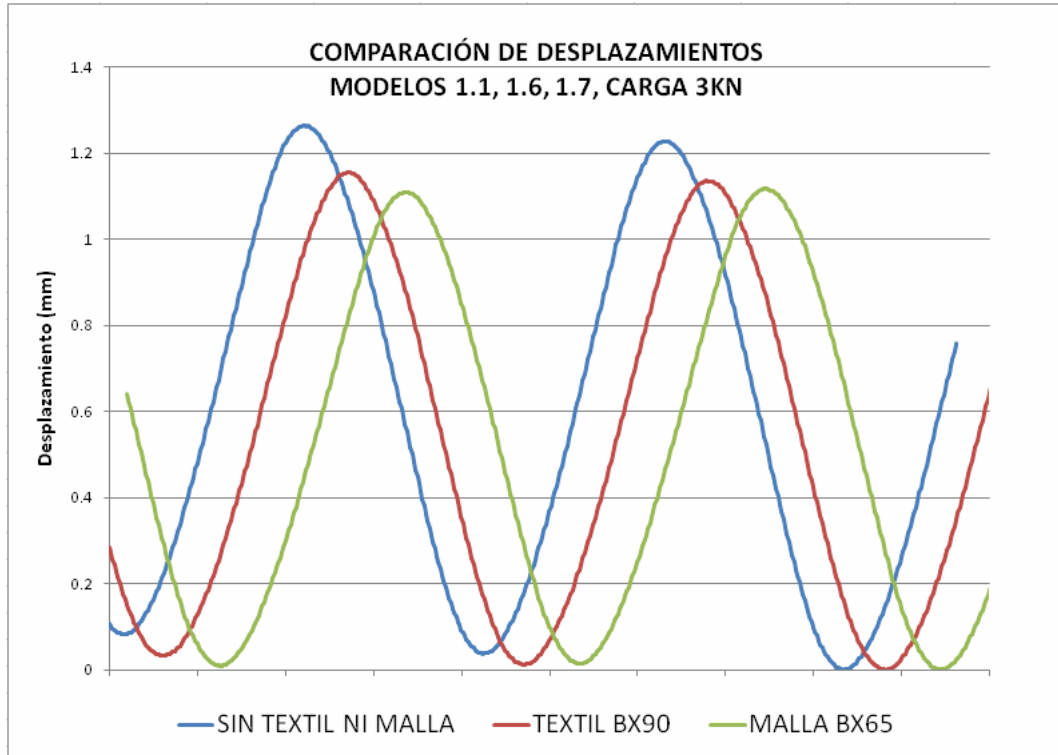
ZONA 2, Geomalla BX65.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm.

4.8 RESUMEN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.6, 1.7

Figura 38. Comparación de resultados, Modelos 1.1, 1.6, 1.7, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 7. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.6, 1.7

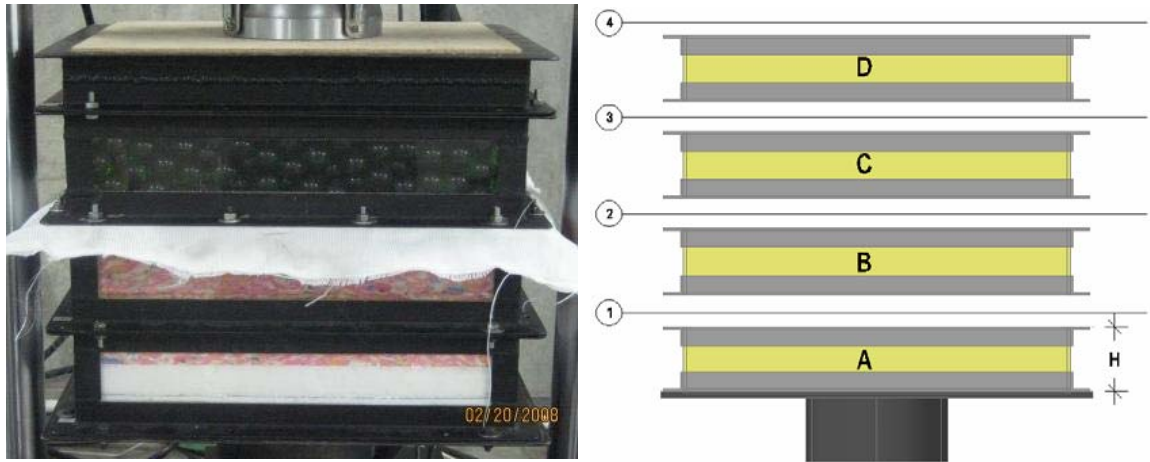
MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.6	3	1.156	5.86%
1.7	3	1.11	9.61%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El Modelo 1.7 (con Geomalla BX65) que con una carga cíclica de 3 KN registra un desplazamiento de 1.156 mm presenta una reducción en el desplazamiento de la estructura en un 9.61% comparado con el Modelo 1.1 (sin geosintético) que con carga cíclica de 3 KN registra un desplazamiento de 1.228 mm.

❖ MODELO 1.8

Figura 39. Modelo 1.8



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=5cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO C - H=10cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

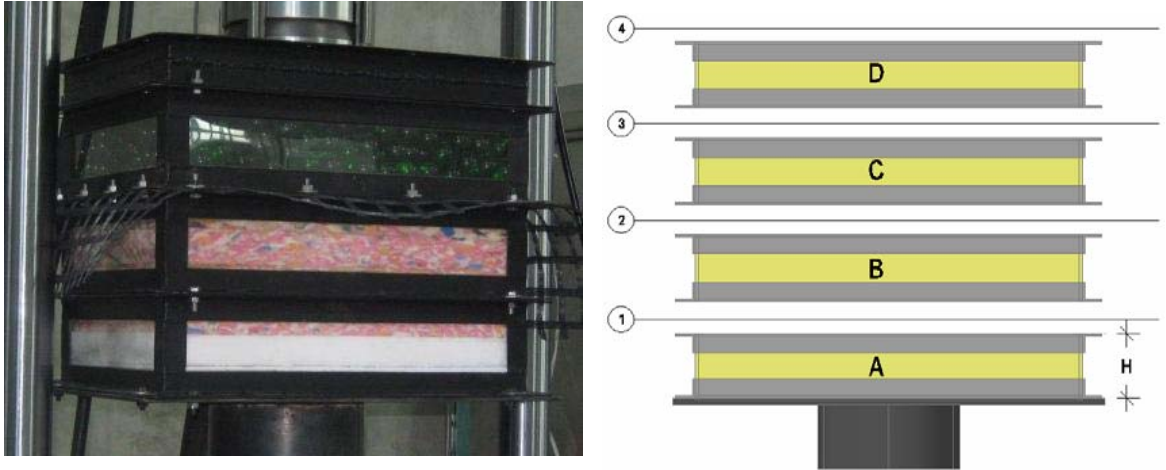
ZONA 2, Geotextil BX60.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm.

❖ MODELO 1.9

Figura 40. Modelo 1.9



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=5cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO C - H=10cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

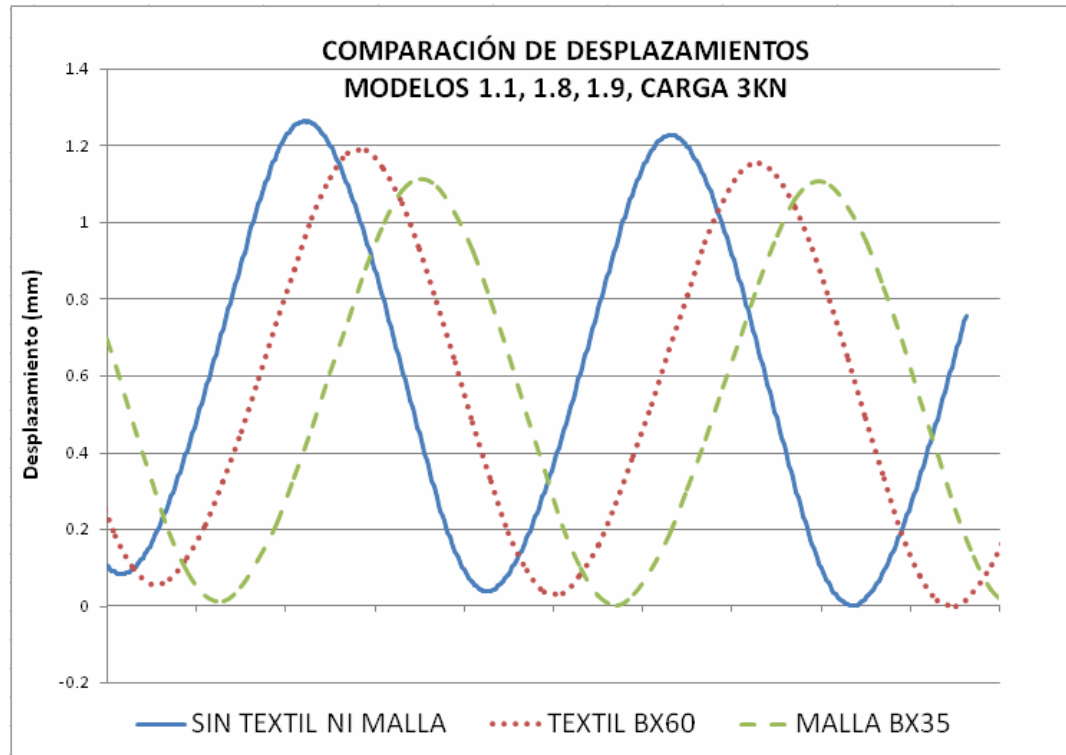
ZONA 2, Geomalla BX35.

MODULO B - H=10cm, Cazata, 14 cm.

MODULO A - H=10cm, Poliestireno expandido (icopor), 6cm.

4.9 RESUMEN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.8, 1.9

Figura 41. Comparación de resultados, Modelos 1.1, 1.8, 1.9, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 8. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.8, 1.9

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.8	3	1.185	3.50%
1.9	3	1.118	8.96%

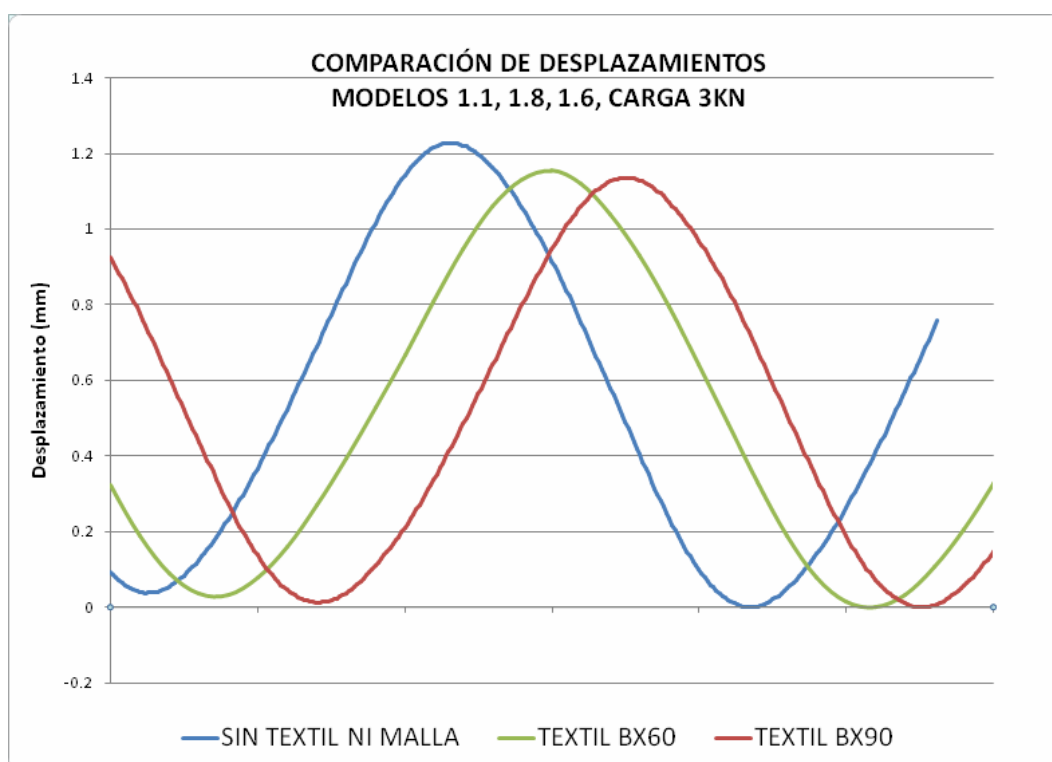
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El Modelo 1.9 (con Geomalla BX35) que con una carga cíclica de 3 kN registra un desplazamiento de 1.118 mm presenta una reducción en el desplazamiento de la estructura en un 8.96% comparado con el Modelo 1.1 (sin geosintético) que con carga cíclica de 3 kN registra un desplazamiento de 1.228 mm.

4.10 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.6, 1.8

El modelo 1.6 y el modelo 1.8 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geotextil BX60.

Figura 42. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.6, 1.8, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 9. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.6, 1.8

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.6	3	1.156	5.86%
1.8	3	1.185	3.50%

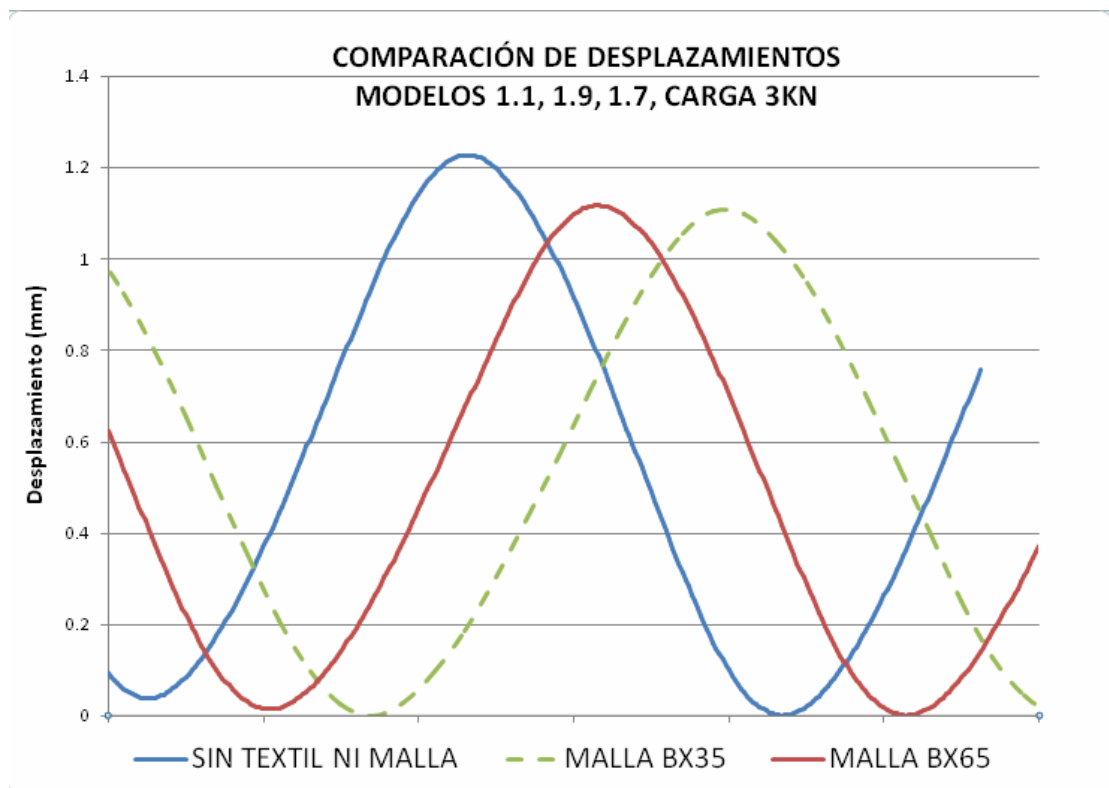
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La ubicación de material geosintético entre capas inferiores como es el caso de los modelos del 1.6 y 1.8 presentan para los geotextiles BX90 y BX60 porcentajes de reducción de desplazamiento bajos y similares debido a que los esfuerzos se distribuyen en la estructura de pavimento a medida que se van transmitiendo a las capas inferiores.

4.11 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.7, 1.9

El modelo 1.7 y el modelo 1.9 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geomalla BX65 por geomalla BX35.

Figura 43. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.7, 1.9, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 10. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.7, 1.9

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.7	3	1.11	9.61%
1.9	3	1.118	8.96%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La ubicación de material geosintético entre capas inferiores como es el caso de los modelos del 1.7 y 1.9 presentan para los geomallas BX65 y BX35 porcentajes de reducción de desplazamiento bajos y similares debido a que los esfuerzos se distribuyen en la estructura de pavimento a medida que se van transmitiendo a las capas inferiores.

4.12 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.2, 1.6

El modelo 1.2 y el modelo 1.6 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación del geotextil BX90.

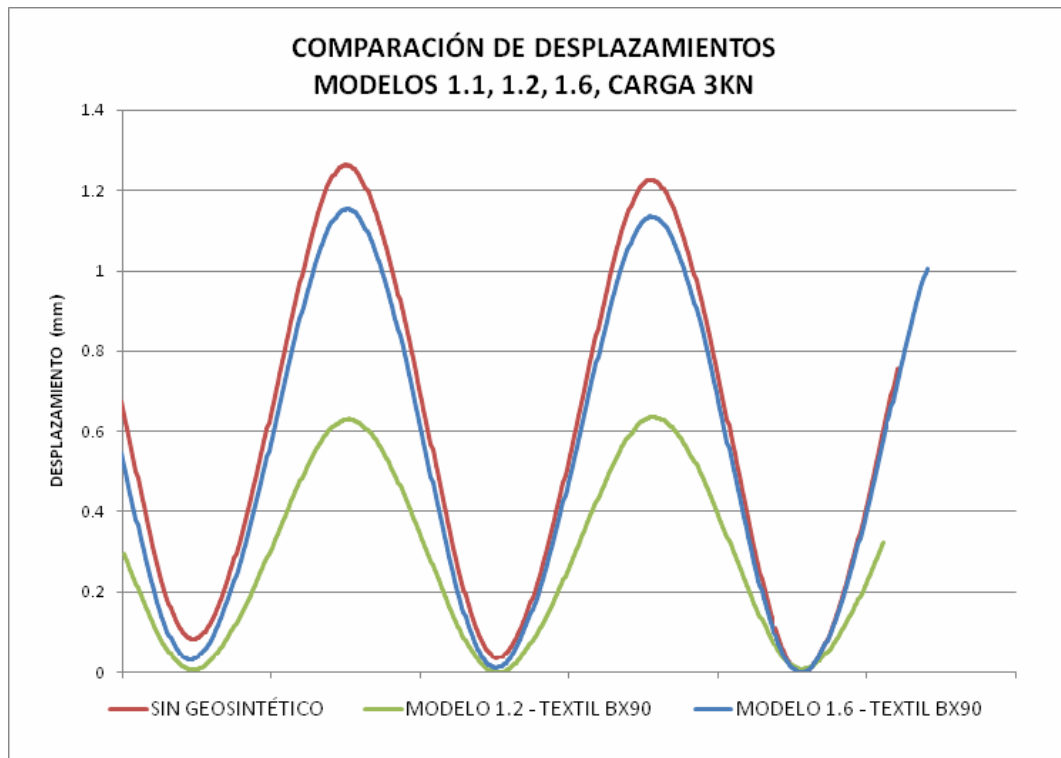
TABLA RESUMEN:

Tabla 11. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.2, 1.6

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.2	3	0.641	47.80%
1.6	3	1.156	5.86%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Figura 44. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.2, 1.6, Carga 3KN



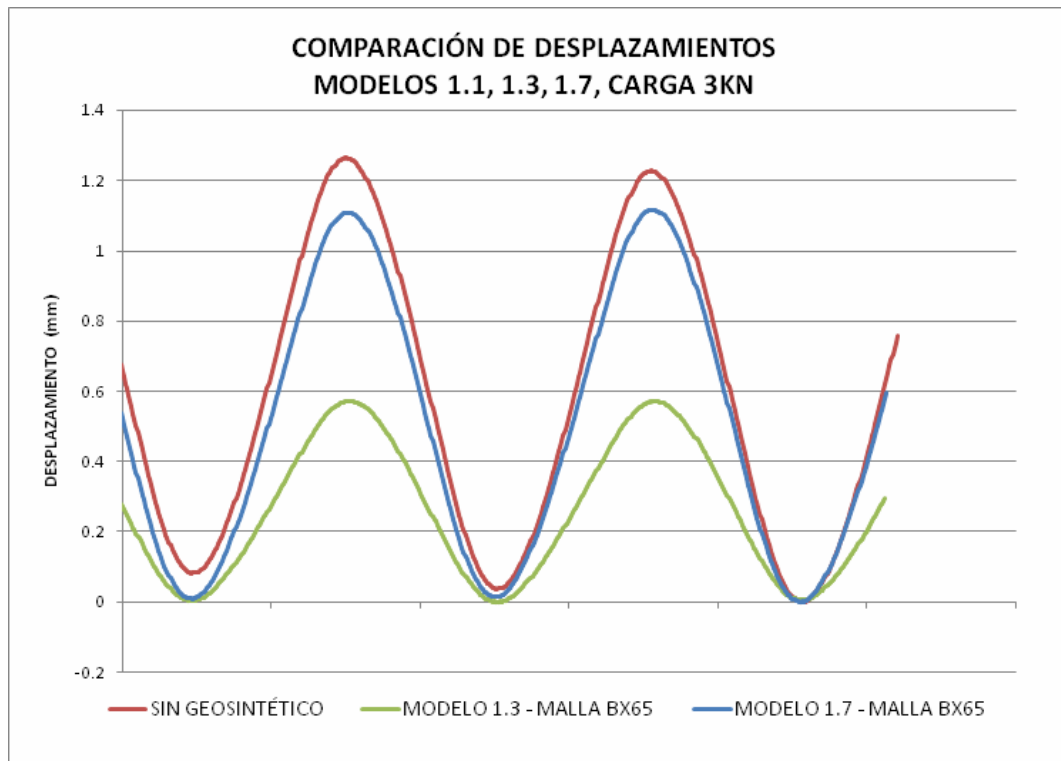
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 44 muestra las curvas de desplazamiento del mismo material geosintético (en este caso el geotextil BX90) pero en diferente ubicación. Se observa que el geosintético en una capa inferior de la estructura reduce el desplazamiento en un 5.86% mientras que este mismo geosintético ubicado en una capa superior reduce el desplazamiento de la estructura en un 47.8%.

4.13 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.3, 1.7

El modelo 1.3 y el modelo 1.7 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación de la geomalla BX65.

Figura 45. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.3, 1.7, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 12. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.3, 1.7

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.3	3	0.572	53.42%
1.7	3	1.11	9.61%

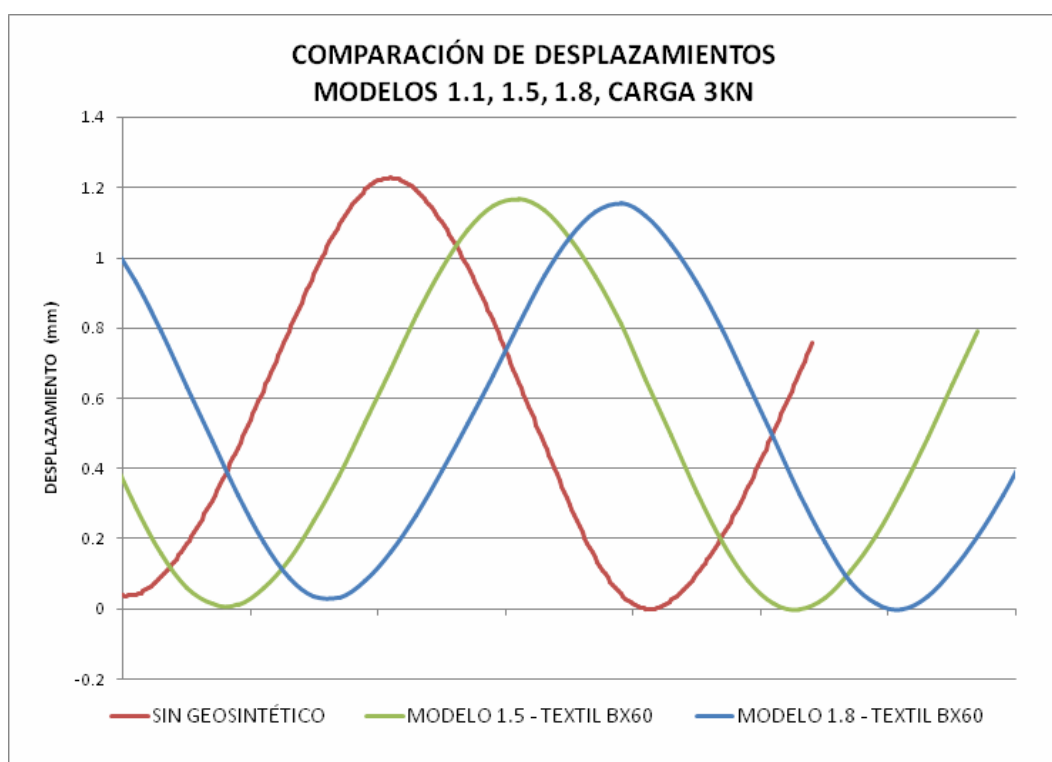
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 45 muestra las curvas de desplazamiento del mismo material geosintético (en este caso la geomalla BX65) pero en diferente ubicación. Se observa que el geosintético en una capa inferior de la estructura reduce el desplazamiento en un 9.61% mientras que este mismo geosintético ubicado en una capa superior reduce el desplazamiento de la estructura en un 53.42%.

4.14 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.5, 1.8

El modelo 1.5 y el modelo 1.8 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación del geotextil BX60.

Figura 46. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.5, 1.8, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 13. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.5, 1.8

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.5	3	1.17	4.72%
1.8	3	1.185	3.50%

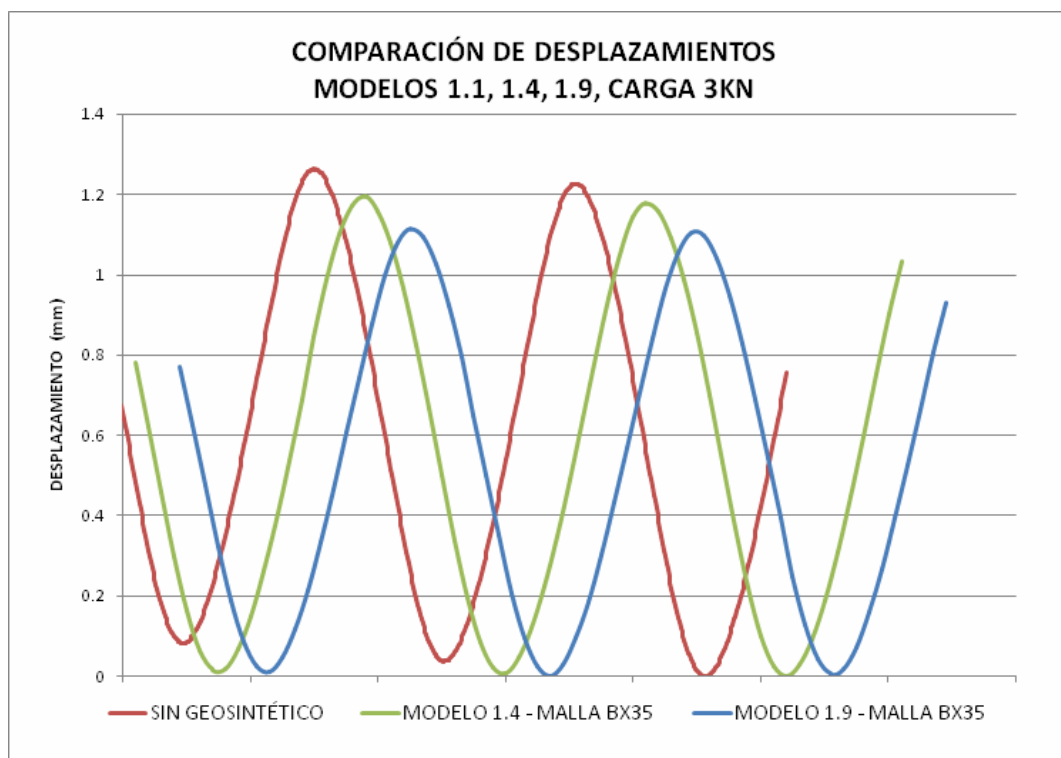
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 46 muestra los resultados de desplazamiento del mismo material geosintético (en este caso el geotextil BX60) pero en diferente ubicación. Se observa que específicamente para este geosintético el porcentaje de reducción de desplazamiento es indiferente a la ubicación del refuerzo.

4.15 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 1.1, 1.4, 1.9

El modelo 1.4 y el modelo 1.9 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación de la geomalla BX35.

Figura 47. Comparación de Resultados, Modelos 1.1, 1.4, 1.9, Carga 3KN



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 14. Resumen de resultados, modelos 1.1, 1.4, 1.9

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% DE REDUCCIÓN
1.1	3	1.228	---
1.4	3	1.195	2.69%
1.9	3	1.118	8.96%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

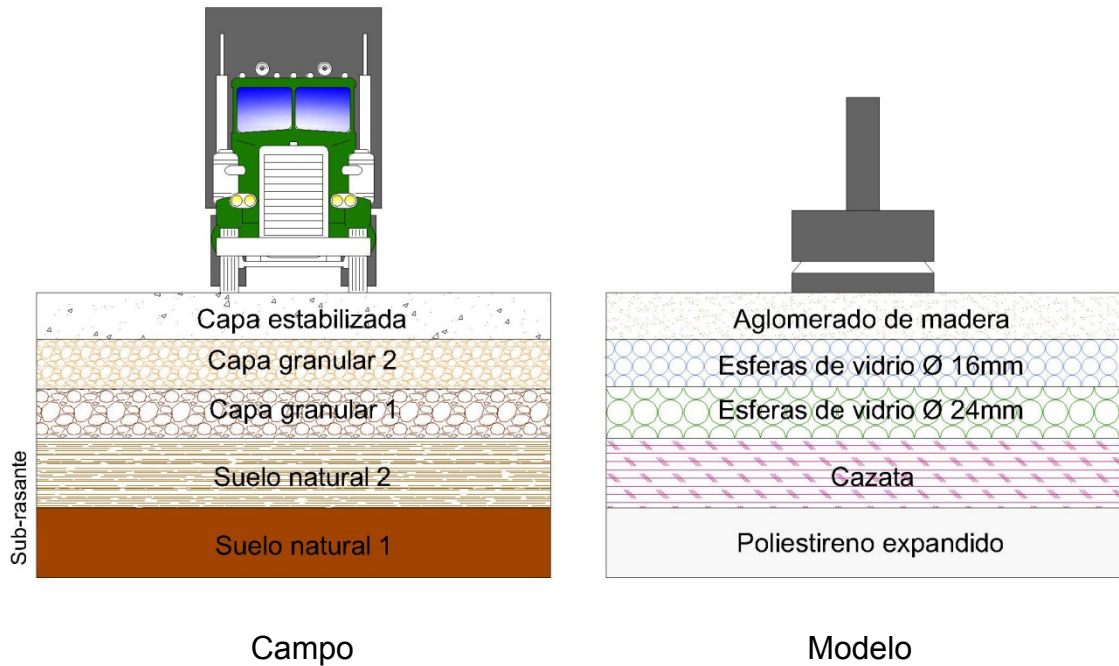
La figura 47 muestra los resultados de desplazamiento del mismo material geosintético (en este caso la geomalla BX35) pero en diferente ubicación. Para el modelo 1 la geomalla BX35 a diferencia de los otros tres materiales geosintéticos utilizados aumenta el porcentaje de reducción de desplazamiento cuando se ubica en una capa inferior.

4.16 MODELO 2.1

El modelo 2.1 (sin geosintético) representa un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular 1, una capa granular 2 y una capa asfáltica.

La capa granular 2 con agregado de menor tamaño que la capa granular 1 aumenta la fricción entre partículas y por lo tanto la resistencia a cargas y la estabilidad de la estructura.

Figura 48. Estructura de pavimento del campo y del modelo 2.1



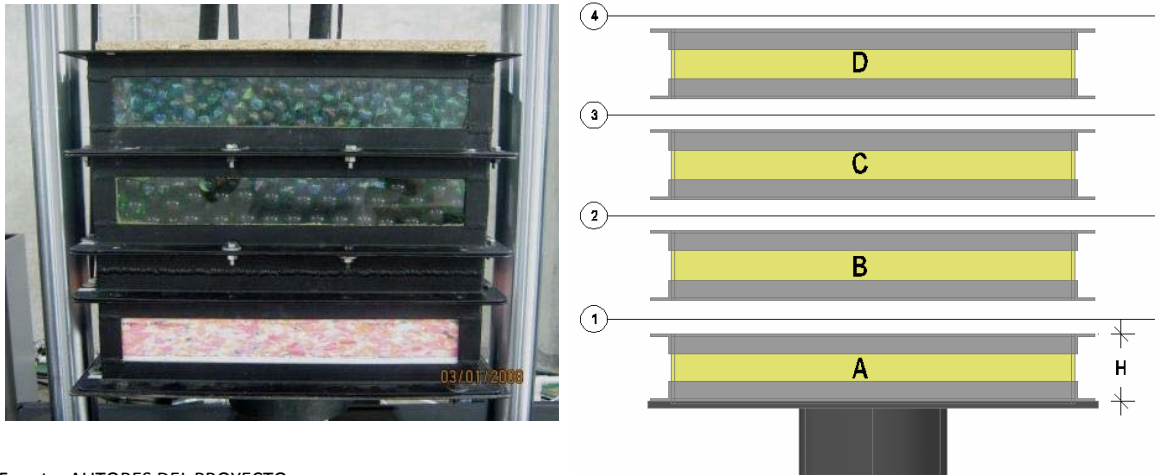
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24mm de diámetro simulan la capa granular 1. Las esferas de 16 mm de diámetro simulan la capa granular 2. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales "icopor", cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

❖ MODELO 2.1

Figura 49. Modelo 2.1



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm

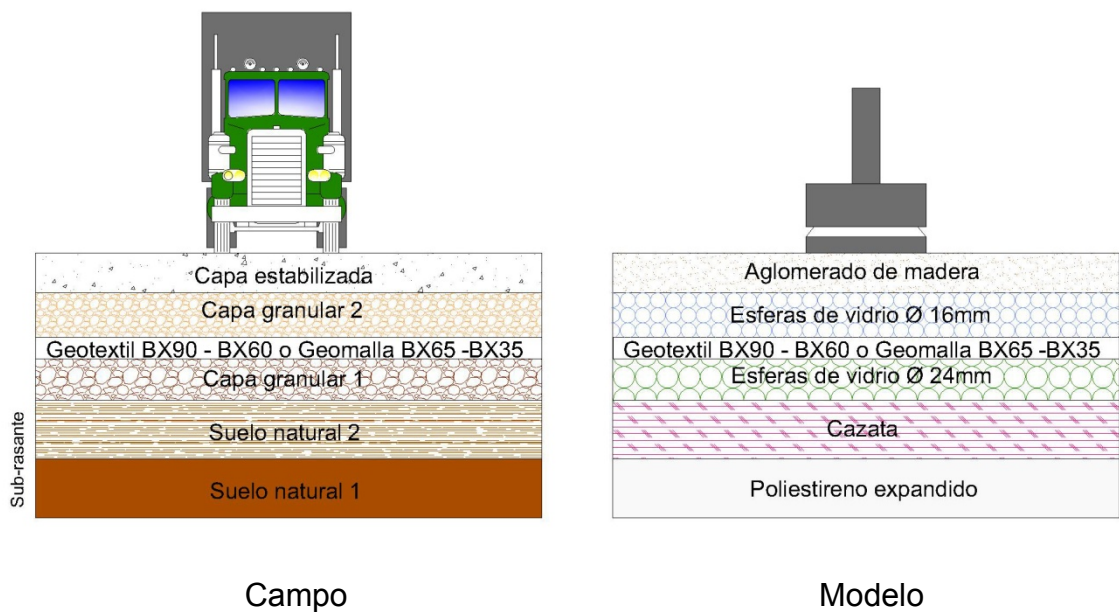
MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor), 3cm y Cazata, 7 cm

4.17 MODELOS DEL 2.2 AL 2.5

Los modelos del 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 representan un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular 1, un refuerzo con geosintético, una capa granular 2 y una capa estabilizada.

Figura 50. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 2.2 al 2.5



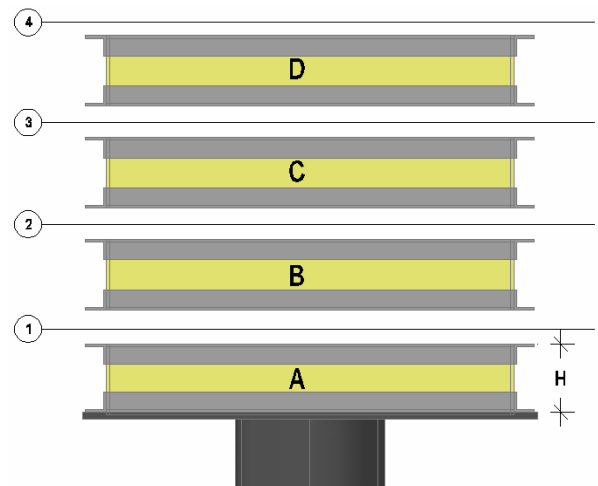
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24mm de diámetro simulan la capa granular 1. El geosintético ubicado entre la capa de esferas de vidrio de 24 y 16 mm actúa como refuerzo y separador de material. Las esferas de 16mm de diámetro simulan la capa granular 2. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

❖ MODELO 2.2

Figura 51. Modelo 2.2



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

ZONA 3, Geotextil BX90.

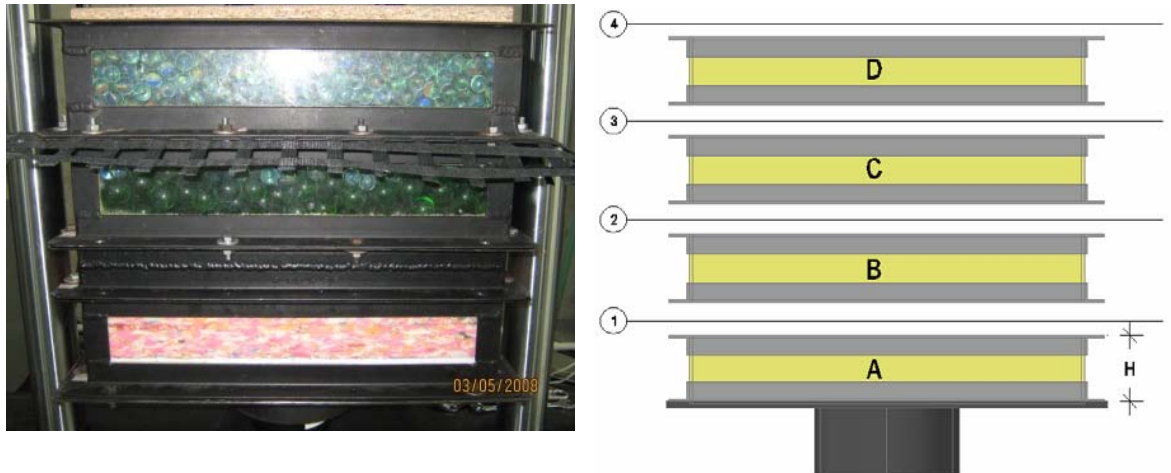
MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

❖ MODELO 2.3

Figura 52. Modelo 2.3



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

ZONA 3, Gemallal BX65

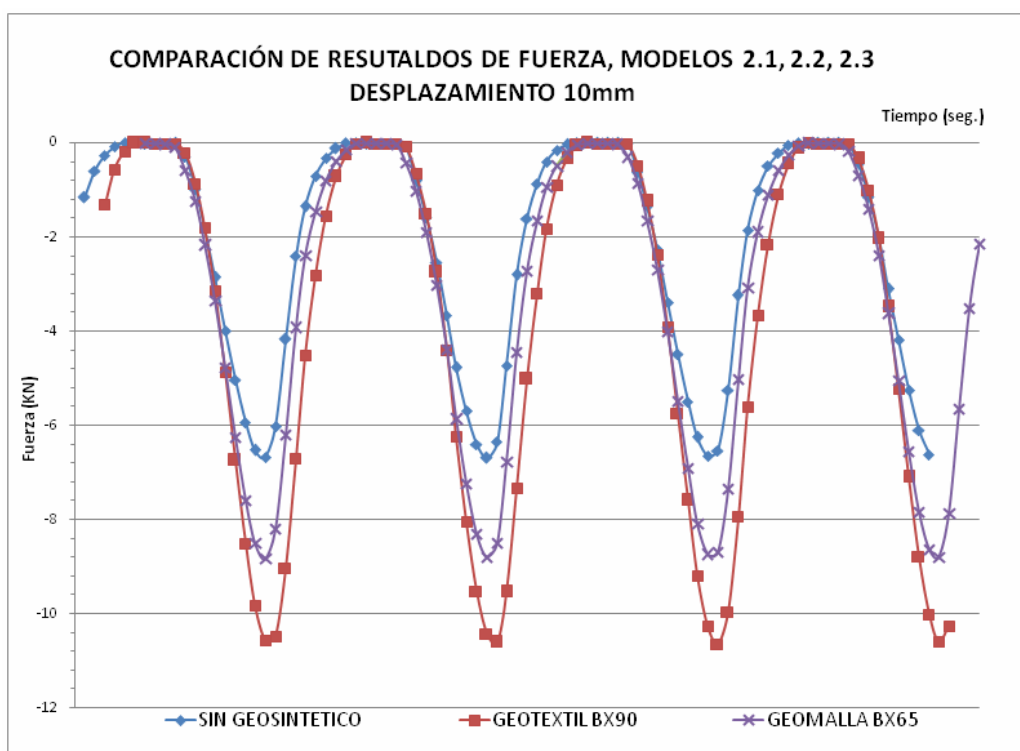
MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

4.18 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.2, 2.3

Figura 53. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.2, 2.3, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 15. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.2, 2.3

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.2	10	10.64	37.11%
2.3	10	8.83	24.24%

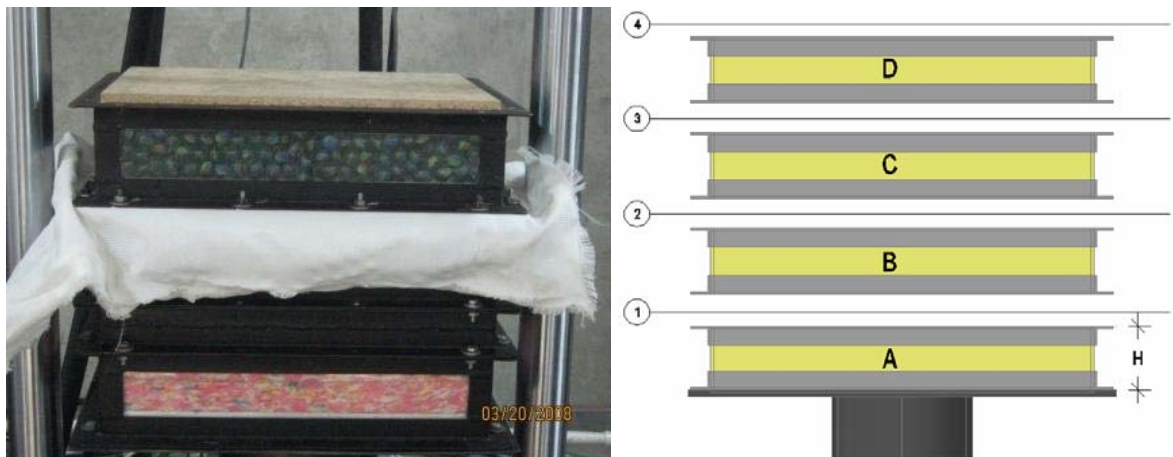
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El porcentaje del efecto se mide comparando la carga que registran los modelos reforzados con material geosintético para alcanzar el desplazamiento de 10mm con respecto a la carga que produce este mismo desplazamiento en el modelo sin geosintético.

El Modelo 2.2 (con Geotextil BX90) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 10.64 KN presenta un aumento de la fuerza sobre la estructura de 37.11% comparado con el Modelo 2.1 (sin geosintético) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 6.69 KN.

❖ **MODELO 2.4**

Figura 54. Modelo 2.4



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

ZONA 3, Geotextil BX60.

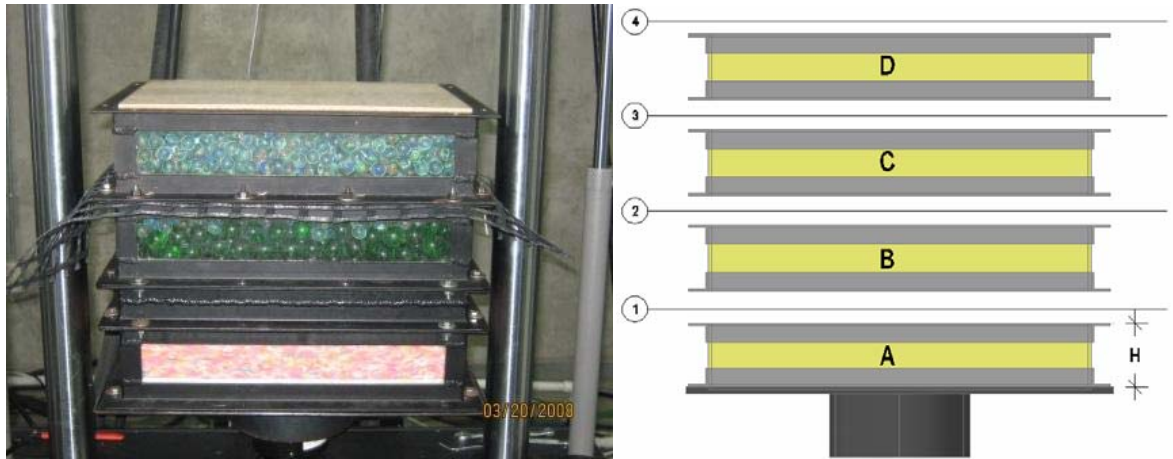
MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor), 3cm y Cazata, 7 cm.

❖ MODELO 2.5

Figura 55. Modelo 2.5



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

ZONA 3, Geomalla BX35.

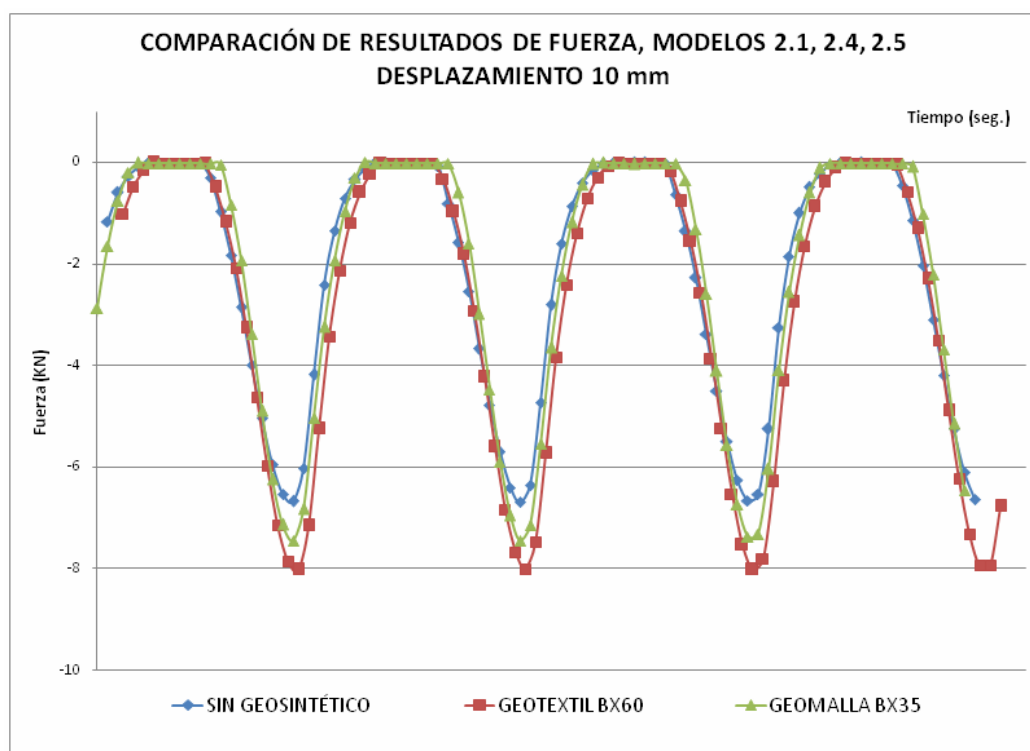
MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor), 3cm y Cazata, 7 cm.

4.19 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.4, 2.5

Figura 56. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.4, 2.5, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 16. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.4, 2.5

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.4	10	8.02	16.57%
2.5	10	7.45	10.16%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El porcentaje del efecto se mide comparando la carga que registran los modelos reforzados con material geosintético para alcanzar el desplazamiento de 10 mm con respecto a la carga que produce este mismo desplazamiento en el modelo sin geosintético.

El Modelo 2.4 (con Geotextil BX60) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 8.02 KN presenta un aumento de la fuerza sobre la estructura de 16.57% comparado con el Modelo 2.1 (sin geosintético) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 6.69 KN.

4.20 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.2, 2.4

El modelo 2.2 y el modelo 2.4 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geotextil BX60.

TABLA RESUMEN:

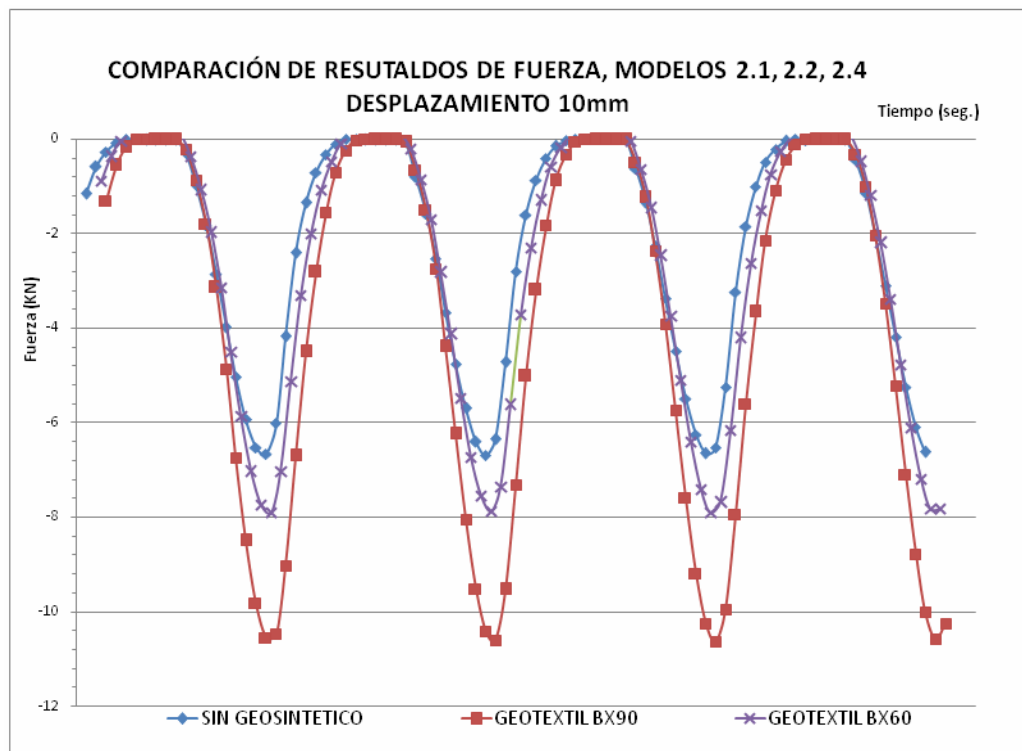
Tabla 17. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.2, 2.4

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.2	10	10.64	37.11%
2.4	10	8.02	16.57%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 57 se observa que los geotextiles BX90 y BX60 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 2..., el modelo 2.2 con geotextil BX90 de mejores propiedades mecánicas requiere mas fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm que el modelo 2.4 con geotextil BX60.

Figura 57. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.2, 2.4, Desplazamiento sinusoidal, 10mm valor máximo

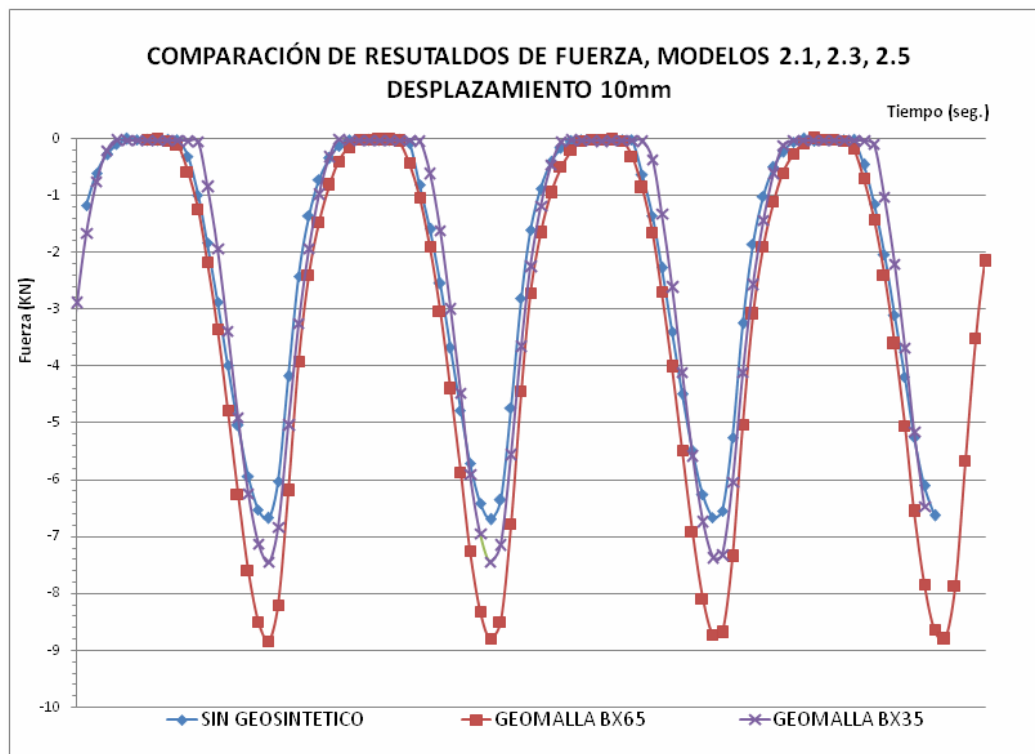


Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

4.21 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.3, 2.5

El modelo 2.3 y el modelo 2.5 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geomalla BX65 por geomalla BX35.

Figura 58. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.3, 2.5, Desplazamiento sinusoidal, 10mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 18. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.3, 2.5

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.3	10	8.83	24.24%
2.5	10	7.45	10.16%

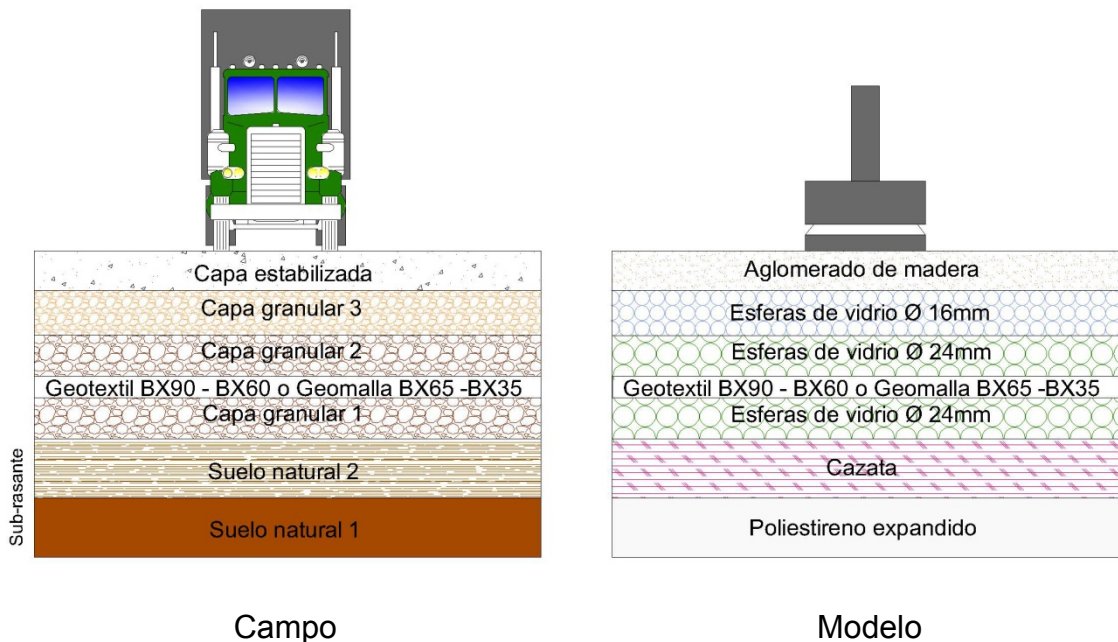
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 58 se observa que las geomallas BX65 y BX35 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 1..., el modelo 2.3 con geomalla BX65 de mejores propiedades mecánicas requiere mas fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm que el modelo 2.5 con geomalla BX35.

4.22 MODELOS DEL 2.6 AL 2.9

Los modelos del 2.6 al 2.9 representan un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular 1, un refuerzo con geosintético entre las capas granulares 1 y 2, una capa granular 2 y una capa estabilizada.

Figura 59. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 2.6 al 2.9



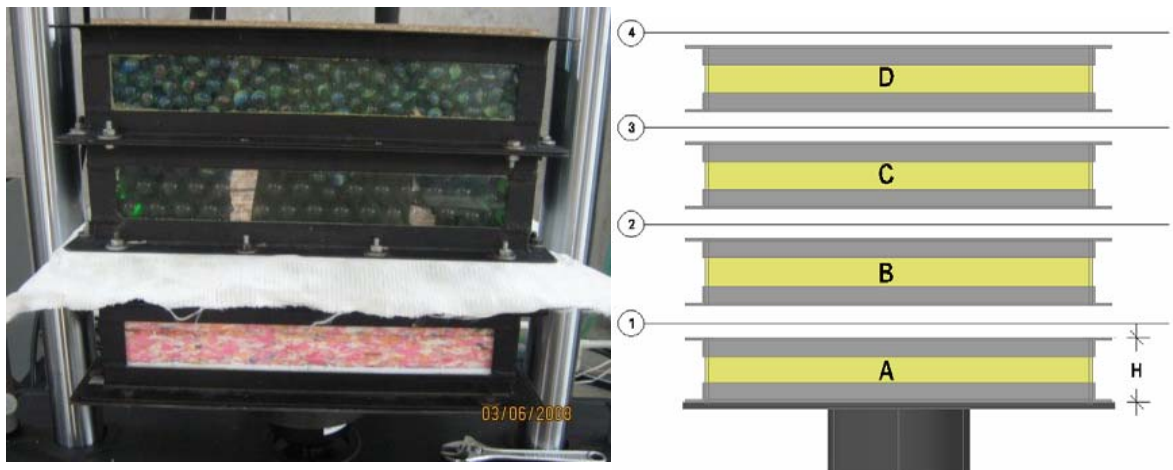
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24mm de diámetro representa la capa granular 1. El geosintético ubicado sobre la capa granular 1 actúa como refuerzo. Las esferas de 24 mm de diámetro representan la capa granular 2. Las esferas de 16 mm de diámetro simulan la capa granular 3. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

❖ MODELO 2.6

Figura 60. Modelo 2.6



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

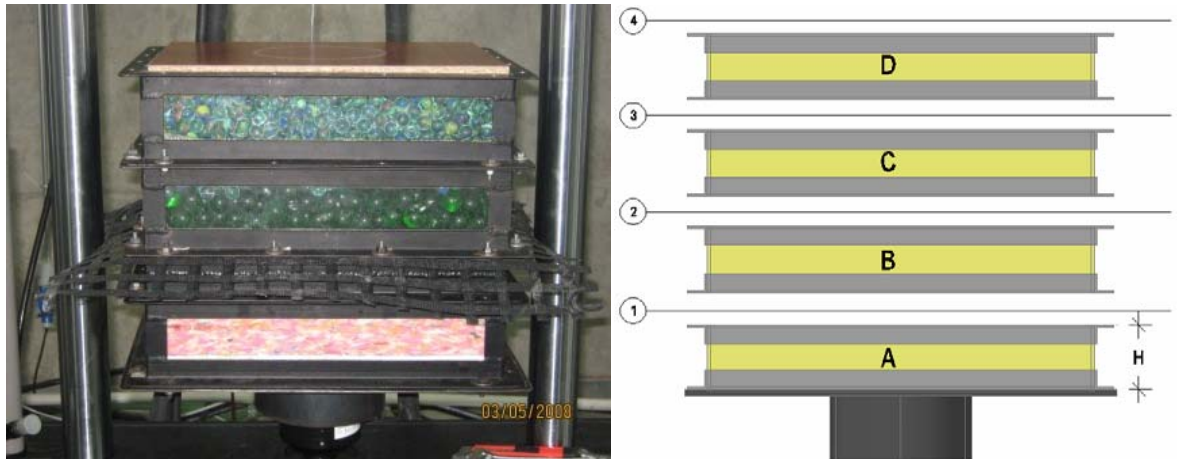
ZONA 2, Geotextil BX90.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

❖ MODELO 2.7

Figura 61. Modelo 2.7



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

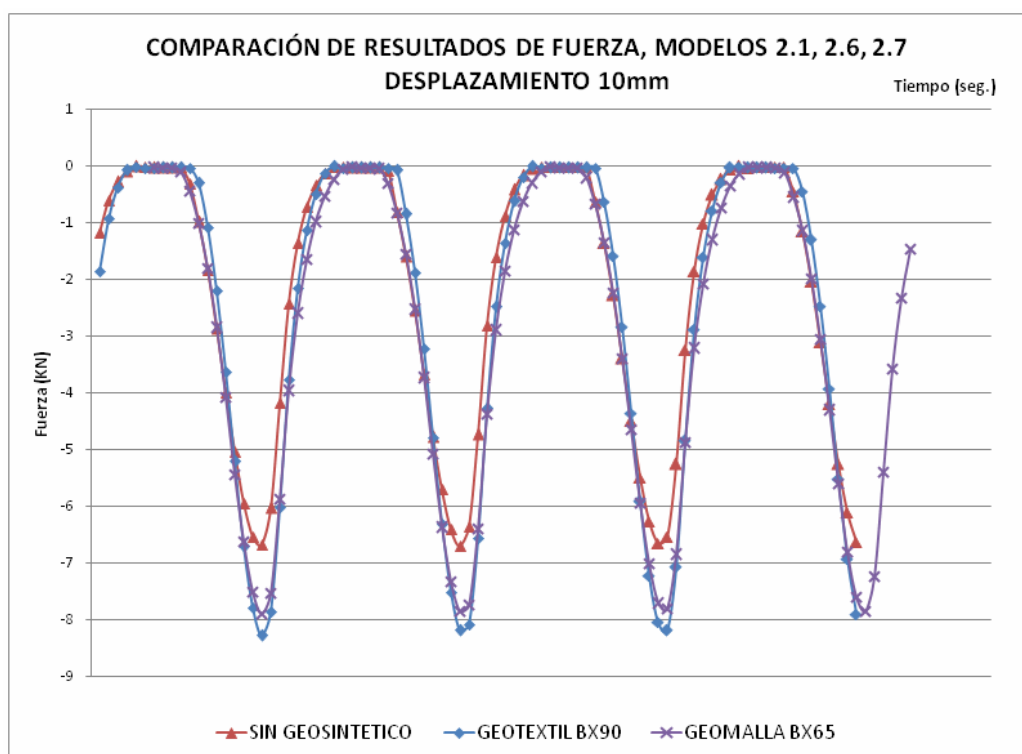
ZONA 2, Geomalla BX65.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

4.23 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.6, 2.7

Figura 62. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.6, 2.7, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 19. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.6, 2.7

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.6	10	8.27	19.09%
2.7	10	7.88	15.13%

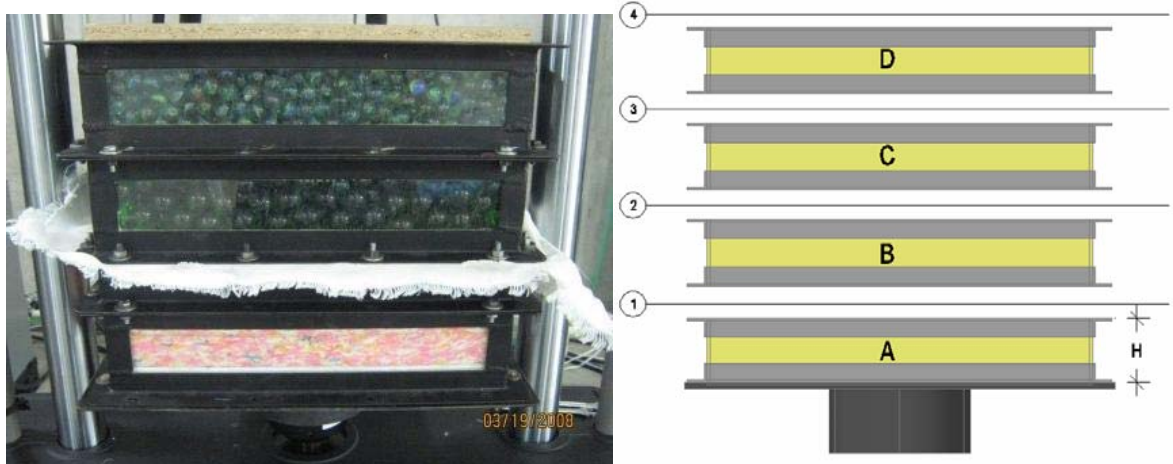
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El porcentaje del efecto se mide comparando la carga que registran los modelos reforzados con material geosintético para alcanzar el desplazamiento de 10mm con respecto a la carga que produce este mismo desplazamiento en el modelo sin geosintético.

El Modelo 2.6 (con Geotextil BX90) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 8.27 KN presenta un aumento de la carga sobre la estructura de 19.09% comparado con el Modelo 2.1 (sin geosintético) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 6.69 KN.

❖ **MODELO 2.8**

Figura 63. Modelo 2.8



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

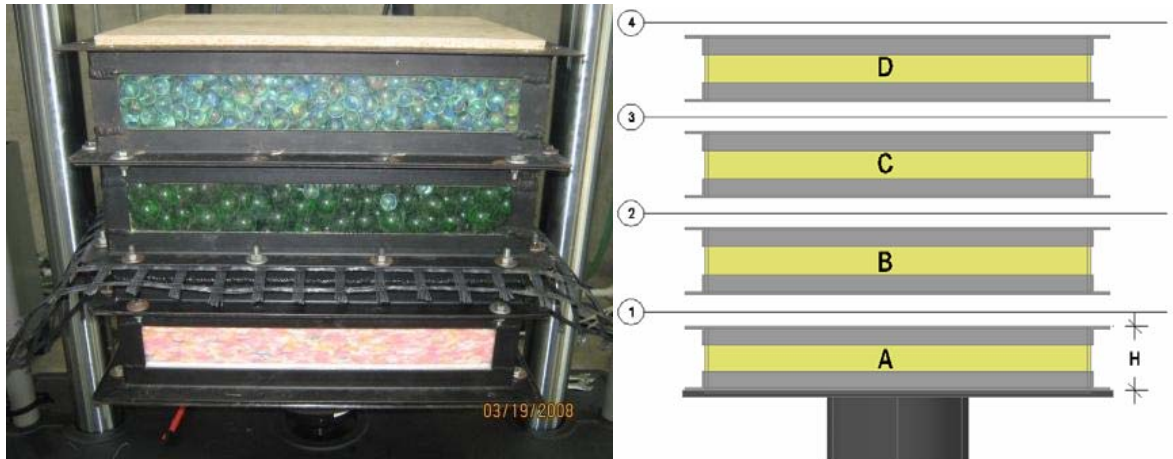
ZONA 2, Geotextil BX60.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

❖ MODELO 2.9

Figura 64. Modelo 2.9



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera.

MODULO D - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

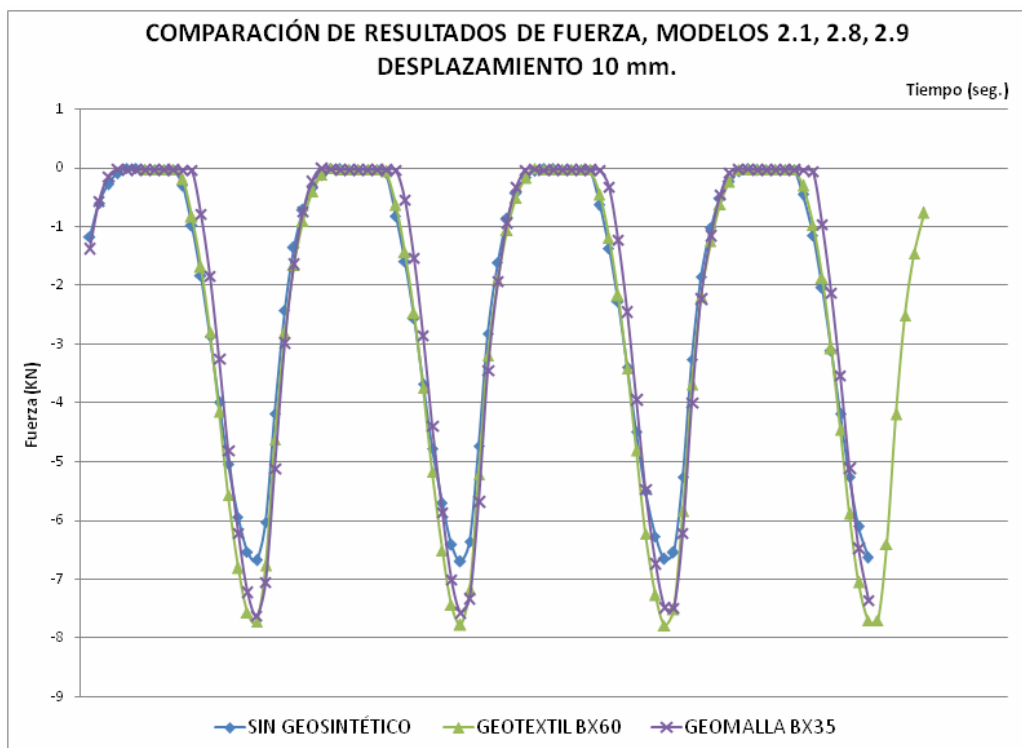
ZONA 2, Geomalla BX35.

MODULO B - H=5 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

4.24 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.8, 2.9

Figura 65. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.8, 2.9, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 20. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.8, 2.9

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.8	10	7.78	14.00%
2.9	10	7.61	12.10%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El porcentaje del efecto se mide comparando la carga que registran los modelos reforzados con material geosintético para alcanzar el desplazamiento de 10mm con respecto a la carga que produce este mismo desplazamiento en el modelo sin geosintético.

El Modelo 2.8 (con Geotextil BX60) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 7.78 KN presenta un aumento de la fuerza sobre la estructura de 14.0% comparado con el Modelo 2.1 (sin geosintético) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 6.69 KN.

4.25 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.6, 2.8

El modelo 2.6 y el modelo 2.8 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geotextil BX60.

TABLA RESUMEN:

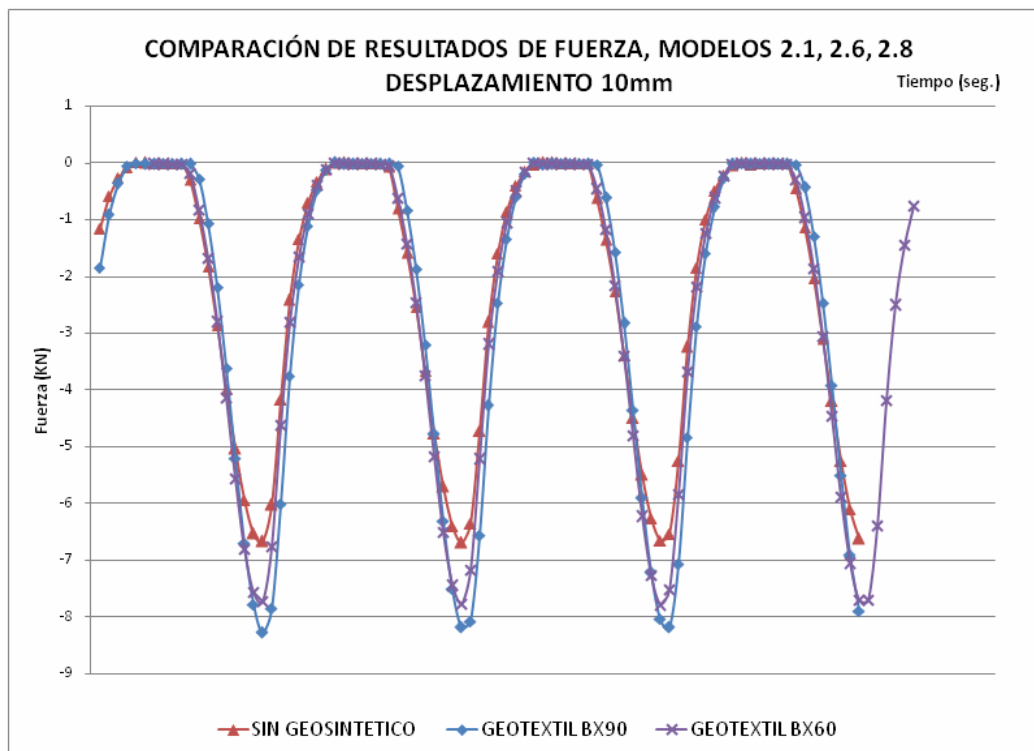
Tabla 21. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.6, 2.8

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.6	10	8.27	19.09%
2.8	10	7.78	14.00%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

En la figura 66 se observa que los geotextiles BX90 y BX60 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 2..., el modelo 2.6 con geotextil BX90 de mejores propiedades mecánicas requiere mas fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm que el modelo 2.8 con geotextil BX60.

Figura 66. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.6, 2.8, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo

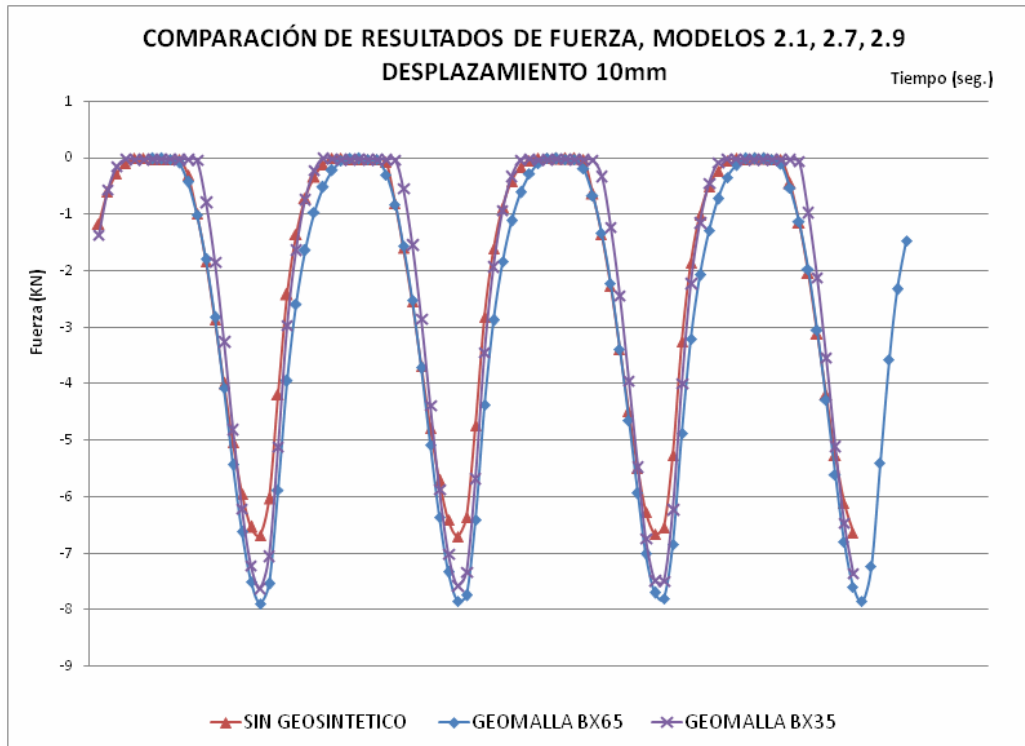


Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

4.26 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.7, 2.9

El modelo 2.7 y el modelo 2.9 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geomalla BX65 por geomalla BX35.

Figura 67. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.7, 2.9, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 22. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.7, 2.9

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.7	10	7.88	15.13%
2.9	10	7.61	12.10%

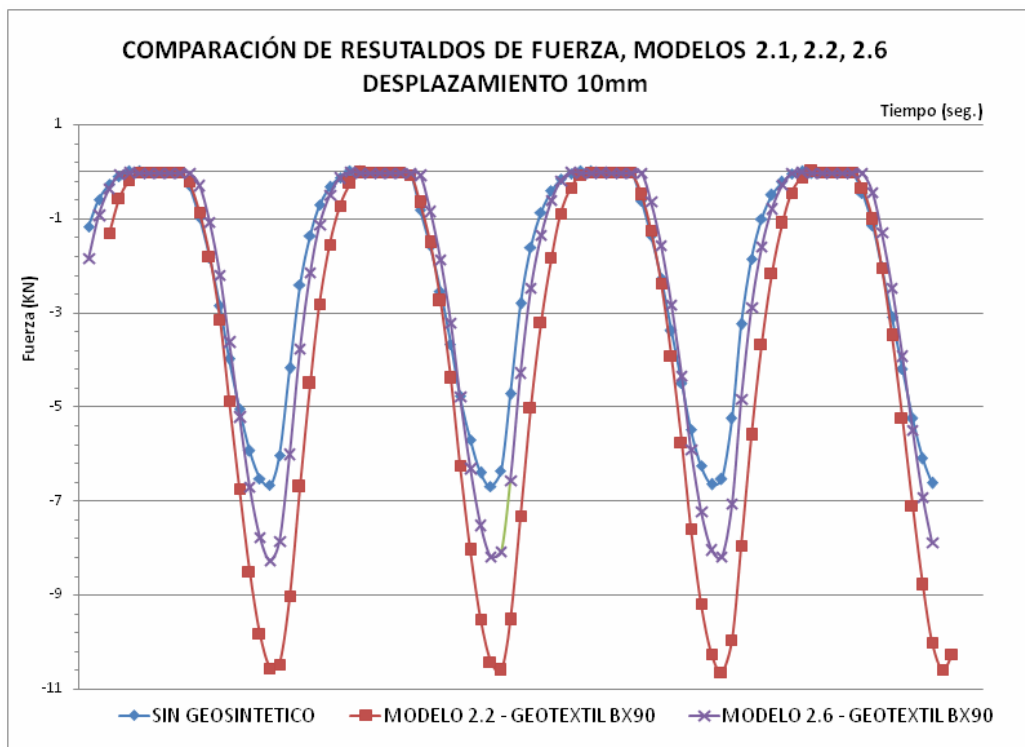
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 67 se observa que las geomallas BX65 y BX35 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 1.... El modelo 2.7 con geomalla BX65 de mejores propiedades mecánicas requiere mas fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm que el modelo 2.9 con geomalla BX35.

4.27 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.2, 2.6

El modelo 2.2 y el modelo 2.6 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación del geotextil BX90.

Figura 68. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.2, 2.6, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 68 muestra los resultados de fuerza del mismo material geosintético (en este caso el geotextil BX90) pero en diferente ubicación. Se observa que el geosintético en una capa inferior de la estructura aumenta en un 19.09% la fuerza que se requiere para producir un desplazamiento de 10 mm mientras que este mismo geosintético ubicado en una capa superior requiere un aumento en la fuerza del 37.11% para producir el mismo desplazamiento.

TABLA RESUMEN:

Tabla 23. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.2, 2.6

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.2	10	10.64	37.11%
2.6	10	8.27	19.09%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

4.28 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.3, 2.7

El modelo 2.3 y el modelo 2.7 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación de la geomalla BX65.

Figura 69. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.3, 2.7, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo

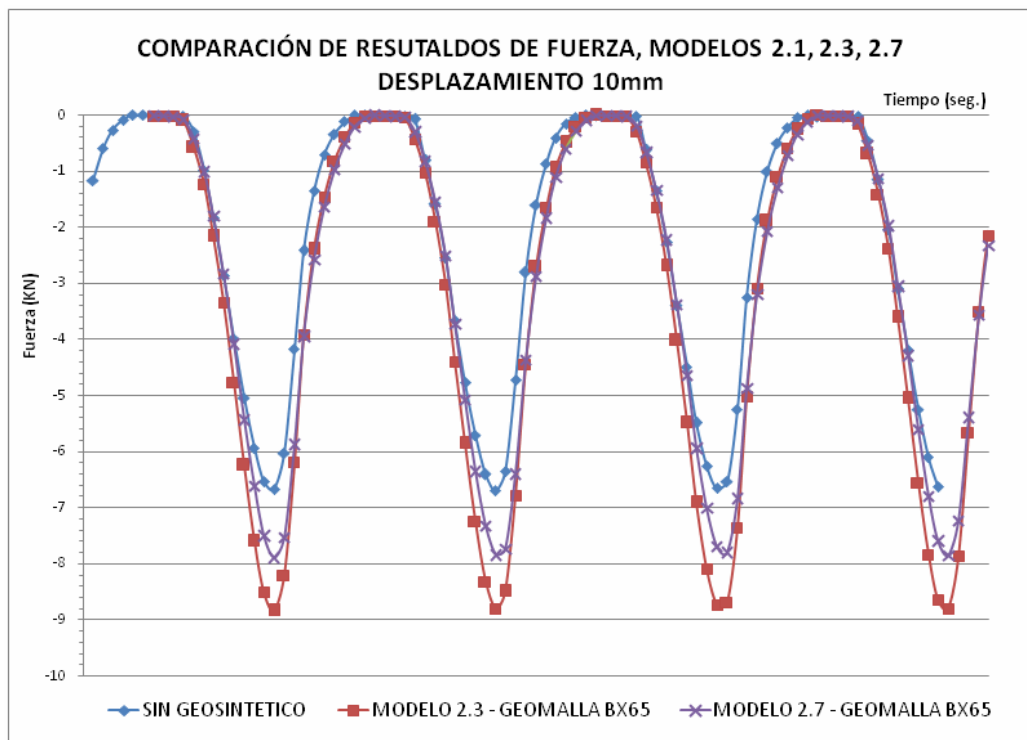


TABLA RESUMEN:

Tabla 24. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.3, 2.7

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.3	10	8.83	24.24%
2.7	10	7.88	15.13%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 69 muestra los resultados de fuerza del mismo material geosintético (en este caso la geomalla BX65) pero en diferente ubicación. Se observa que el geosintético en una capa inferior de la estructura aumenta en un 15.13% la fuerza que se requiere para producir un desplazamiento de 10 mm mientras que este mismo geosintético ubicado en una capa superior requiere un aumento en la fuerza del 24.24% para producir el mismo desplazamiento.

4.29 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.4, 2.8

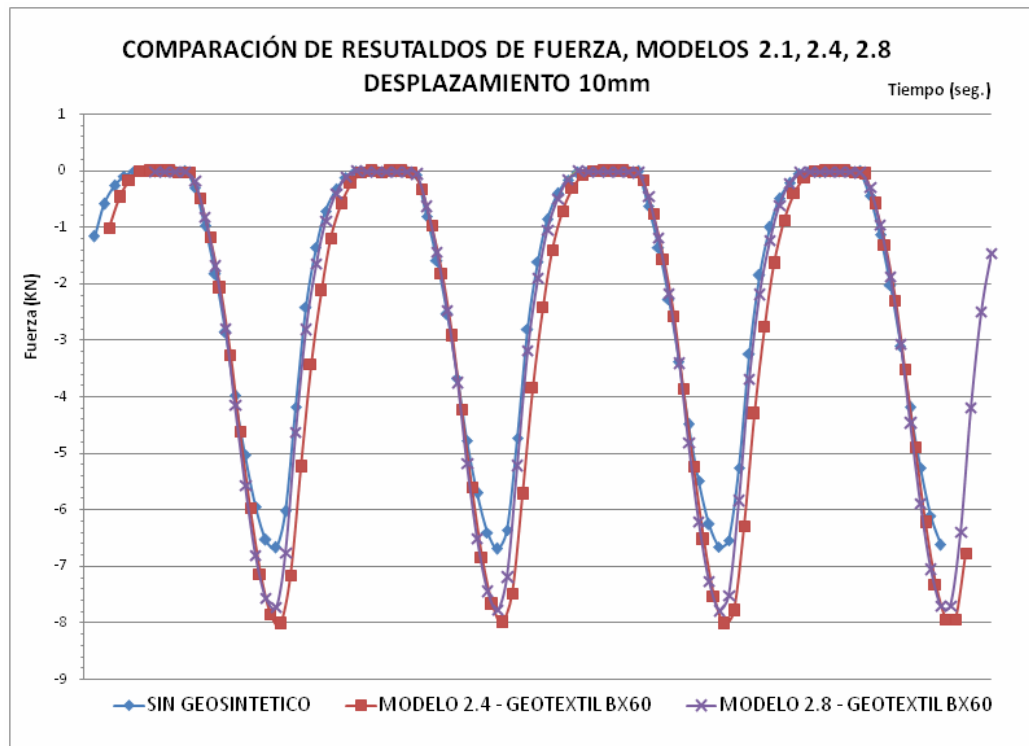
El modelo 2.4 y el modelo 2.8 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación del geotextil BX60.

Tabla 25. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.4, 2.8

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.4	10	8.02	16.57%
2.8	10	7.78	14.00%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Figura 70. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.4, 2.8, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



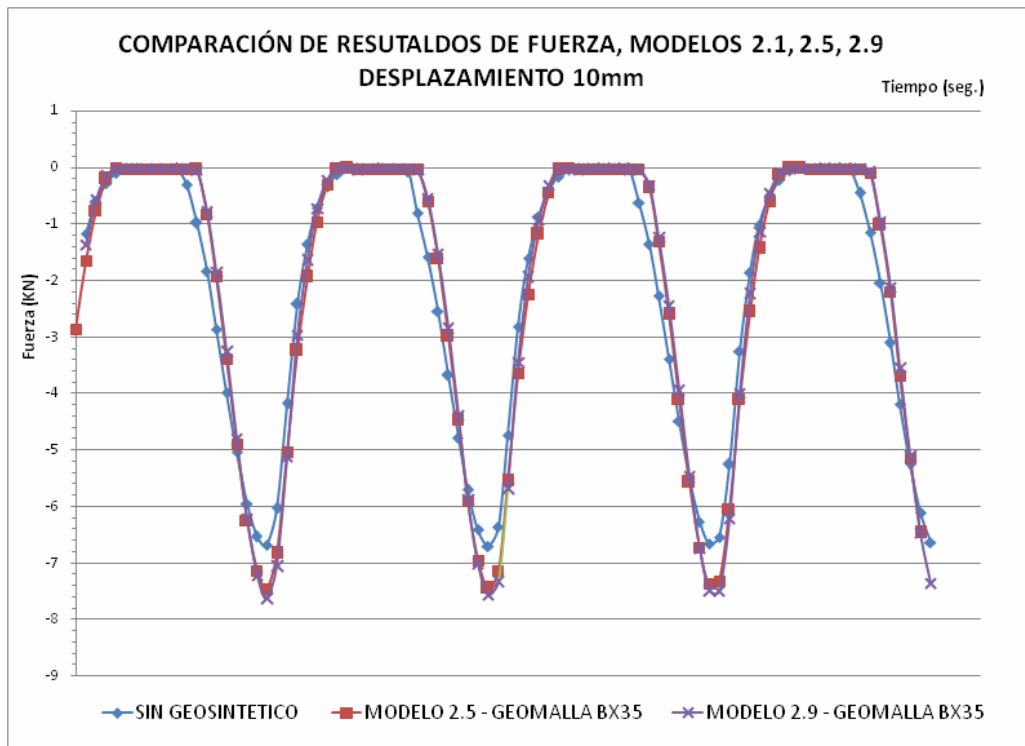
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 70 muestra los resultados de fuerza del mismo material geosintético (en este caso el geotextil BX60) pero en diferente ubicación. Se observa que para este geosintético el porcentaje de aumento de la fuerza para una deformación de 10 mm es similar para las dos ubicaciones del material geosintético.

4.30 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 2.1, 2.5, 2.9

El modelo 2.5 y el modelo 2.9 tienen la misma estructura de pavimento y material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la ubicación de la geomalla BX35.

Figura 71. Comparación de resultados, Modelos 2.1, 2.5, 2.9, Desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

TABLA RESUMEN:

Tabla 26. Resumen de resultados, modelos 2.1, 2.5, 2.9

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
2.1	10	6.69	---
2.5	10	7.45	10.16%
2.9	10	7.61	12.10%

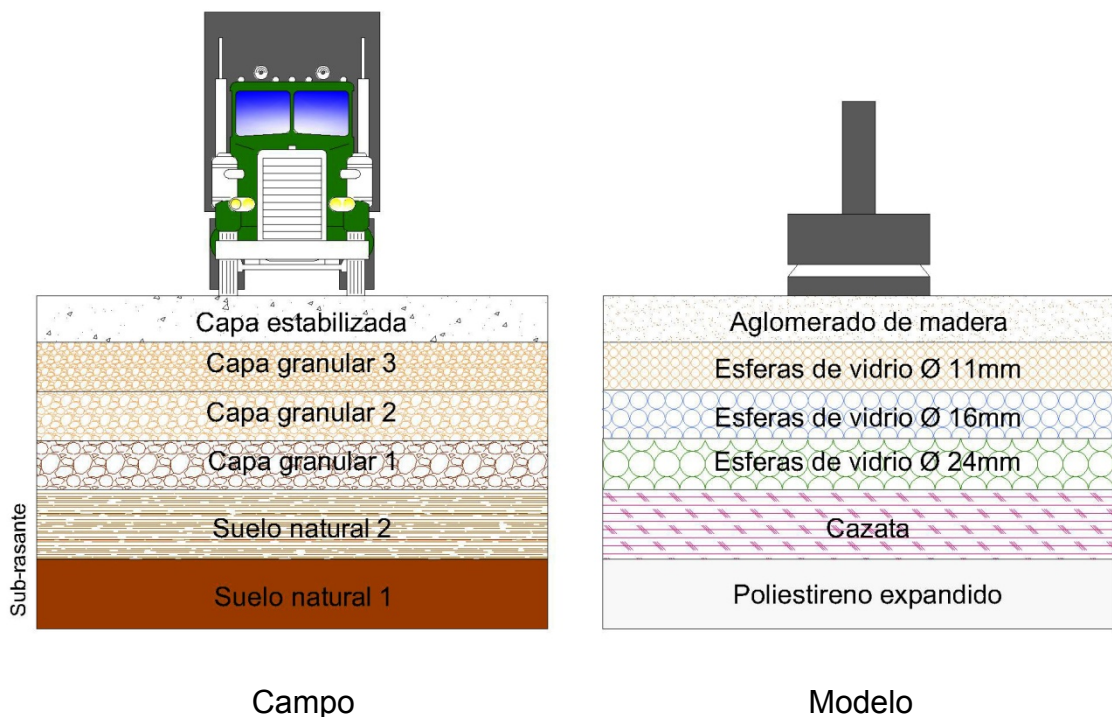
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 71 muestra los resultados de fuerza del mismo material geosintético (en este caso la geomalla BX35) pero en diferente ubicación. La fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm es similar para las dos ubicaciones del material geosintético.

4.31 MODELO 3.1

El modelo 3.1 (sin geosintético) representa un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular 1, una capa granular 2, una capa granular 3 y una capa estabilizada.

Figura 72. Estructura de pavimento del campo y del modelo 3.1



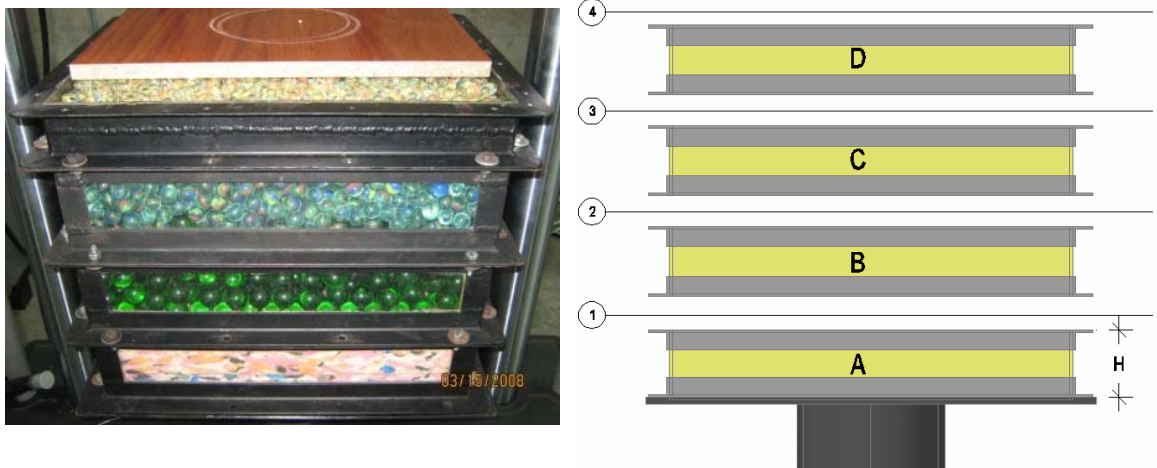
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24 mm de diámetro simulan la capa granular 1. Las esferas de vidrio de 16 mm de diámetro simulan la capa granular 2. Las esferas de vidrio de 11 mm de diámetro simulan la capa granular 3. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas

❖ MODELO 3.1

Figura 73. Modelo 3.1



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

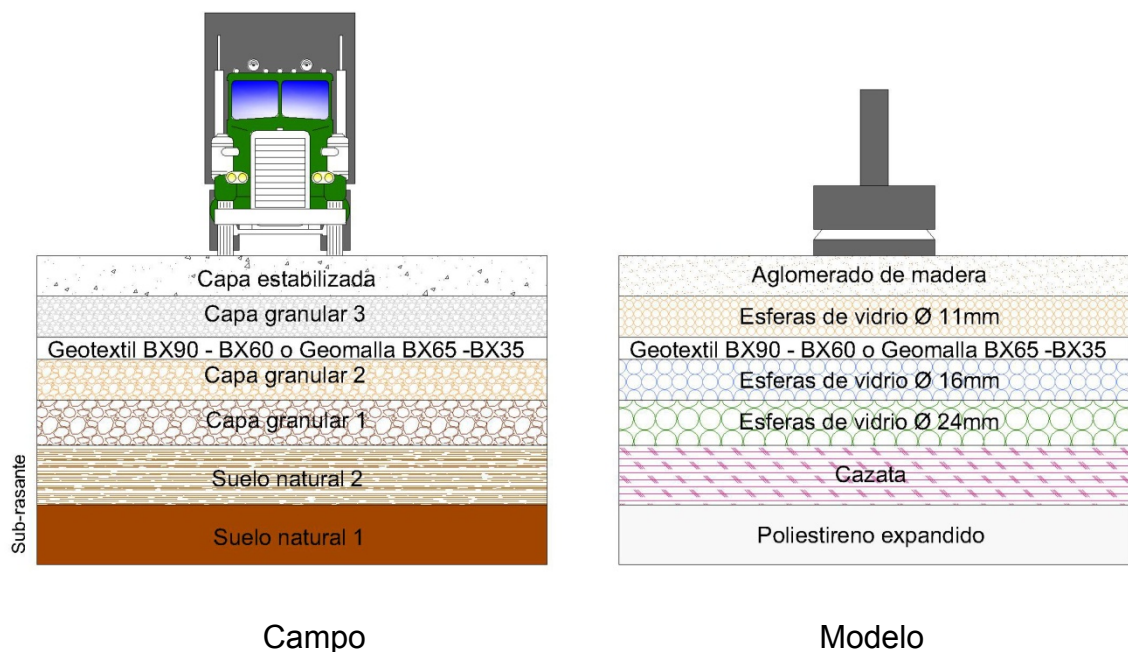
MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor), 3cm y Cazata, 7 cm.

4.32 MODELOS DEL 3.2 AL 3.5

Los modelos del 3.2 al 3.5 representan un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular 1, una capa granular 2, un refuerzo con geosintético sobre la capa granular 2, una capa granular 3 y una capa estabilizada.

Figura 74. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 3.2 al 3.5



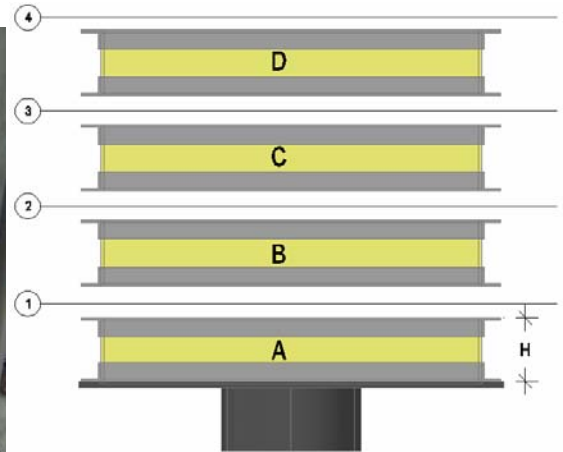
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24 mm de diámetro simulan la capa granular 1. Las esferas de vidrio de 16 mm de diámetro simulan la capa granular 2. El material geosintético actúa como refuerzo de la estructura y como separador de capas. Las esferas de vidrio de 11 mm de diámetro simulan la capa granular 3. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

❖ **MODELO 3.2**

Figura 75. Modelo 3.2



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

ZONA 3, Geotextil BX90.

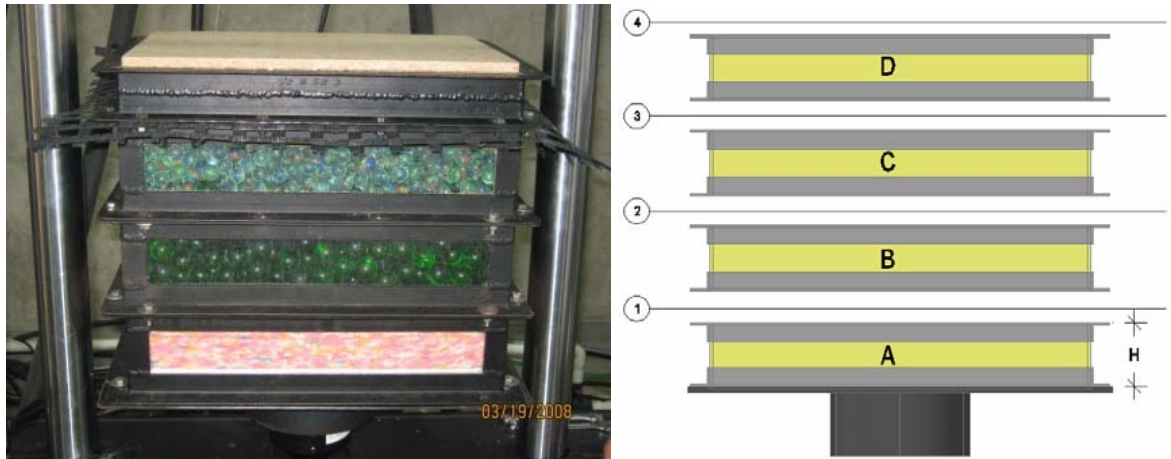
MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

❖ MODELO 3.3

Figura 76. Modelo 3.3



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

ZONA 3, Geomalla BX65.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

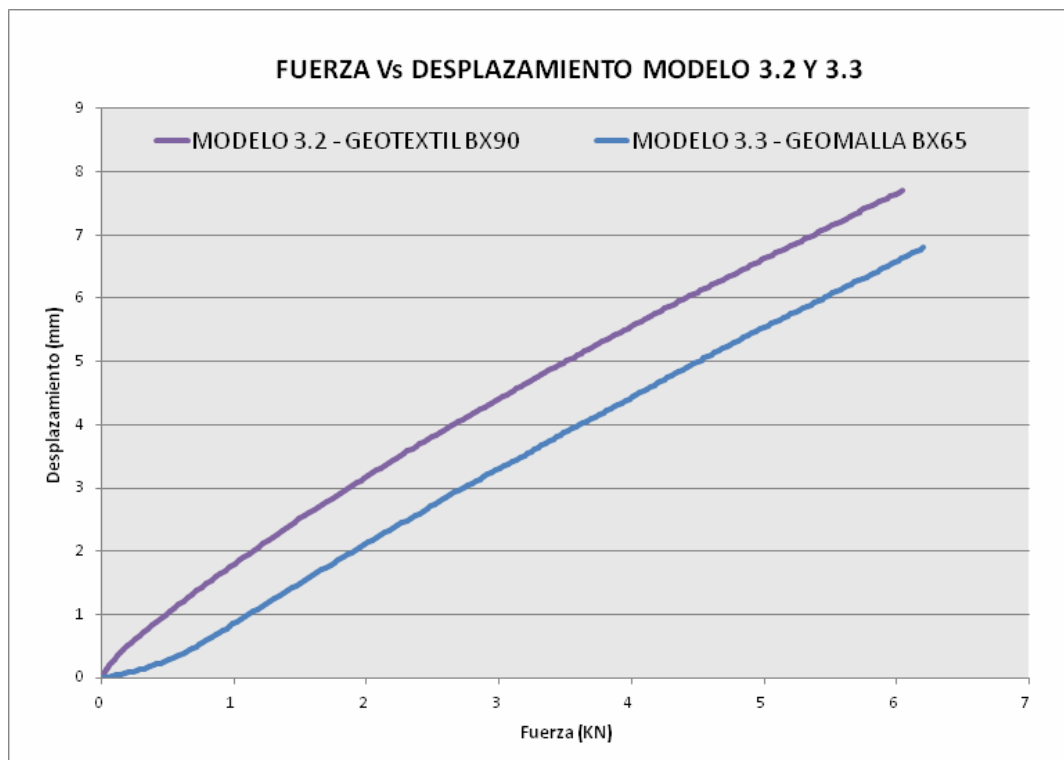
MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

4.33 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.2, 3.3

El modelo 3.2 y el modelo 3.3 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geomalla BX65.

Figura 77. Comparación de resultados, Modelos 3.2, 3.3, carga lineal, 6.2 KN valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Tabla 27. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.2, 3.3

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% REDUCCIÓN DE DESPLAZAMIENTO
3.1	6.2	10	---
3.2	6.2	7.7	23.00%
3.3	6.2	6.8	32.00%

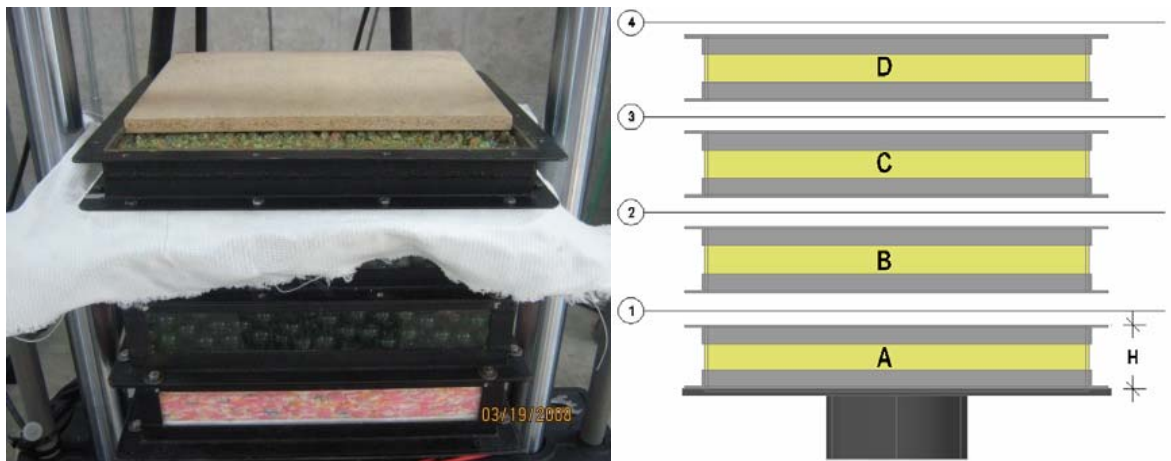
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El Modelo 3.3 (con Geomalla BX65) que con una carga lineal y un máximo de 6.2 KN registra un desplazamiento 6.8 mm presenta una reducción en el desplazamiento de la estructura en un 32% comparado con el Modelo 3.1 (sin geosintético) que para una carga de 6.2 KN registra un desplazamiento de 10 mm.

De la figura 77 se observa que el refuerzo con geomalla BX65 del modelo 3.3 presenta valores de desplazamiento menores que el modelo 3.2 reforzado con geotextil BX90.

❖ **MODELO 3.4**

Figura 78. Modelo 3.4



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

ZONA 3, Geotextil BX60.

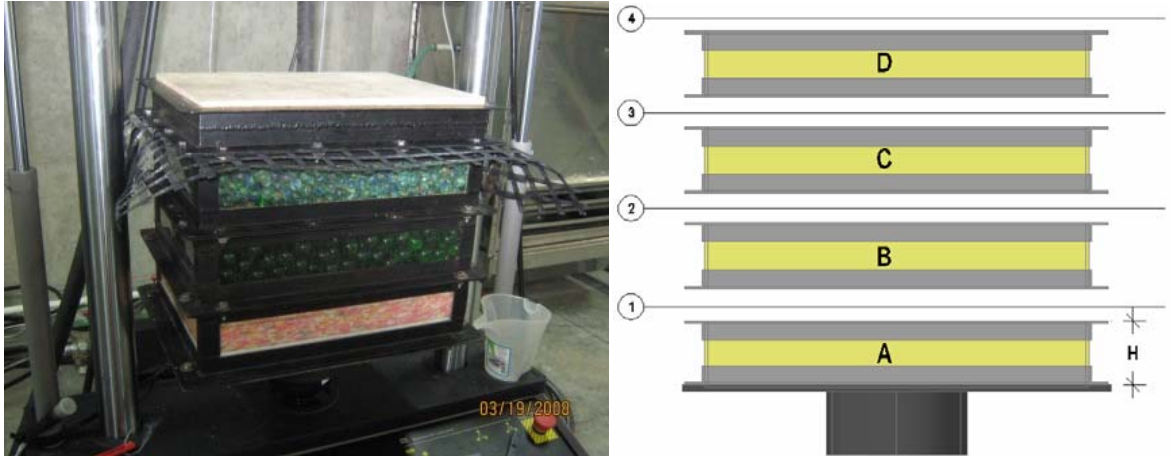
MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

❖ MODELO 3.5

Figura 79. Modelo 3.5



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

ZONA 3, Geomalla BX35.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

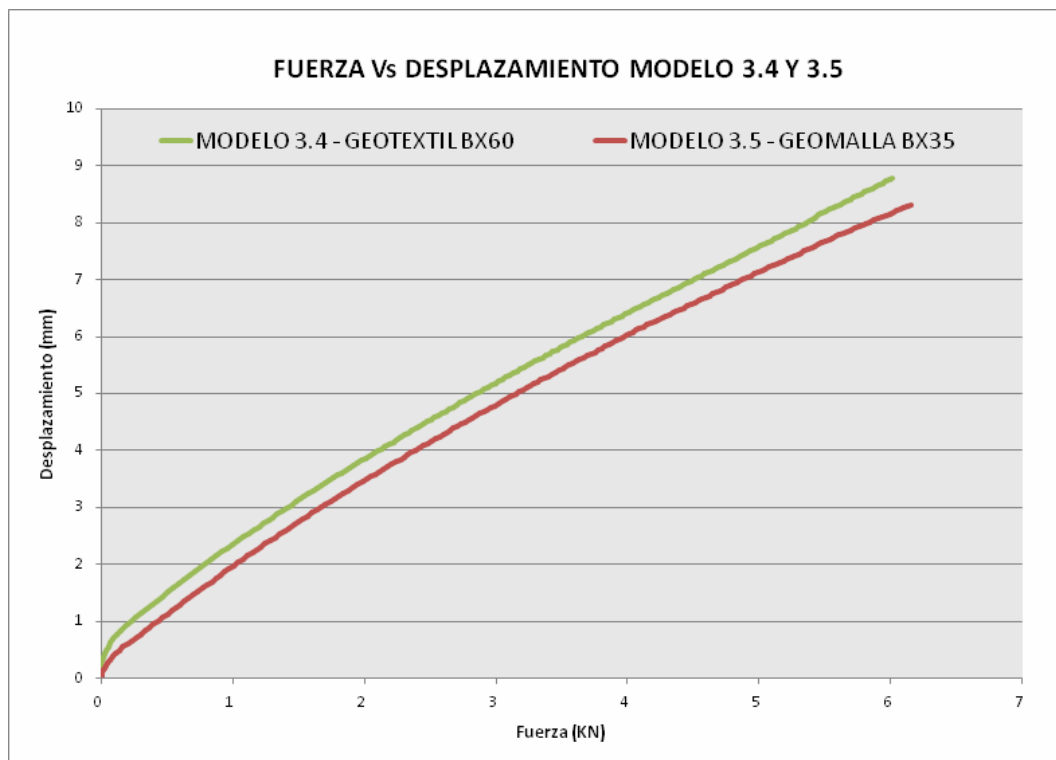
MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

4.34 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.4, 3.5

El modelo 3.4 y el modelo 3.5 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX60 por geomalla BX35.

Figura 80. Comparación de resultados, Modelos 3.4, 3.5, carga lineal, 6.2 KN valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Tabla 28. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.4, 3.5

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% REDUCCIÓN DE DESPLAZAMIENTO
3.1	6.2	10	---
3.4	6.2	8.78	12.2%
3.5	6.2	8.17	18.3%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

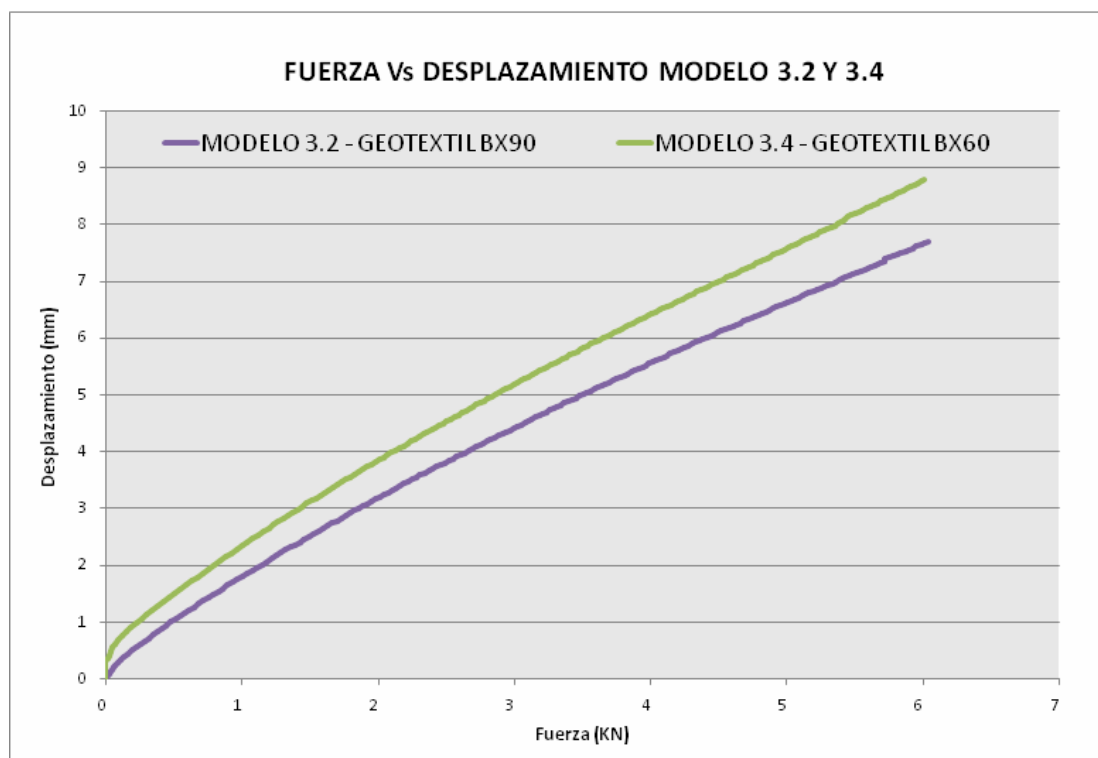
El Modelo 3.3 (con Geomalla BX65) que con una carga lineal de 6.2 KN registra un desplazamiento 6.8 mm presenta una reducción en el desplazamiento de la estructura en un 32% comparado con el Modelo 3.1 (sin geosintético) que con una carga de 6.2 KN registra un desplazamiento de 10 mm.

De la figura 80 se observa que el refuerzo con geomalla BX35 del modelo 3.4 presenta valores de desplazamiento menores que el modelo 3.5 reforzado con geotextil BX60.

4.35 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.2, 3.4

El modelo 3.2 y el modelo 3.4 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geotextil BX60.

Figura 81. Comparación de resultados, Modelos 3.2, 3.4, carga lineal, 6.2 KN valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Tabla 29. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.2, 3.4

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% REDUCCIÓN DE DESPLAZAMIENTO
3.1	6.2	10	---
3.2	6.2	7.7	23.00%
3.4	6.2	8.78	12.2%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 81 se observa que los geotextiles BX90 y BX60 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 2..., el modelo 3.2 con geotextil BX90 de mejores propiedades mecánicas registra mayor reducción del desplazamiento en los ensayos que el modelo 3.4 con geotextil BX60.

4.36 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.3, 3.5

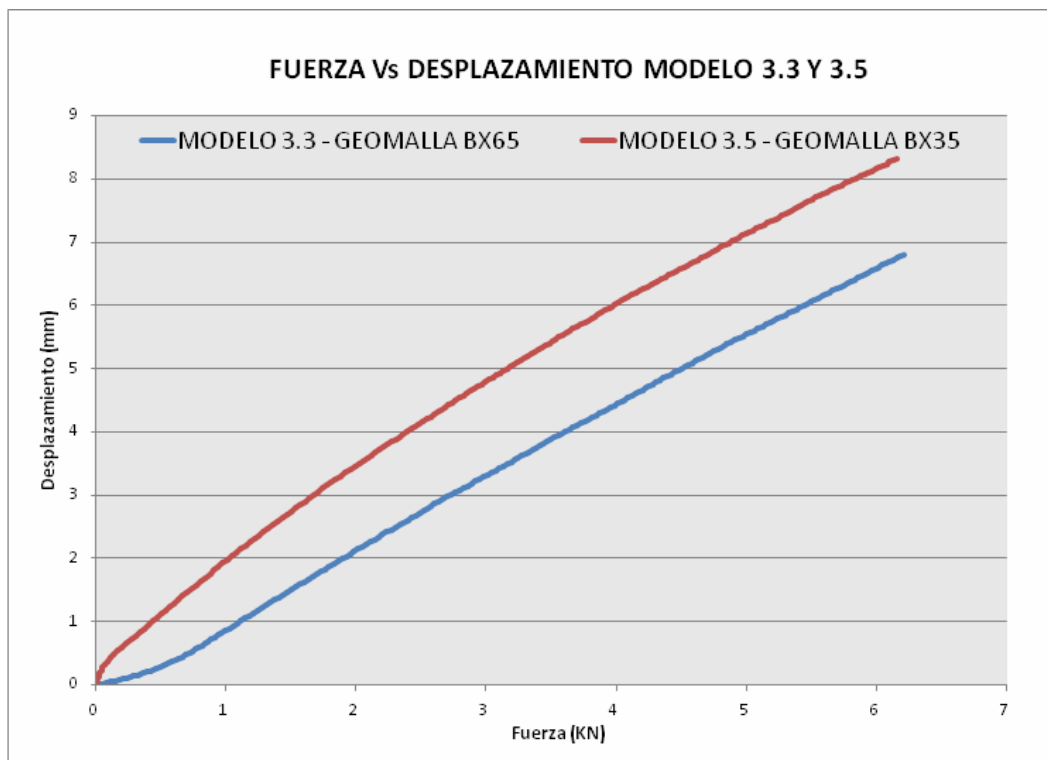
El modelo 3.3 y el modelo 3.5 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geomalla BX65 por geomalla BX35.

Tabla 30. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.3, 3.5

MODELO	CARGA (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	% REDUCCIÓN DE DESPLAZAMIENTO
3.1	6.2	10	---
3.3	6.2	6.8	32.00%
3.5	6.2	8.17	18.3%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Figura 82. Comparación de resultados, Modelos 3.3, 3.5, carga lineal, 6.2 KN valor máximo



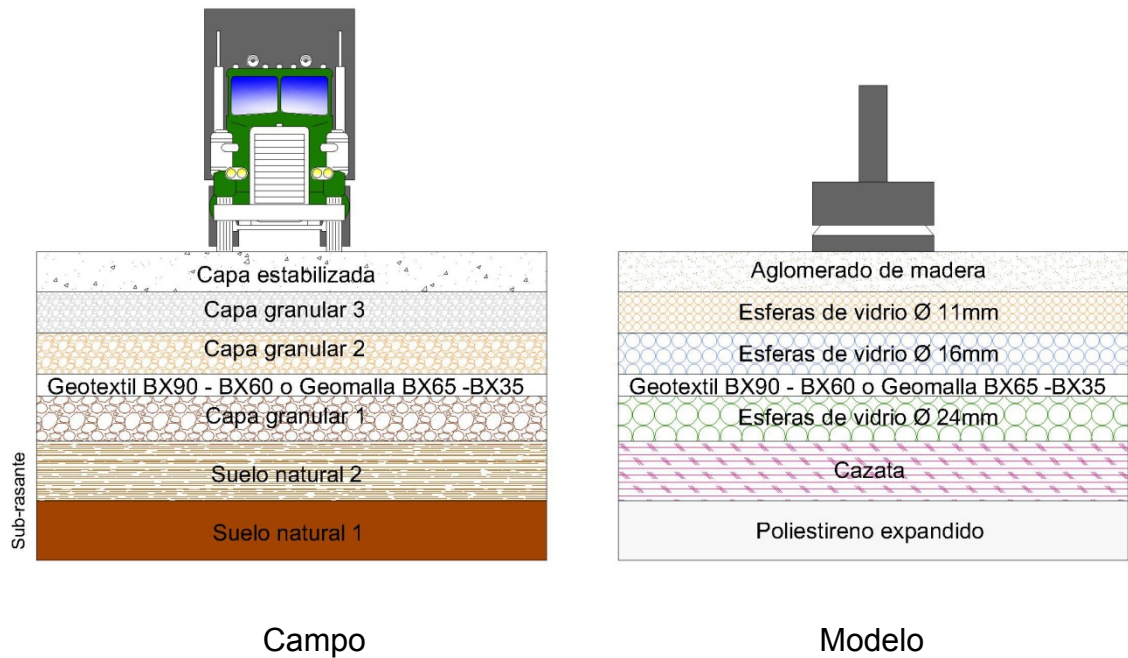
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 82 se observa que los geotextiles BX90 y BX60 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 2..., el modelo 3.2 con geotextil BX90 de mejores propiedades mecánicas registra mayor reducción del desplazamiento en los ensayos que el modelo 3.4 con geotextil BX60.

4.37 MODELOS DEL 3.6 AL 3.9

Los modelos del 3.6 al 3.9 representan un pavimento cuya estructura esta compuesta por una sub-rasante (suelo natural 1 y suelo natural 2), una capa granular 1, un refuerzo con geosintético sobre la capa granular 1, una capa granular 2, una capa granular 2 y una capa estabilizada.

Figura 83. Estructura de pavimento del campo y de los modelos del 3.6 al 3.9



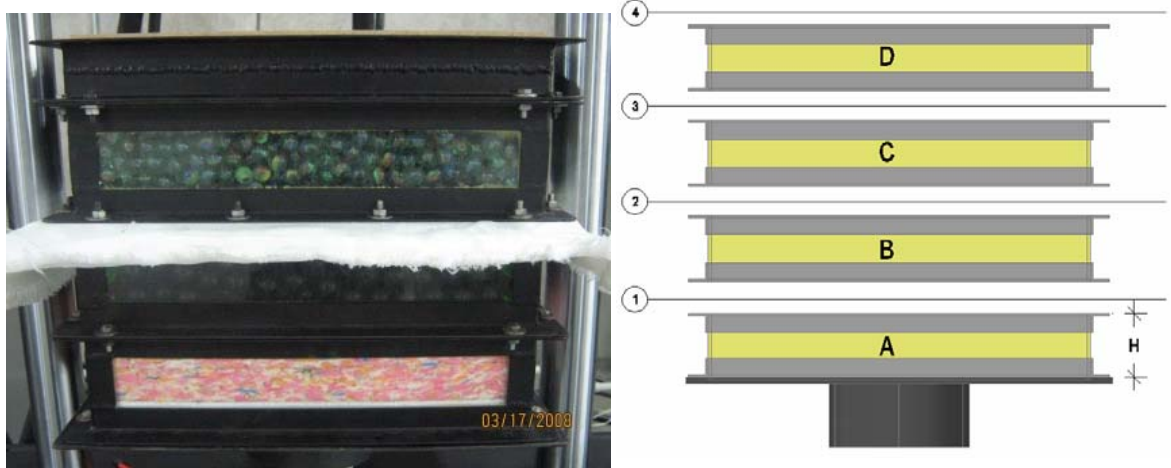
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La combinación de cazata con poliestireno expandido (icopor) simula para el modelo condiciones de un material deformable que representa una sub-rasante de suelo natural blando. Las esferas de vidrio de 24 mm de diámetro simulan la capa granular 1. El material geosintético actúa como refuerzo de la estructura y como separador de capas. Las esferas de vidrio de 16 mm de diámetro simulan la capa granular 2. Las esferas de vidrio de 11 mm de diámetro simulan la capa granular 3. La lámina de aglomerado de madera confiere al modelo una superficie plana para la aplicación y distribución de carga, representa la capa estabilizada.

Los materiales homogéneos y materiales particulados utilizados en la estructura de los modelos permiten lograr la repetitividad en los ensayos, las capas con los materiales “icopor”, cazata y aglomerado siempre tienen el mismo espesor y las capas con esferas de vidrio siempre tienen la misma cantidad de partículas.

❖ MODELO 3.6

Figura 84. Modelo 3.6



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

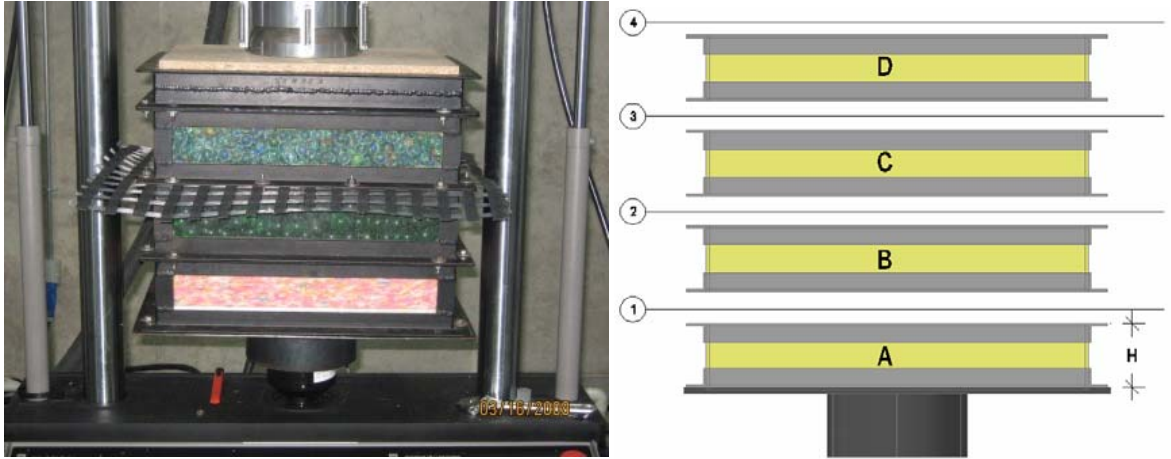
ZONA 2, Geotextil BX90.

MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

❖ MODELO 3.7

Figura 85. Modelo 3.7



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

ZONA 2, Geomalla BX65.

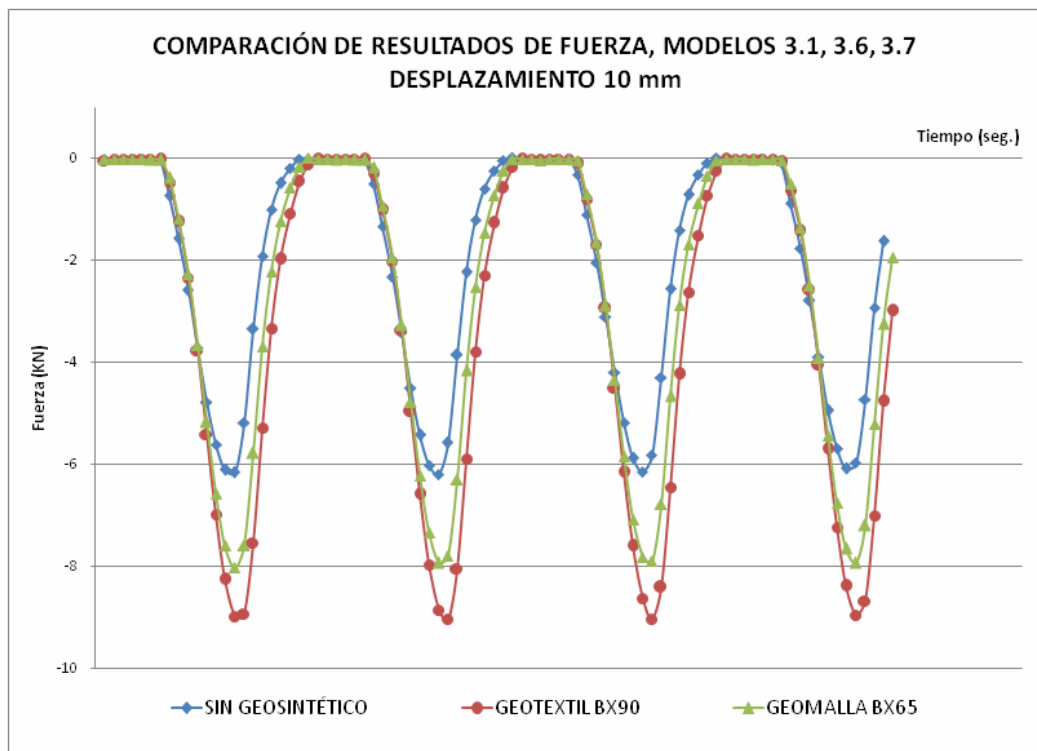
MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

4.38 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.6, 3.7

El modelo 3.6 y el modelo 3.7 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geomalla BX65.

Figura 86. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.6, 3.7, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Tabla 31. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.6, 3.7

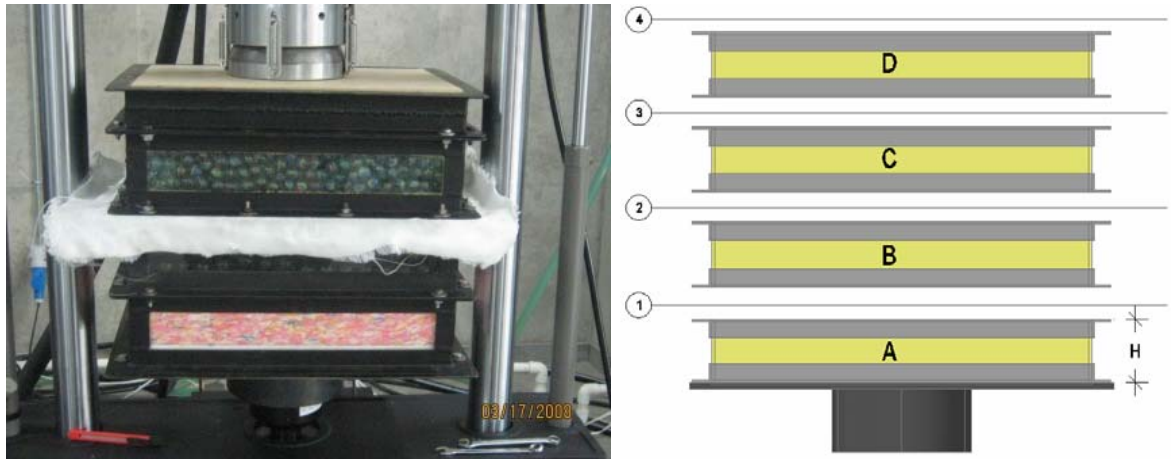
MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
3.1	10	6.2	---
3.6	10	9.03	31.4%
3.7	10	8.02	22.76%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

El Modelo 3.6 (con Geotextil BX90) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 9.03 KN presenta un aumento de la carga sobre la estructura de 31.4% comparado con el Modelo 3.1 (sin geosintético) que para un desplazamiento de 10 mm registra una fuerza de 6.2 KN.

❖ MODELO 3.8

Figura 87. Modelo 3.8



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

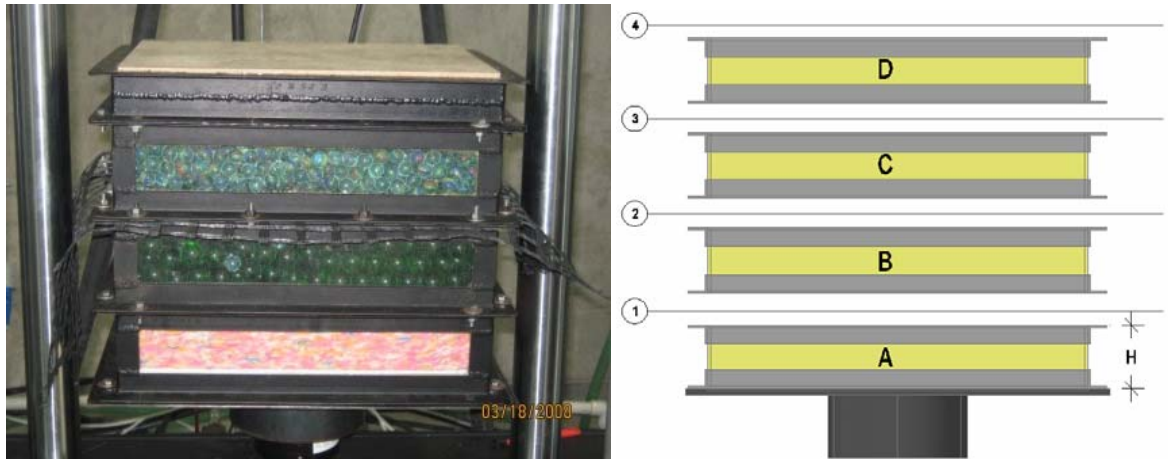
ZONA 2, Geotextil BX60.

MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

❖ MODELO 3.9

Figura 88. Modelo 3.9



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

ZONA 4 - H = 1.5 cm, Aglomerado de madera

MODULO D - H=5 cm, Esferas de $\Phi=11$ mm.

MODULO C - H=10 cm, Esferas de $\Phi=16$ mm.

ZONA 2, Geomalla BX35.

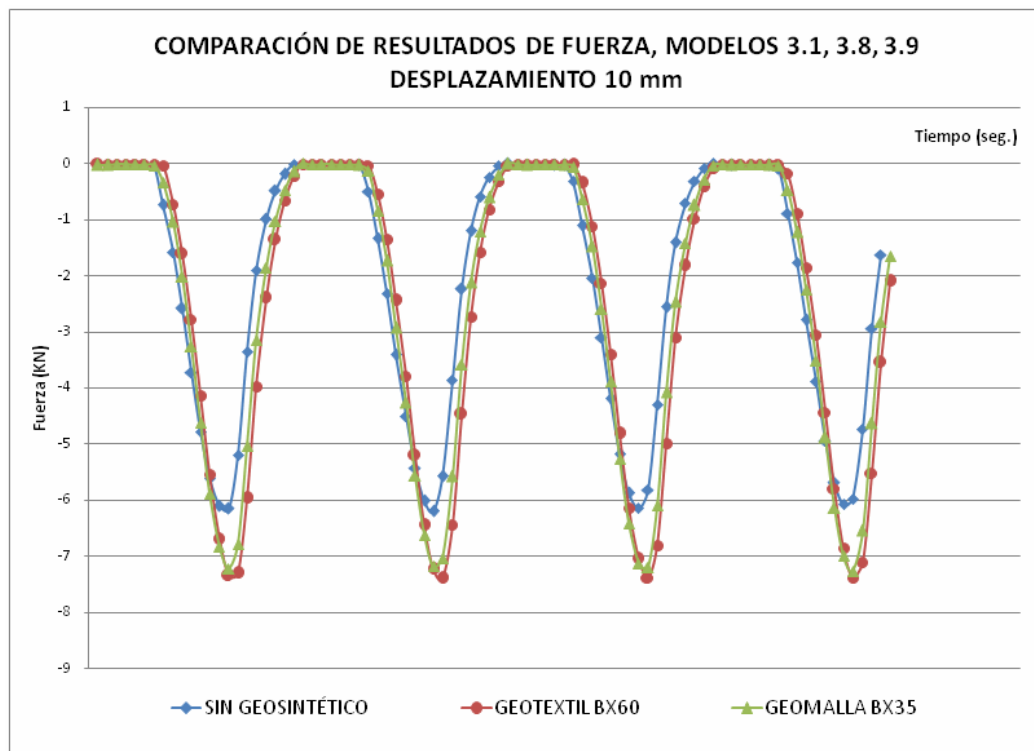
MODULO B - H=10 cm, Esferas de $\Phi=24$ mm.

MODULO A - H=10 cm, Poliestireno expandido (icopor) 3cm y Cazata 7 cm.

4.39 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.8, 3.9

El modelo 3.8 y el modelo 3.9 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX60 por geomalla BX35.

Figura 89. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.8, 3.9, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Tabla 32. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.8, 3.9

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
3.1	10	6.2	---
3.8	10	7.39	16.2%
3.9	10	7.25	14.64%

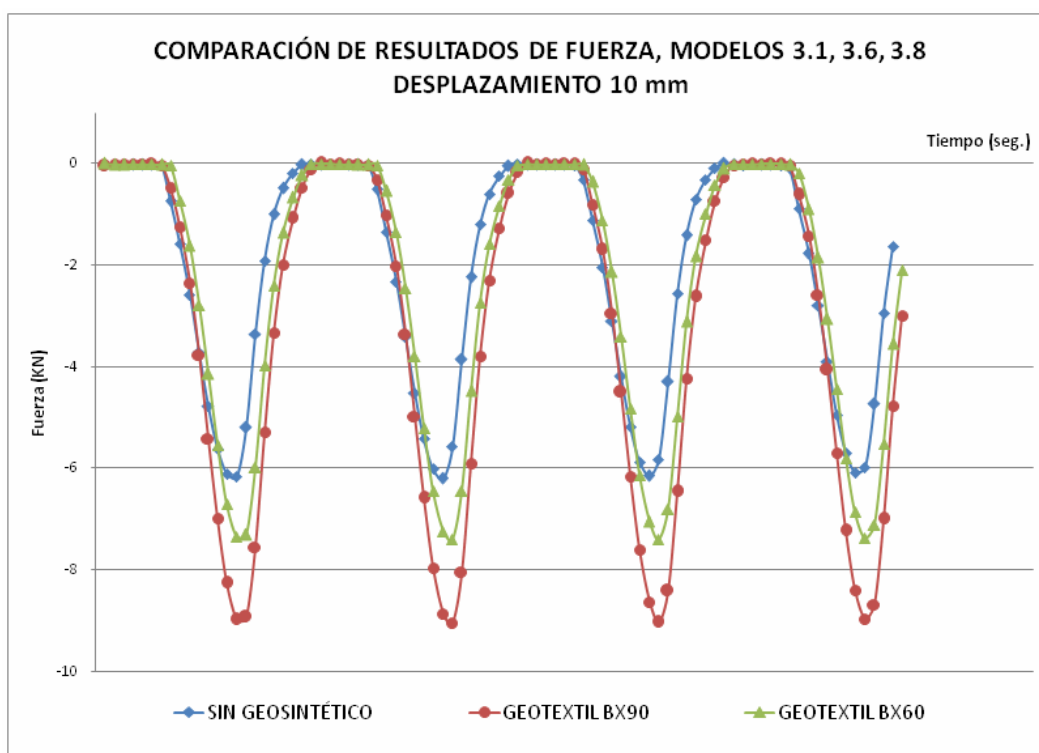
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

La figura 89 como la tabla 31 muestran los resultados de fuerza de diferentes materiales geosintéticos (geotextil BX60 y geomalla BX35) en la misma ubicación. La fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm es similar para las dos modelos.

4.40 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.6, 3.8

El modelo 3.6 y el modelo 3.8 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de geotextil BX90 por geotextil BX60.

Figura 90. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.6, 3.8, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Tabla 33. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.6, 3.8

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
3.1	10	6.2	---
3.6	10	9.03	31.4%
3.8	10	7.39	16.2%

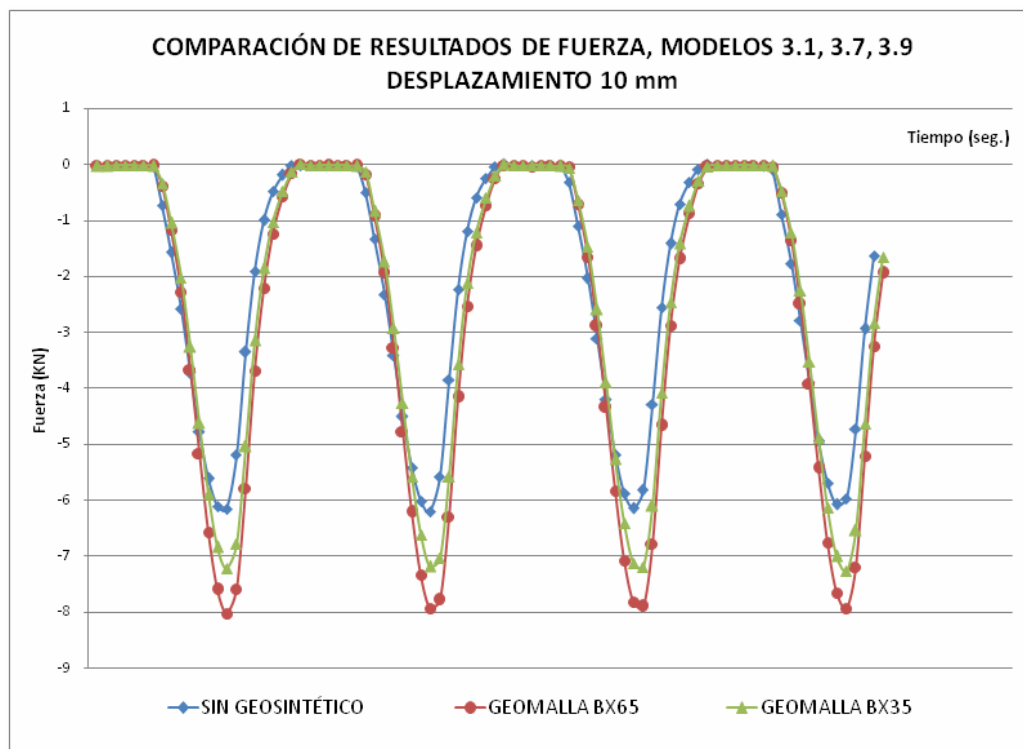
Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 90 como la tabla 32 se observa que los geotextiles BX90 y BX60 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 2..., el modelo 3.6 con geotextil BX90 de mejores propiedades mecánicas requiere mas fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm que el modelo 3.8 con geotextil BX60.

4.41 COMPARACIÓN DE RESULTADOS MODELOS 3.1, 3.7, 3.9

El modelo 3.7 y el modelo 3.9 tienen la misma estructura de pavimento y zona de ubicación del material geosintético, la única diferencia entre estos dos modelos es el cambio de la geomalla BX65 por la geomalla BX35.

Figura 91. Comparación de resultados, Modelos 3.1, 3.7, 3.9, desplazamiento sinusoidal, 10 mm valor máximo



Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

Tabla 34. Resumen de resultados, modelos 3.1, 3.7, 3.9

MODELO	DESPLAZAMIENTO (mm)	FUERZA (KN)	% DEL EFECTO
3.1	10	6.2	---
3.7	10	8.02	22.76%
3.9	10	7.25	14.64%

Fuente: AUTORES DEL PROYECTO

De la figura 91 como la tabla 33 se observa que las geomallas BX65 y BX35 se comportan como se esperaba de acuerdo con sus especificaciones...véase tabla 1..., el modelo 3.7 con geomalla BX65 de mejores propiedades mecánicas requiere mas fuerza para producir un desplazamiento de 10 mm que el modelo 3.9 con geomalla BX35.

5. CONCLUSIONES

- Los ensayos de laboratorio implementados permiten observar el efecto que producen los geosintéticos en los modelos de estructura de pavimento.
- Cuando se evalúan los modelos reforzados con geosintético controlando carga cíclica, se reducen los desplazamientos de la estructura. Cuando se evalúan los modelos reforzados con geosintético controlando desplazamiento de tipo sinusoidal, se aumenta la fuerza necesaria para producir deformación.
- Los geotextiles y geomallas de mayores prestaciones mecánicas registran en los ensayos de los modelos, mayor reducción del desplazamiento.
- La magnitud del aporte del material geosintético al refuerzo de la estructura de los modelos depende de la ubicación de este. Los geosintéticos ubicados en capas superiores, sometidos a mayores esfuerzos, producen una mejor respuesta en la reducción de las deformaciones.
- Cuando en los modelos la carga aplicada produce deformaciones bajas, no se observa ningún efecto por parte del refuerzo. El geosintético no desarrolla esfuerzos, no aporta a la estructura.

6. BIBLIOGRAFIA

- Norma colombiana para la construcción de pavimentos INV-E del 2007.
- Suarez Jaime. Los geosintéticos. Capítulo 6. Materiales para el control de erosión.
- U.S. Army Corps of engineers. Use of geogrids in pavement construction.
- www.geomatrix.com.co

ANEXO A

Este anexo contiene las gráficas Tiempo Vs Desplazamiento de los ensayos de los modelos del 1.1 al 1.9. De cada modelo se realizaron cinco ensayos, de los cuales solo se muestran dos, cada uno con una ampliación de la zona de comportamiento constante.

Todas las gráficas tienen por Fuente: Autores del proyecto.

Figura 1. Modelo 1.1, sin geosintético, ensayo 1, carga 3KN

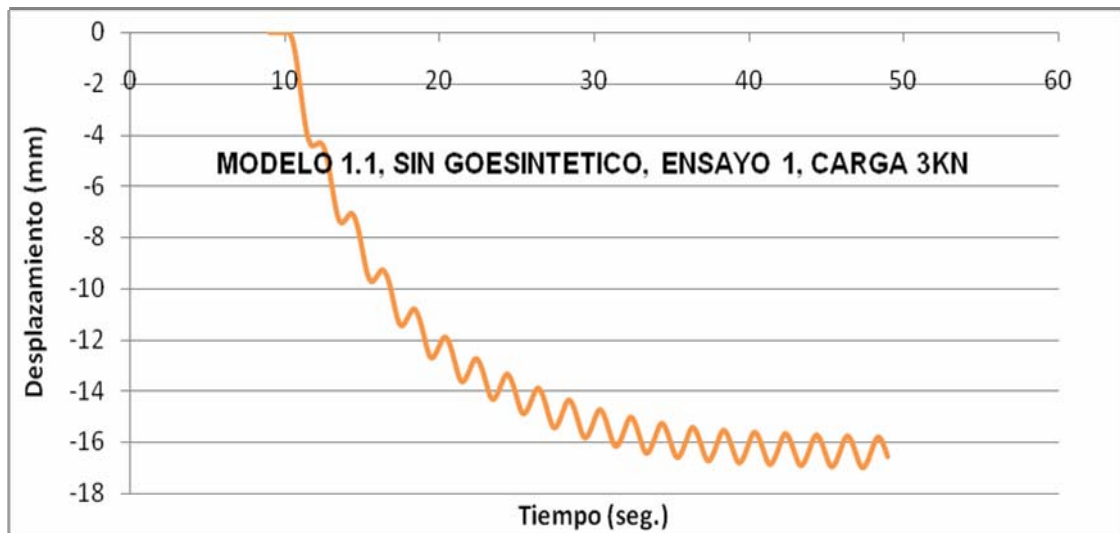


Figura 2. Modelo 1.1, zona de desplazamiento constante, Ensayo 1, Carga 3KN

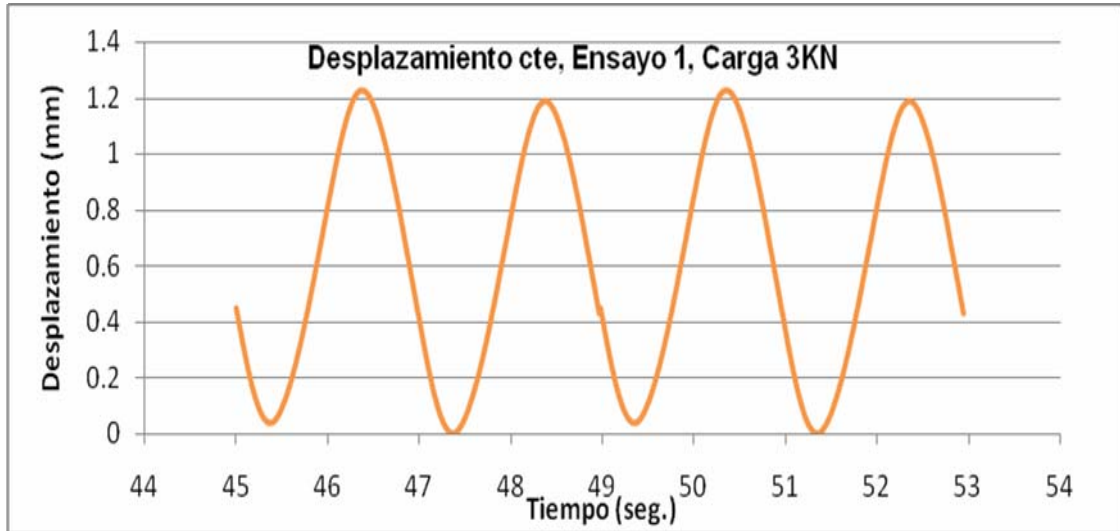


Figura 3. Modelo 1.1, sin geosintético, ensayo 2, carga 3KN

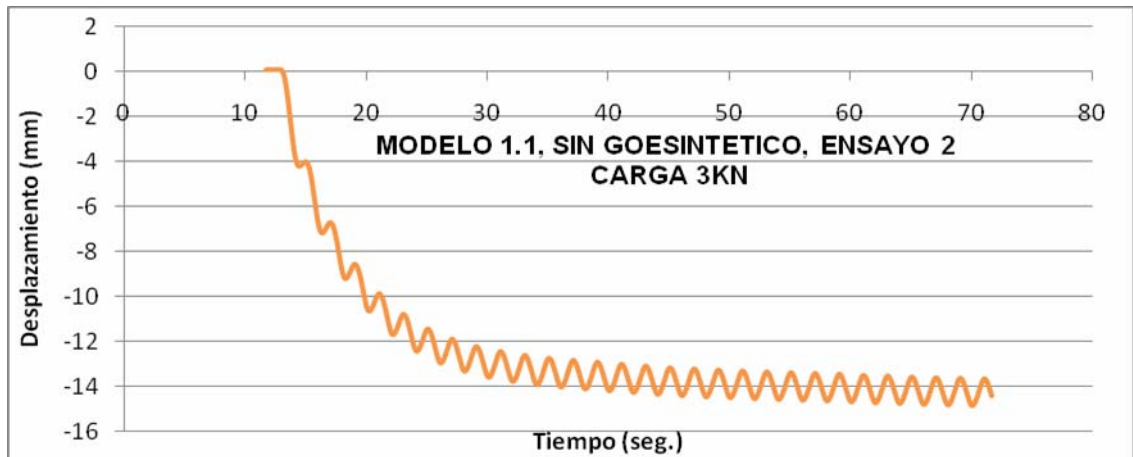


Figura 4. Modelo 1.1, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN

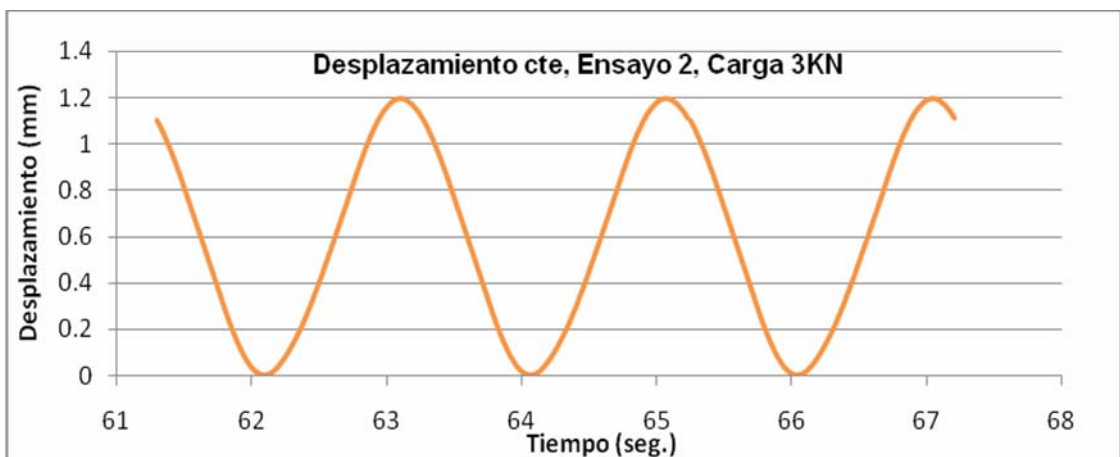


Figura 5. Modelo 1.2, geotextil BX90, ensayo 1, carga 3KN

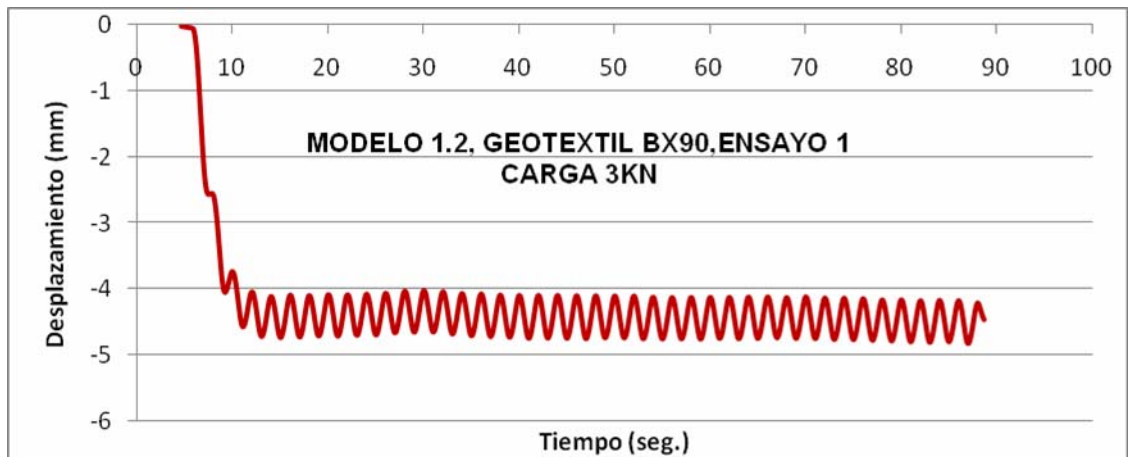


Figura 6. Modelo 1.2, zona de desplazamiento constante, ensayo 1, carga 3KN



Figura 7. Modelo 1.2, geotextil BX90, ensayo 2, carga 3KN

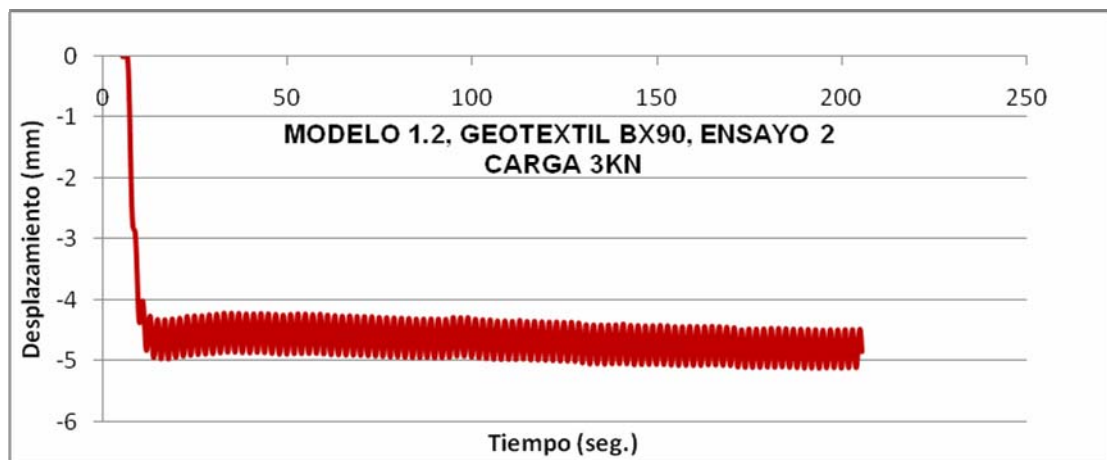


Figura 8. Modelo 1.2, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN



Figura 9. Modelo 1.3, geomalla BX65, ensayo 1, carga 3KN

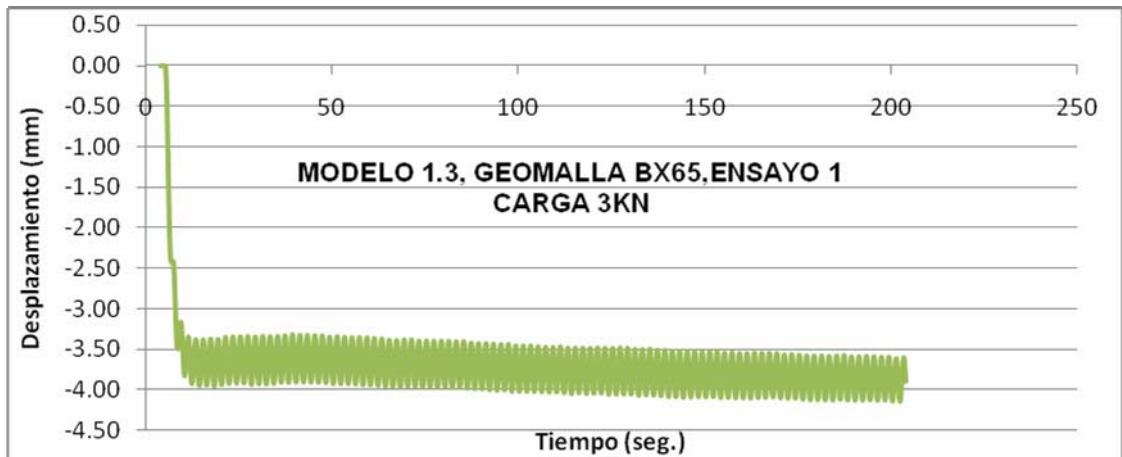


Figura 10. Modelo 1.3, zona de desplazamiento constante, ensayo 1, carga 3KN

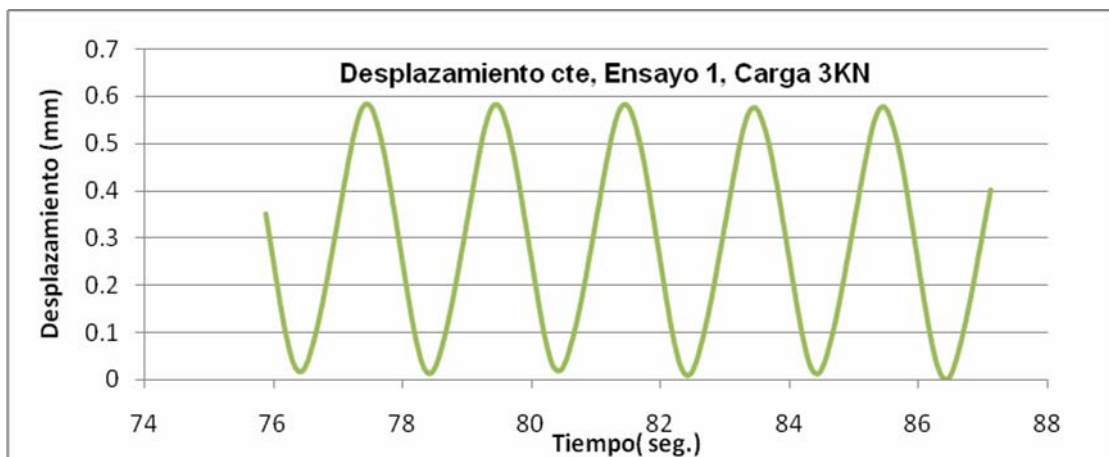


Figura 11. Modelo 1.3, geomalla BX65, ensayo 2, carga 3KN

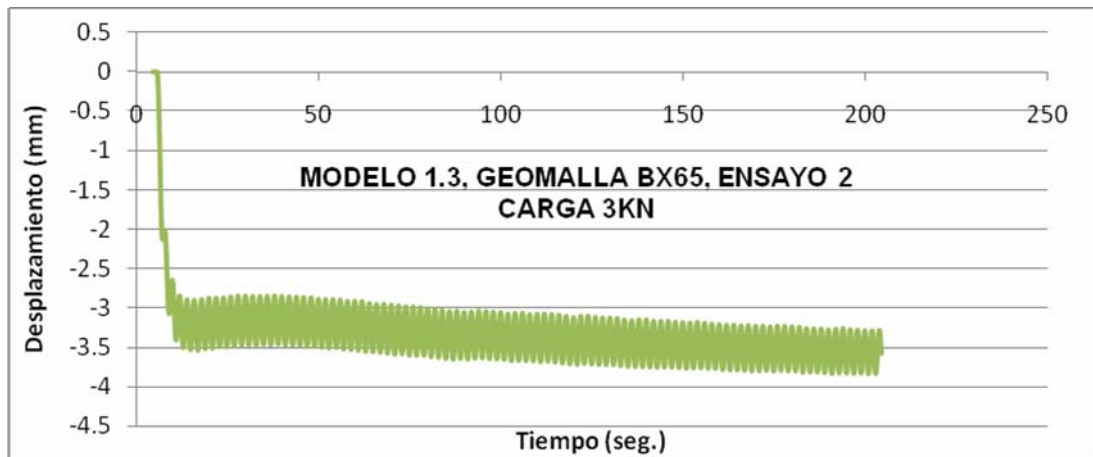


Figura 12. Modelo 1.3, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN

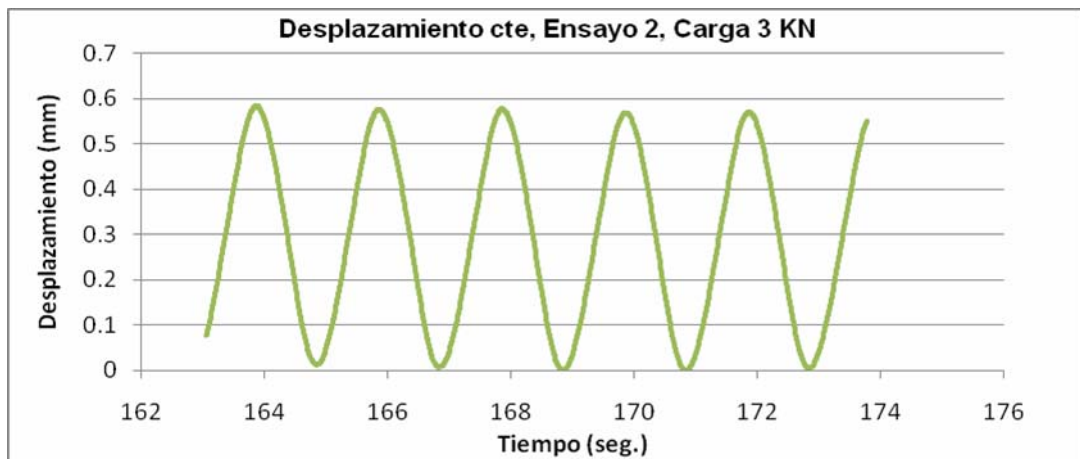


Figura 13. Modelo 1.4, geomalla BX35, ensayo 1, carga 3KN

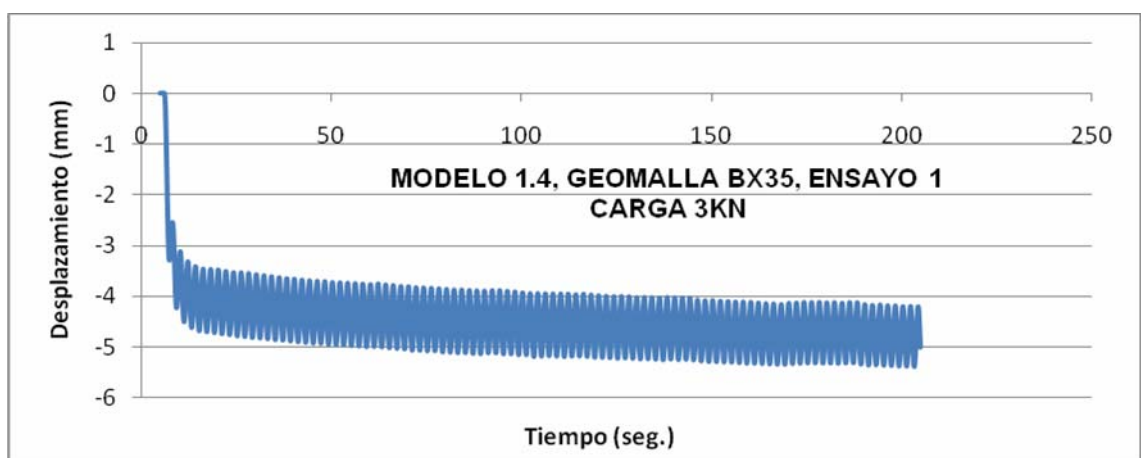


Figura 14. Modelo 1.4, zona de desplazamiento constante, ensayo 1, carga 3KN

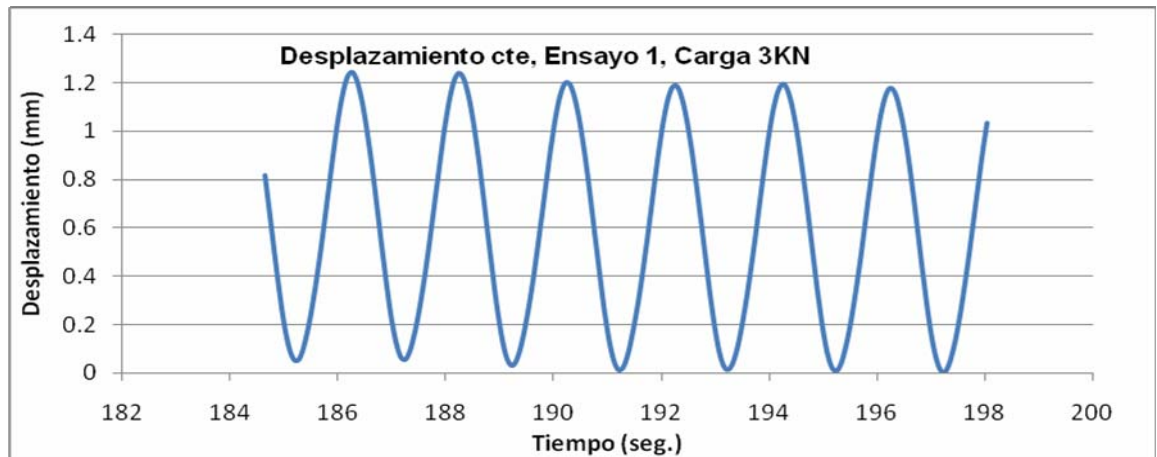


Figura 15. Modelo 1.4, geomalla BX35, ensayo 2, carga 3KN

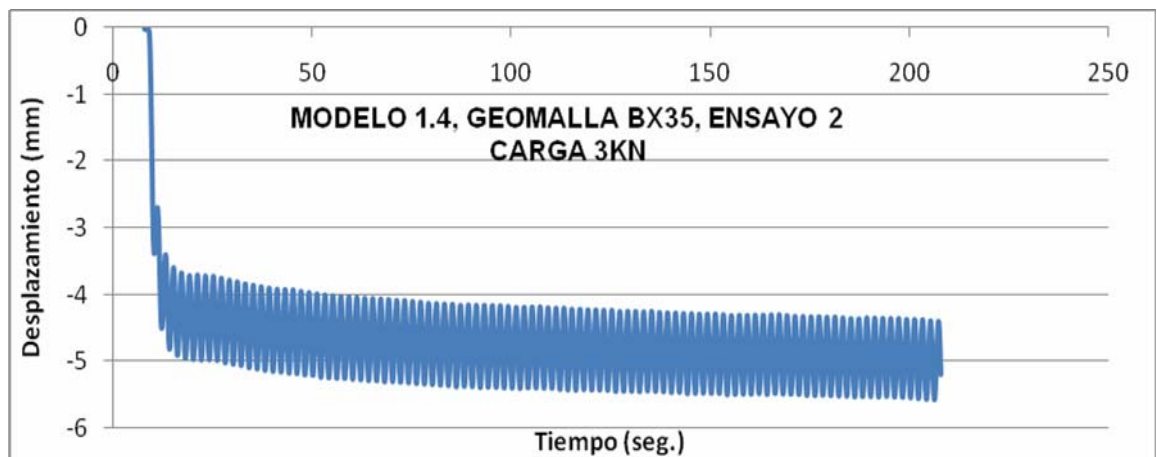


Figura 16. Modelo 1.4, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN

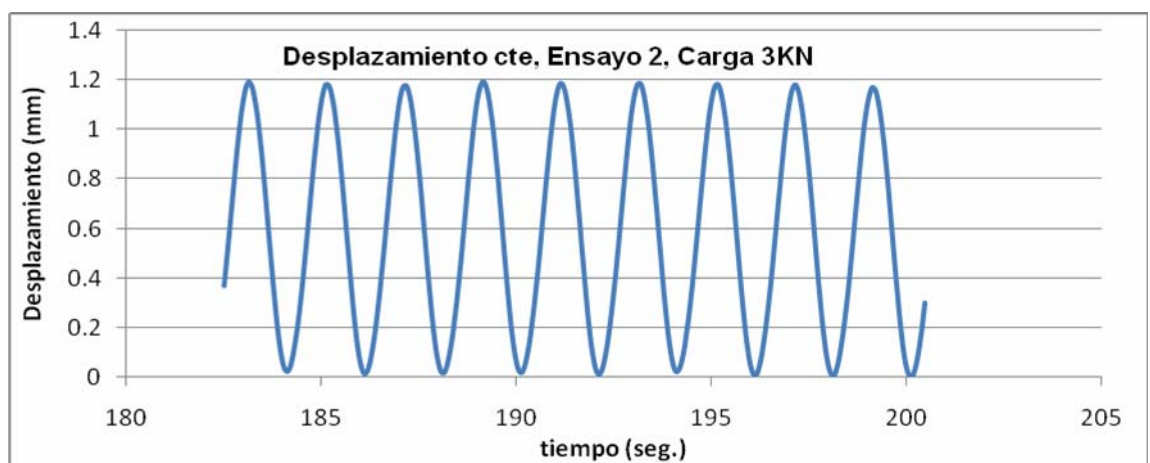


Figura 17. Modelo 1.5, geotextil BX60, ensayo 1, carga 3KN

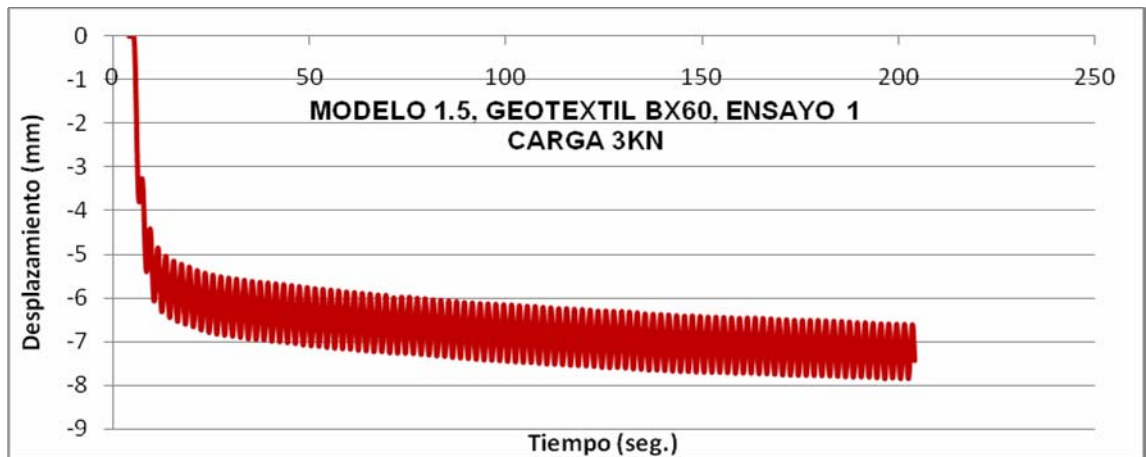


Figura 18. Modelo 1.5, zona de desplazamiento constante, ensayo 1, carga 3KN

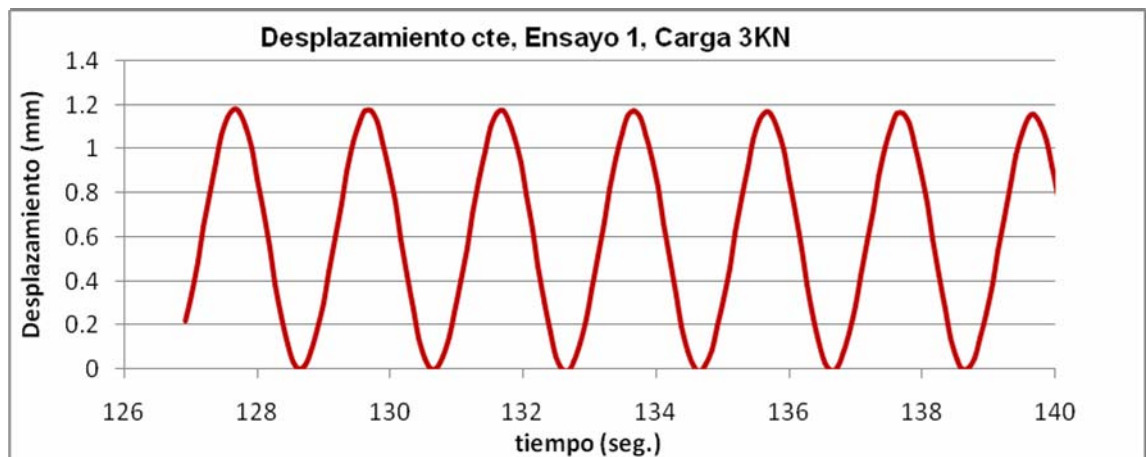


Figura 19. Modelo 1.5, geotextil BX60, ensayo 2, carga 3KN

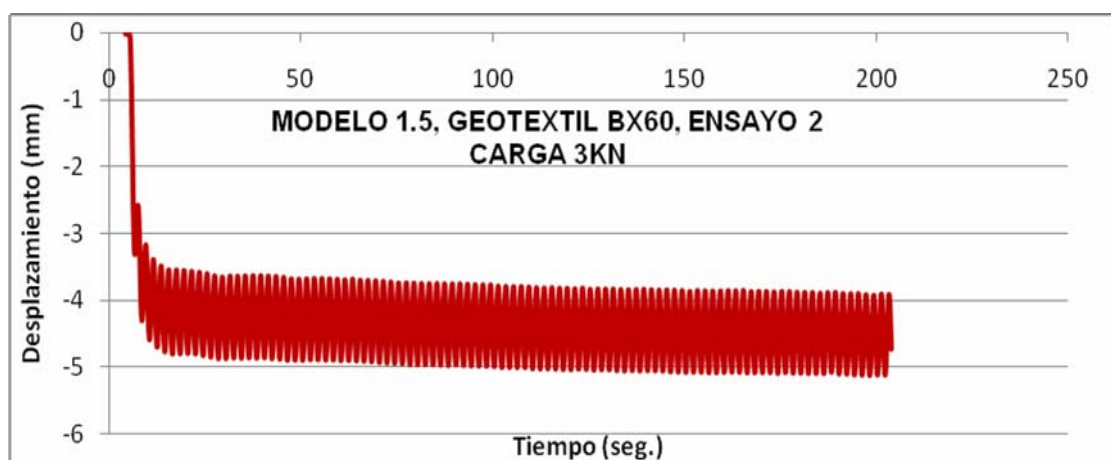


Figura 20. Modelo 1.5, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN

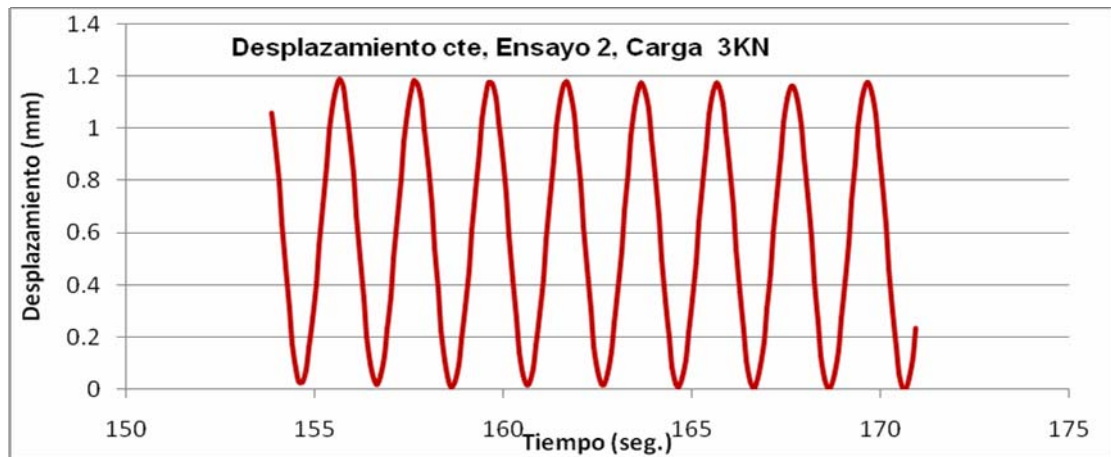


Figura 21. Modelo 1.6, geotextil BX90, ensayo 1, carga 3KN

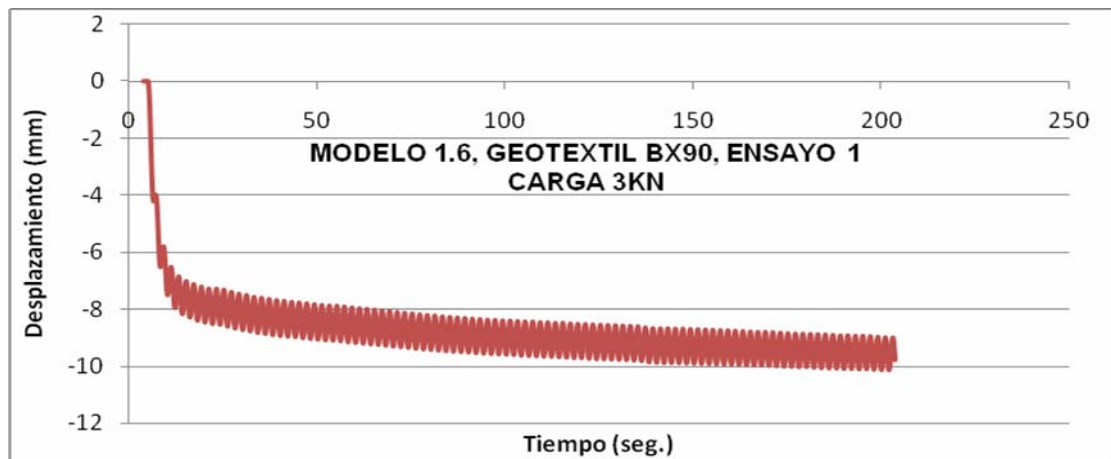


Figura 22. Modelo 1.6, zona de desplazamiento constante, ensayo 1, carga 3KN

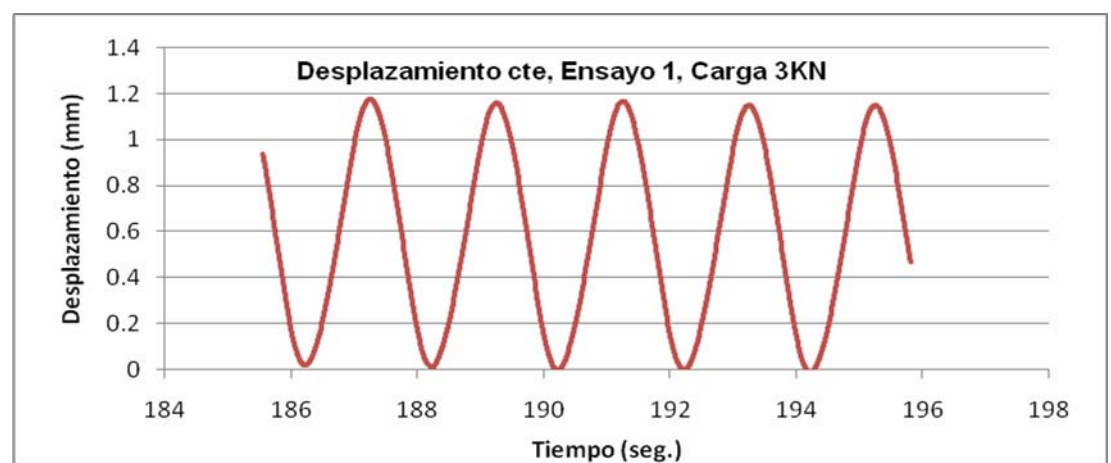


Figura 23. Modelo 1.6, geotextil BX90, ensayo 2, carga 3KN

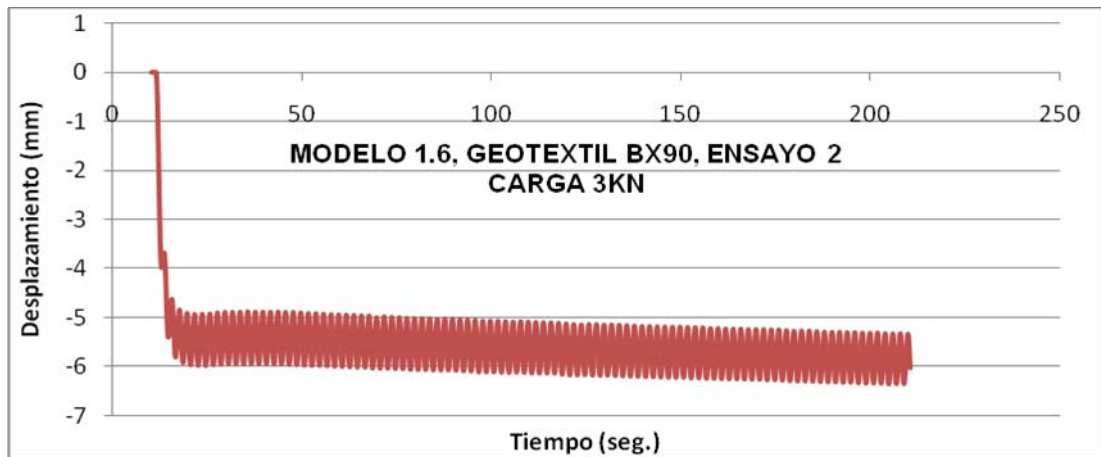


Figura 24. Modelo 1.6, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN



Figura 25. Modelo 1.7, geomalla BX65, ensayo 1, carga 3KN

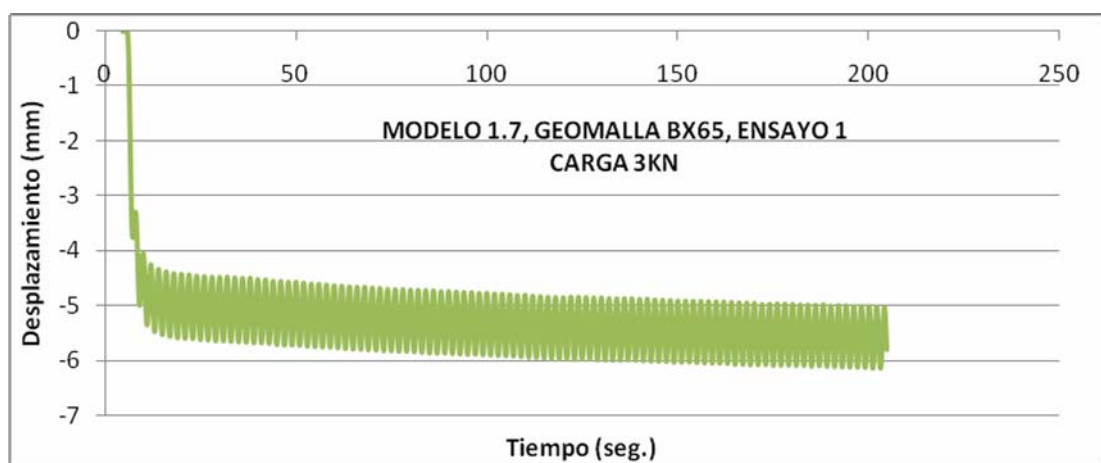


Figura 26. Modelo 1.7, zona de desplazamiento constante, ensayo 1, carga 3KN

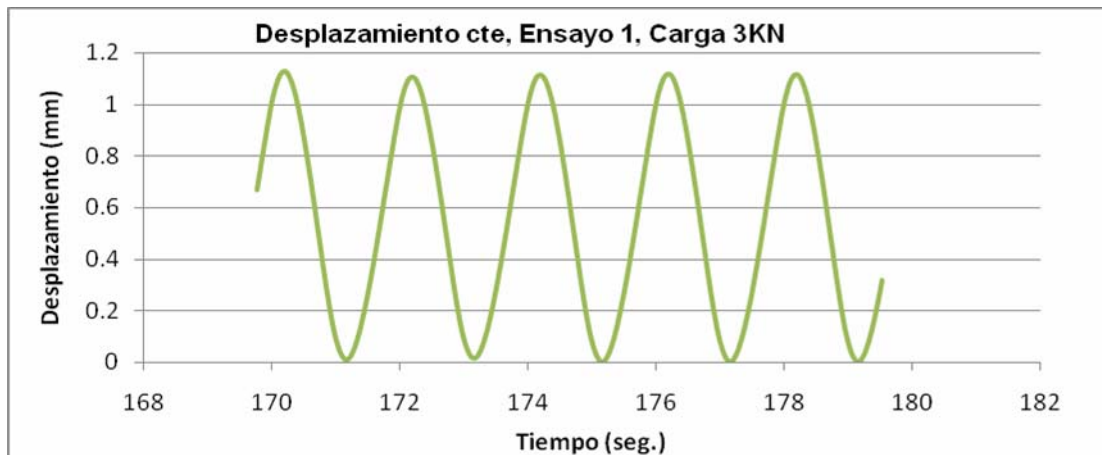


Figura 27. Modelo 1.7, geomalla BX65, ensayo 2, carga 3KN

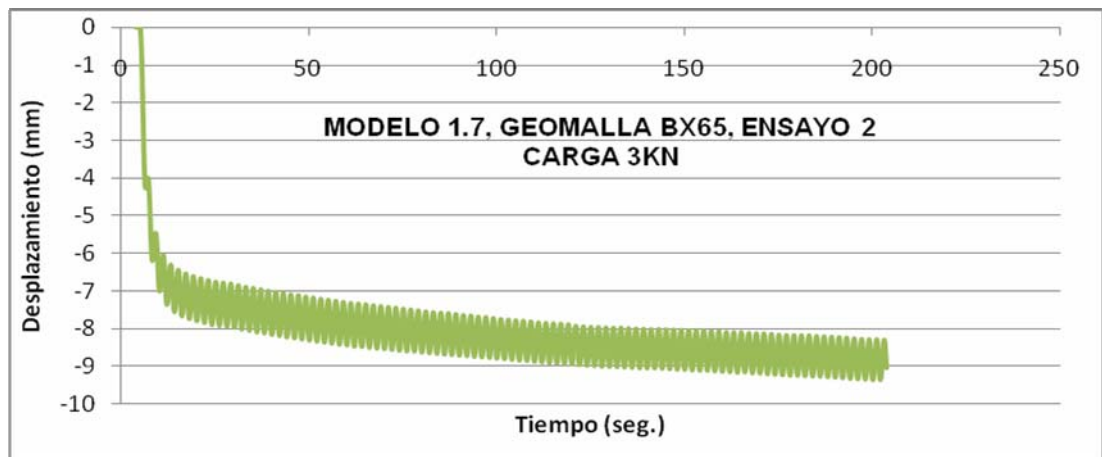


Figura 28. Modelo 1.7, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN

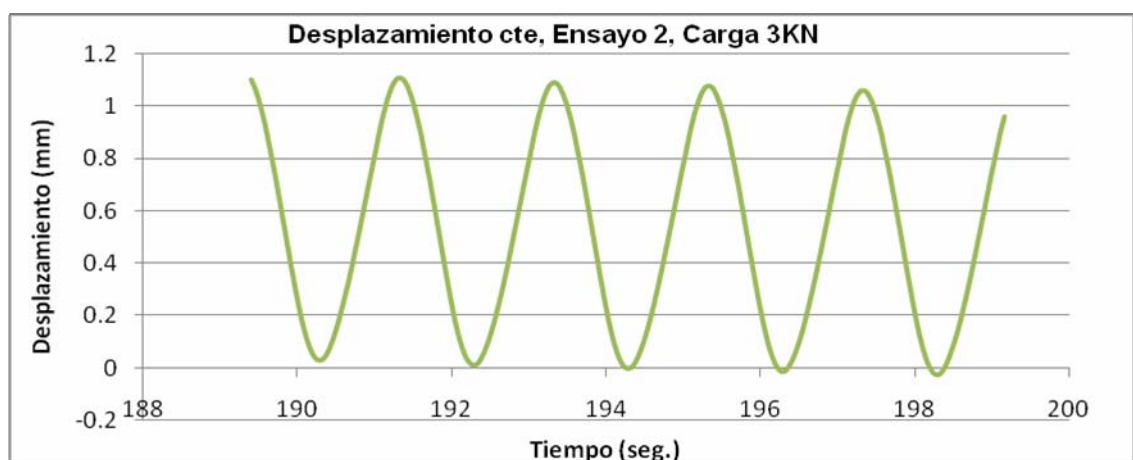


Figura 29. Modelo 1.8, geotextil BX60, ensayo 1, carga 3KN

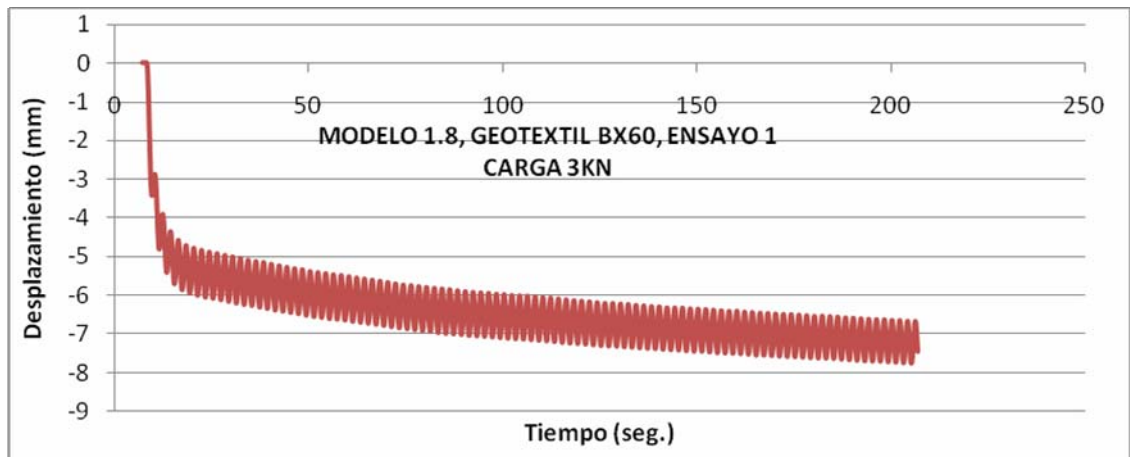


Figura 30. Modelo 1.8, zona de desplazamiento constante, ensayo 1, carga 3KN

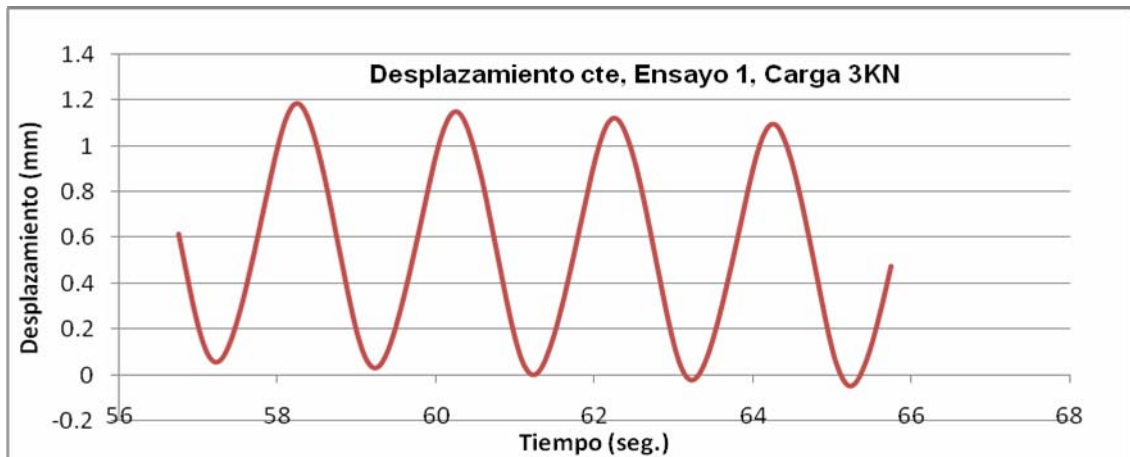


Figura 31. Modelo 1.8, geotextil BX60, ensayo 2, carga 3KN

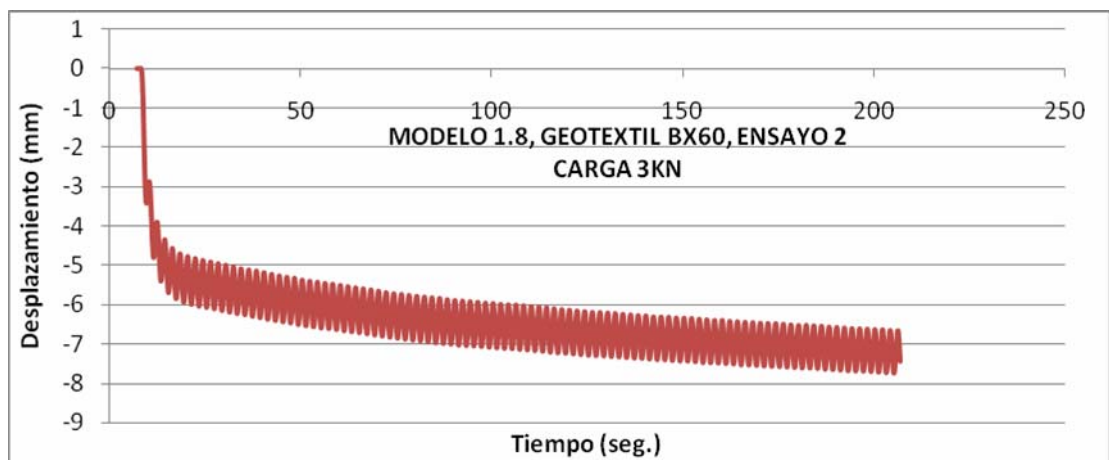


Figura 32. Modelo 1.8, zona de desplazamiento constante, ensayo 2, carga 3KN



Figura 33. Modelo 1.9, geomalla BX35, ensayo 1, carga 3KN

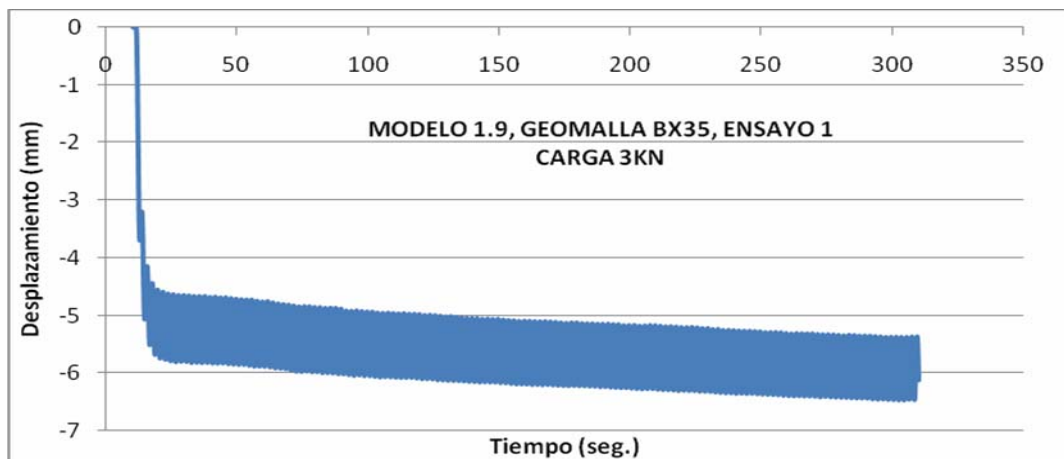


Figura 34. Modelo 1.9, geomalla BX35, ensayo 1, carga 3KN

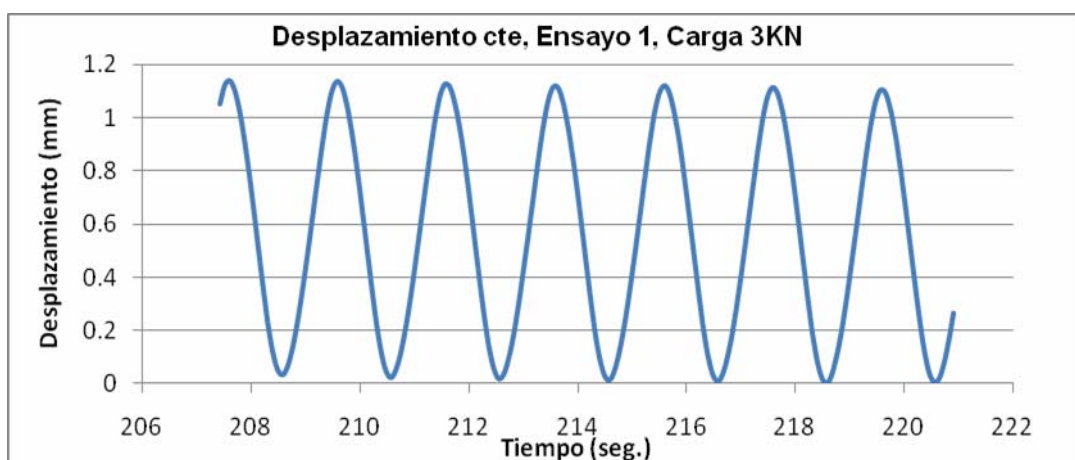


Figura 35. Modelo 1.9, geomalla BX35, ensayo 2, carga 3KN

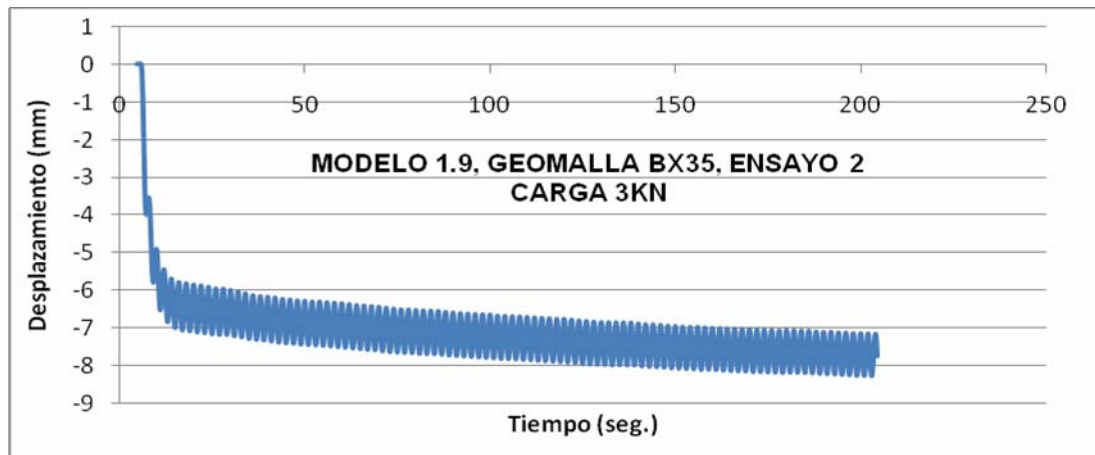
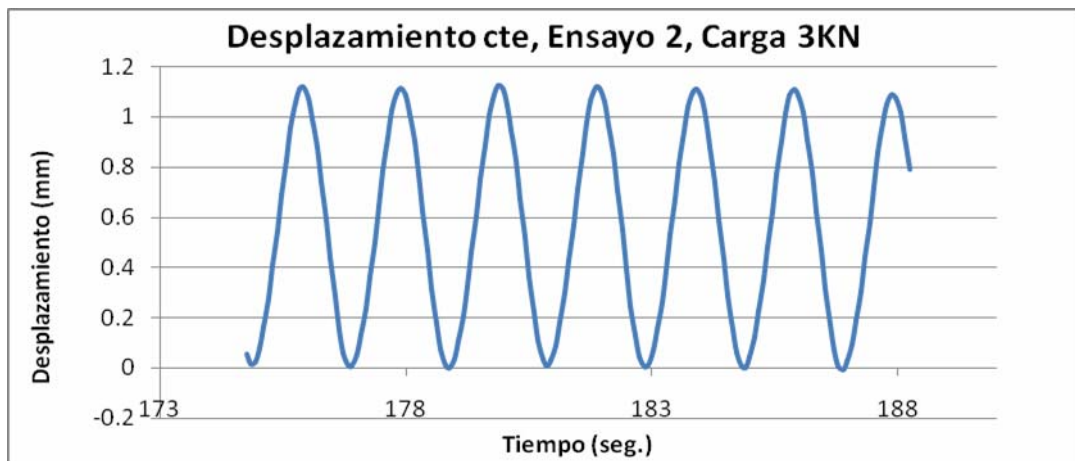


Figura 36. Modelo 1.9, geomalla BX35, ensayo 2, carga 3KN



ANEXO B

Este anexo contiene las gráficas Tiempo Vs Fuerza de los ensayos de los modelos del 2.1 al 2.9. De cada modelo se realizaron cinco ensayos, de los cuales solo se muestran dos, cada uno con una ampliación de la zona de comportamiento constante.

Todas las gráficas tienen por Fuente: Autores del proyecto.

Figura 37. Modelo 2.1, Sin geosintético, Ensayo 1, Desplazamiento 10 mm

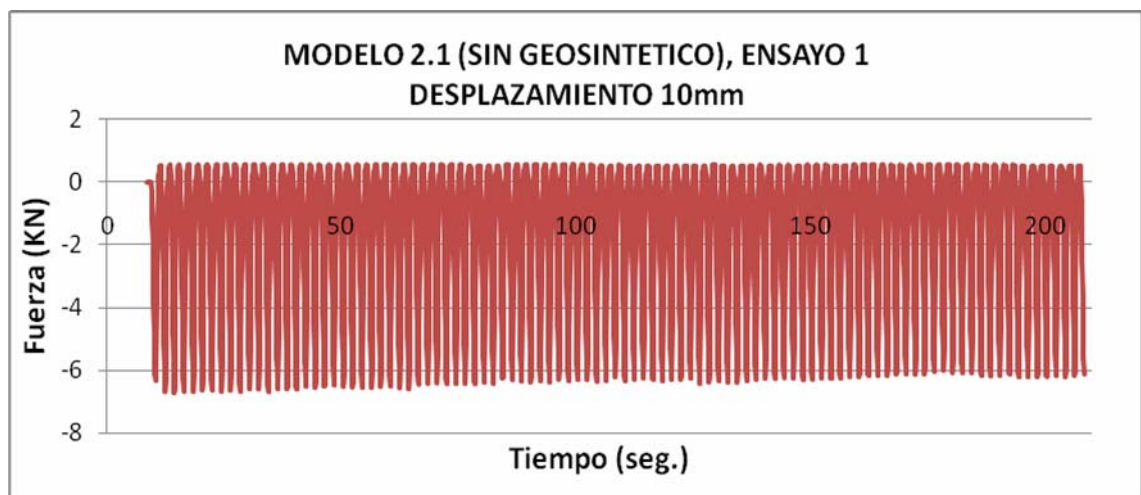


Figura 38. Modelo 2.1, Sin geosintético, Ensayo 1, zona cte., Desplazamiento 10 mm

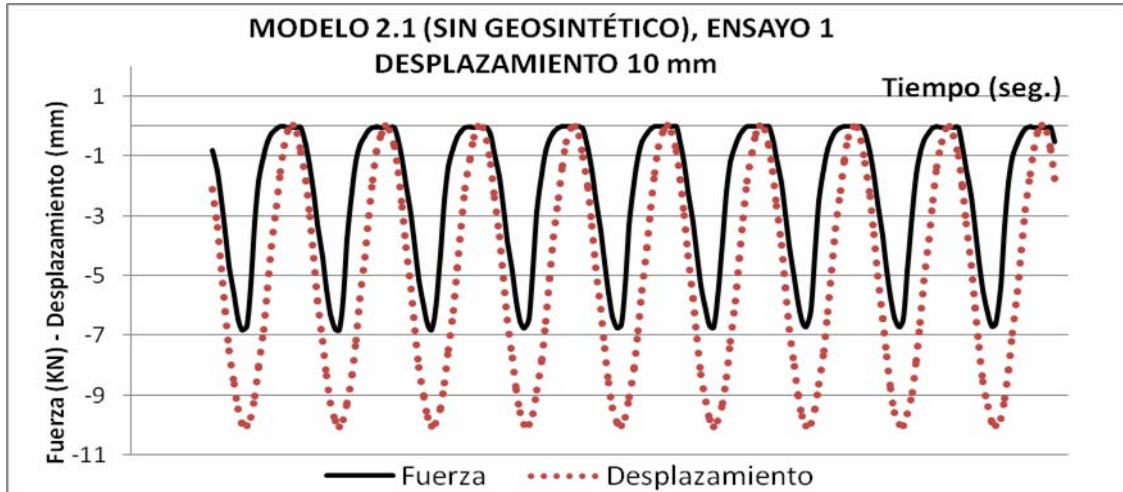


Figura 39. Modelo 2.1, Sin geosintético, Ensayo 2, Desplazamiento 10 mm

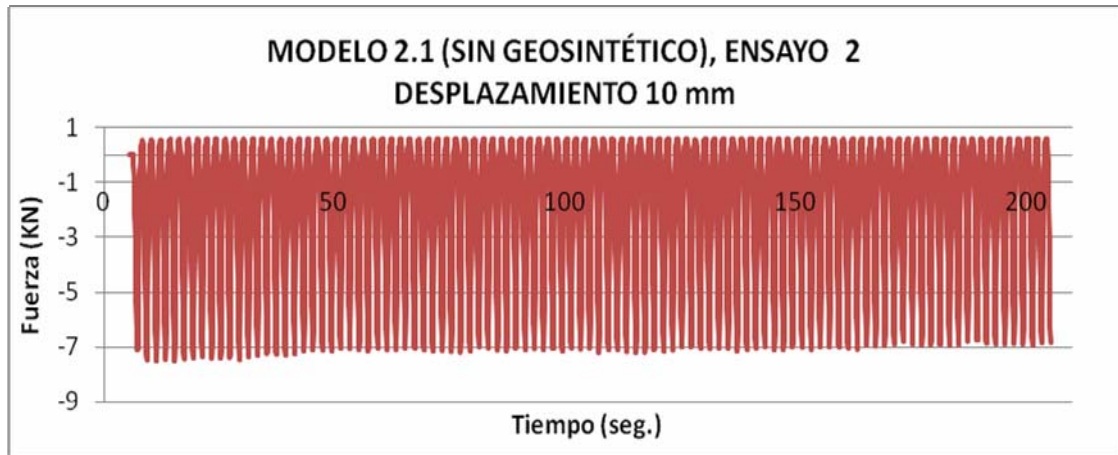


Figura 40. Modelo 2.1, Sin geosintético, Ensayo 2, zona cte., Desplazamiento 10 mm

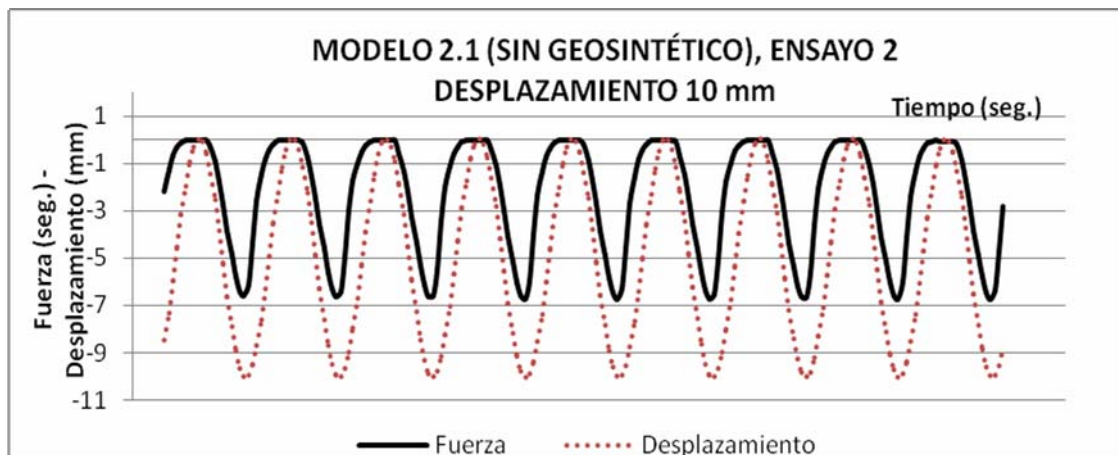


Figura 41. Modelo 2.2, Ensayo 1, Desplazamiento 10 mm

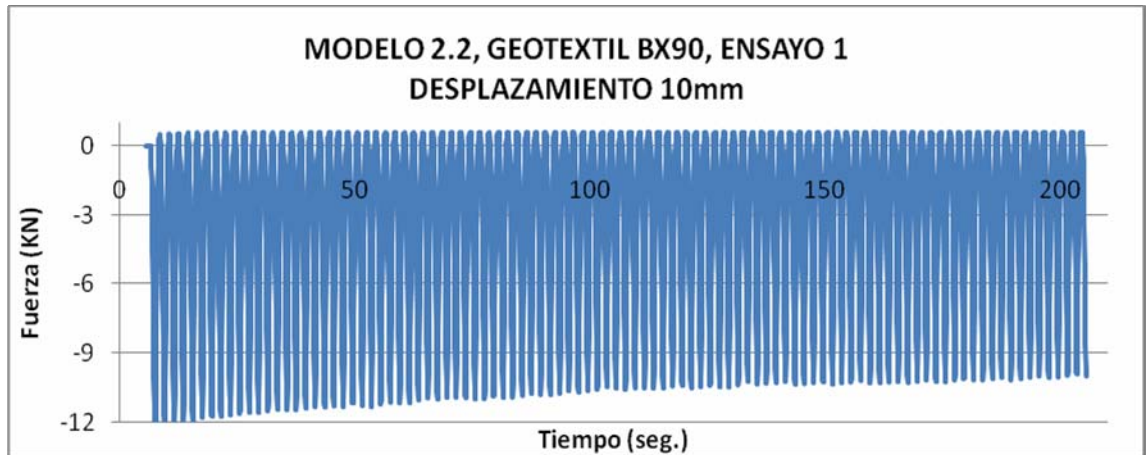


Figura 42. Modelo 2.2, Ensayo 1, fuerza cte., Desplazamiento 10 mm

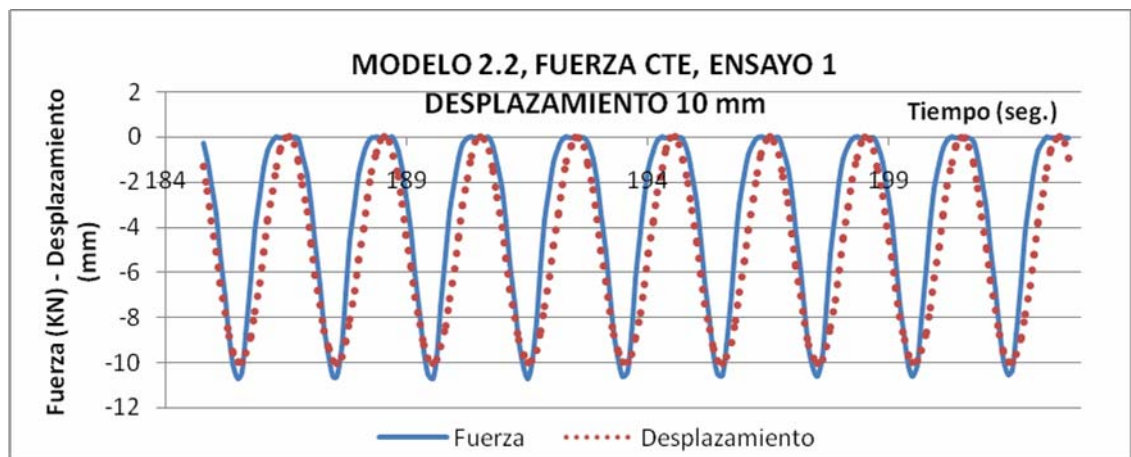


Figura 43. Modelo 2.2, Ensayo 2, Desplazamiento 10 mm

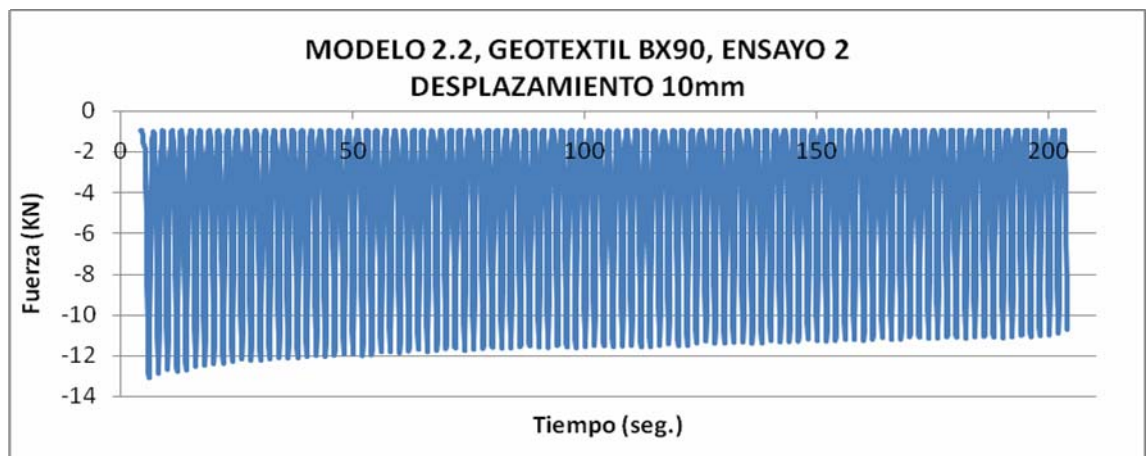


Figura 44. Modelo 2.2, Ensayo 2, fuerza cte., Desplazamiento 10 mm

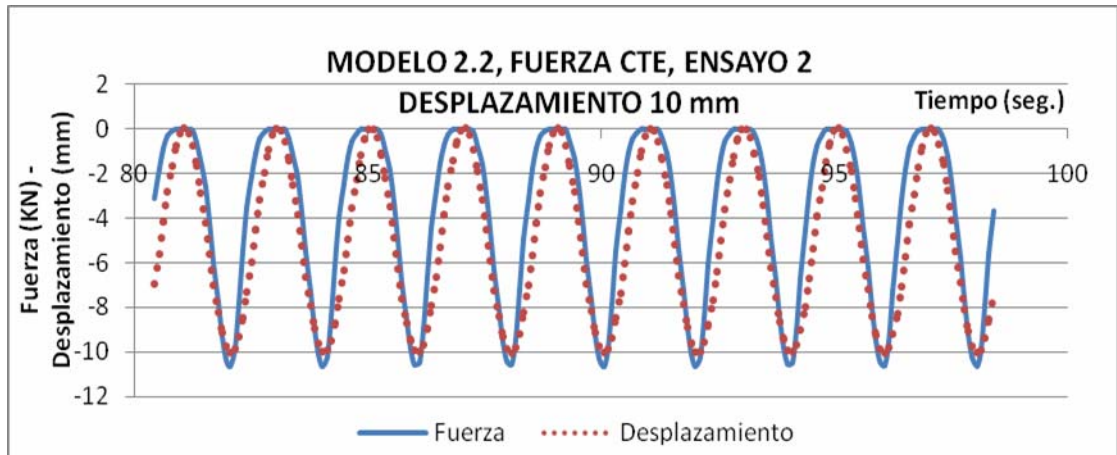


Figura 45. Modelo 2.3, ensayo 1, desplazamiento 10 mm

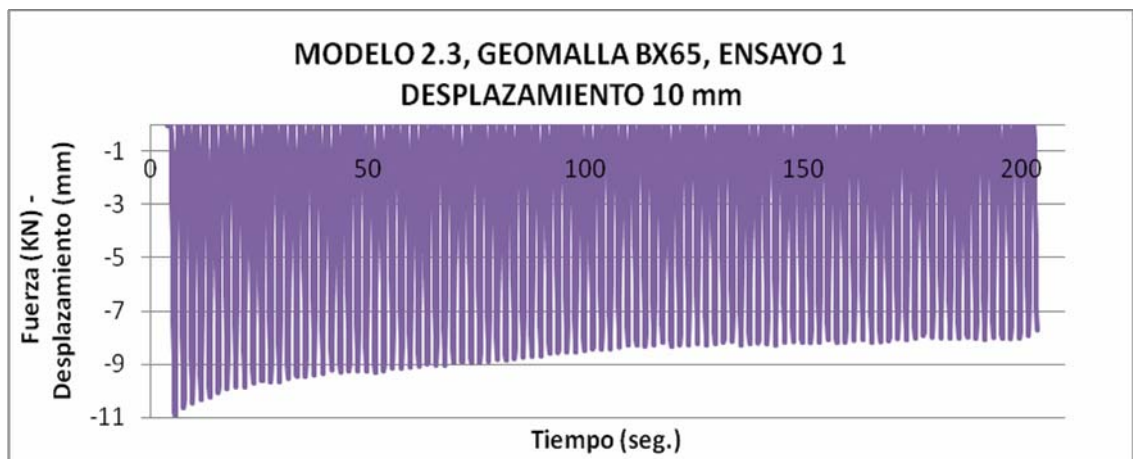


Figura 46. Modelo 2.3, ensayo 1, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

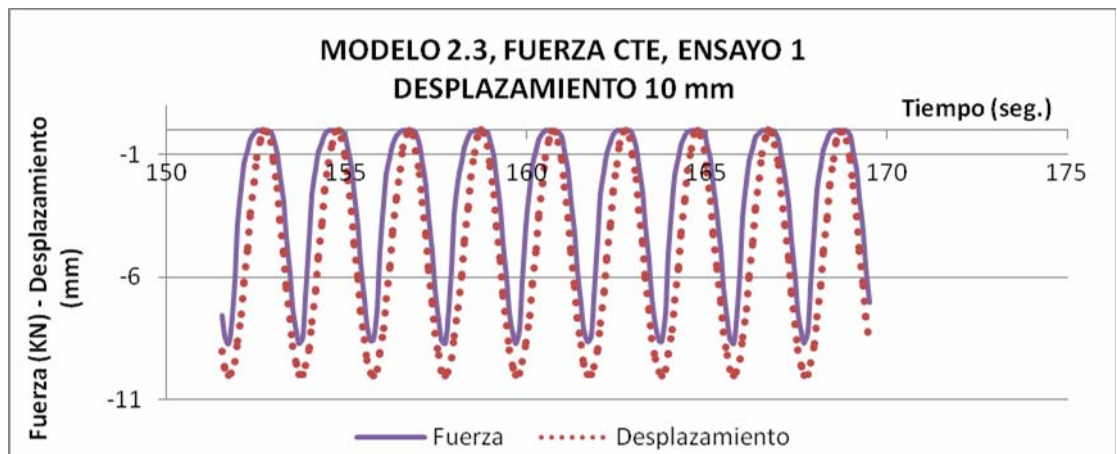


Figura 47. Modelo 2.3, ensayo 2, desplazamiento 10 mm

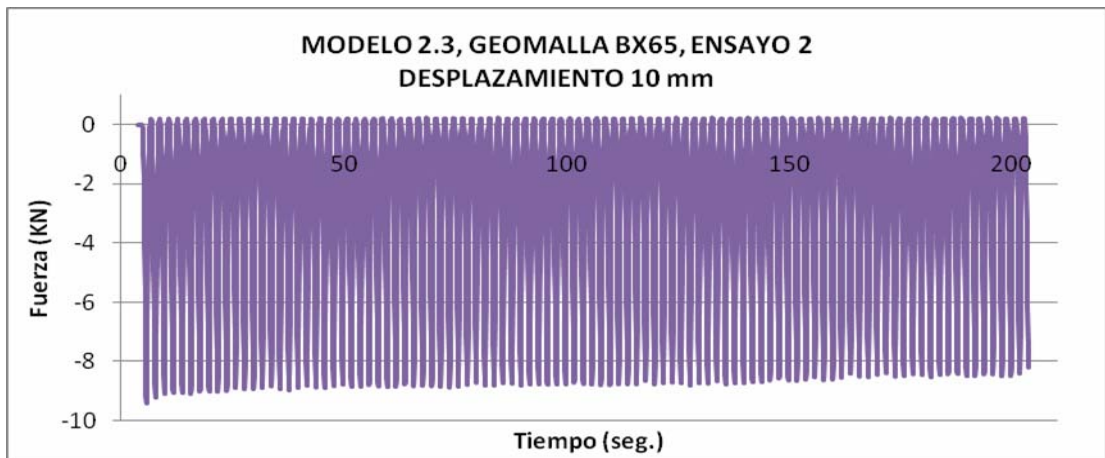


Figura 48. Modelo 2.3, ensayo 2, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

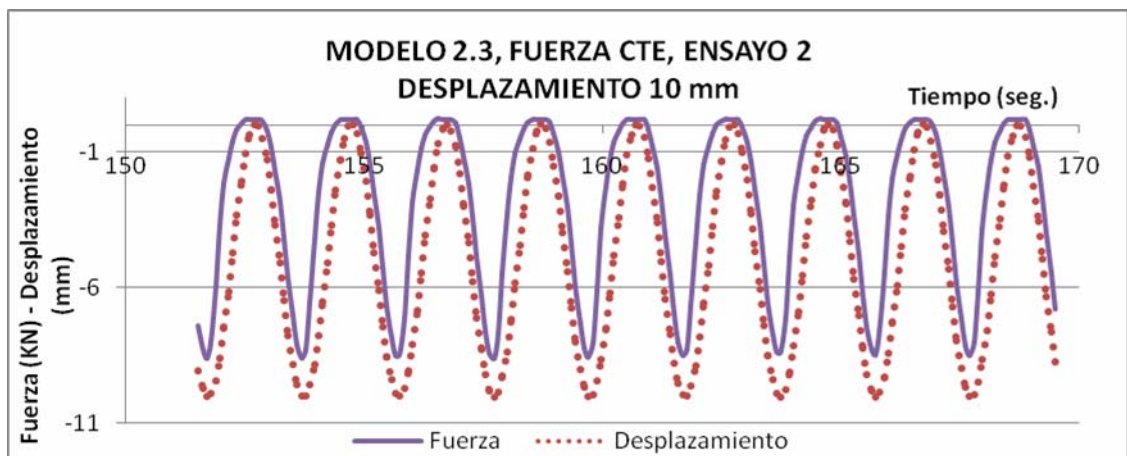


Figura 49. Modelo 2.4, ensayo 1, desplazamiento 10 mm

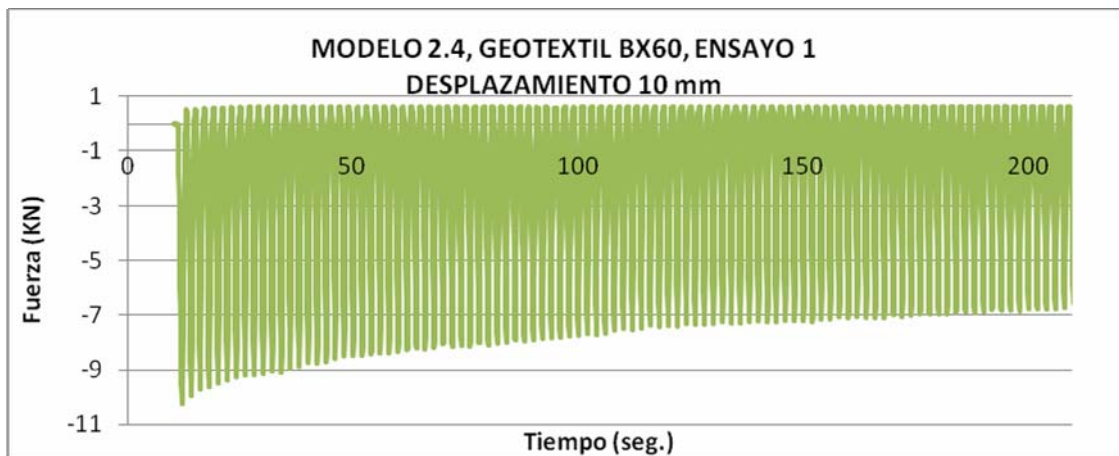


Figura 50. Modelo 2.4, ensayo 1, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

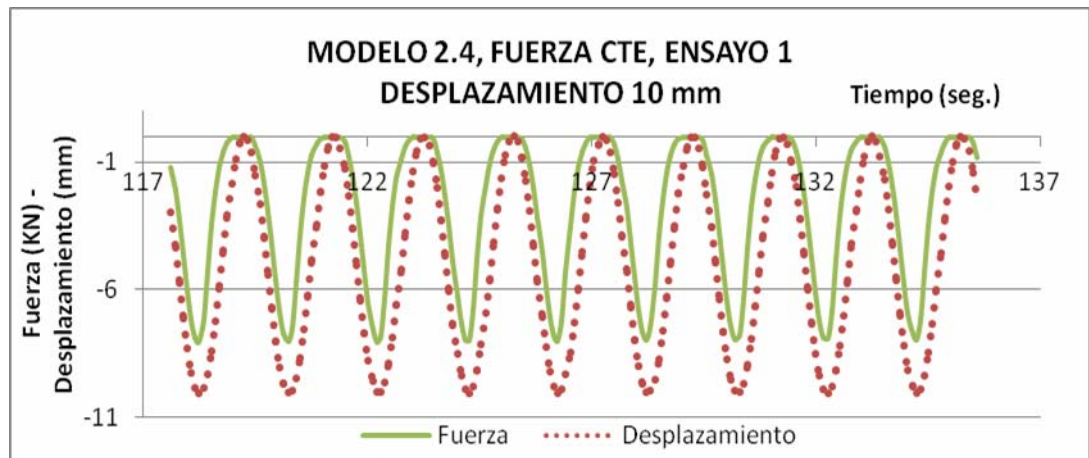


Figura 51. Modelo 2.4, ensayo 2, desplazamiento 10 mm

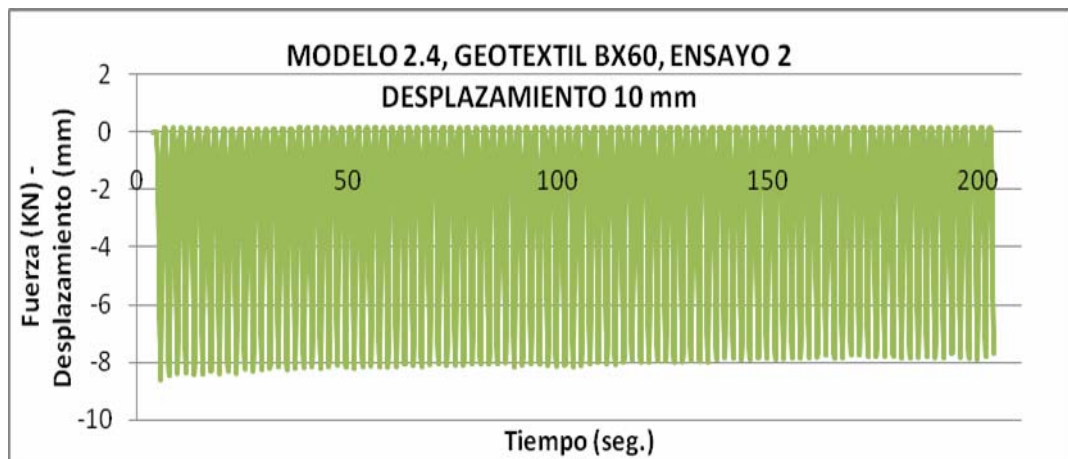


Figura 52. Modelo 2.4, ensayo 2, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

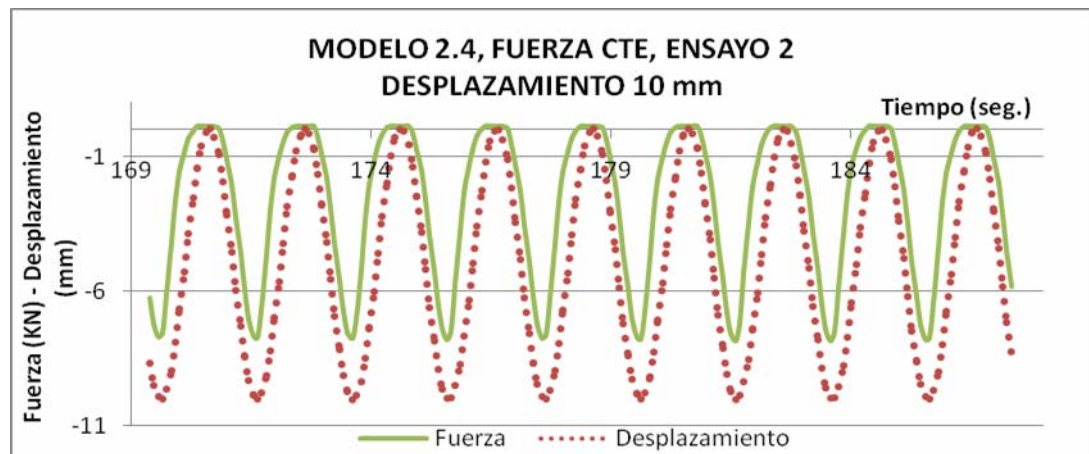


Figura 53. Modelo 2.5, ensayo 1, desplazamiento 10 mm

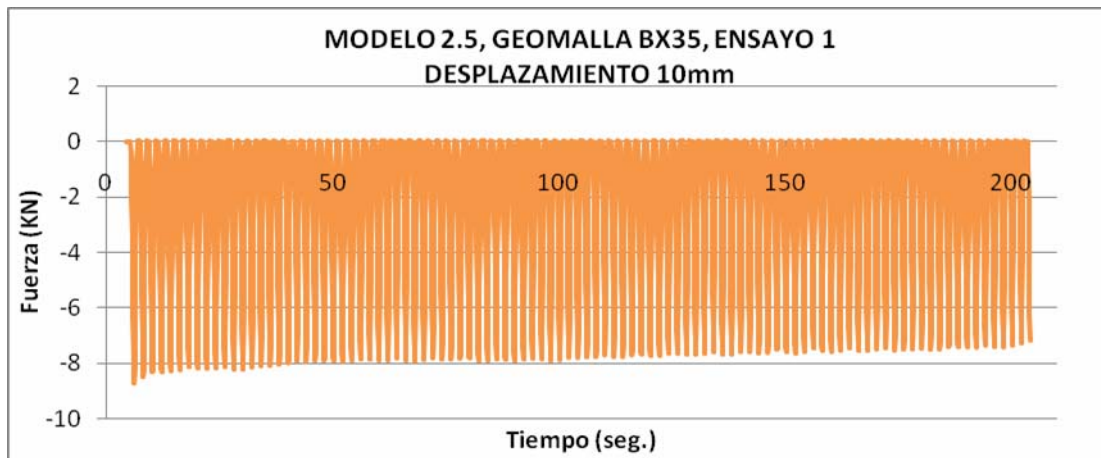


Figura 54. Modelo 2.5, ensayo 1, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

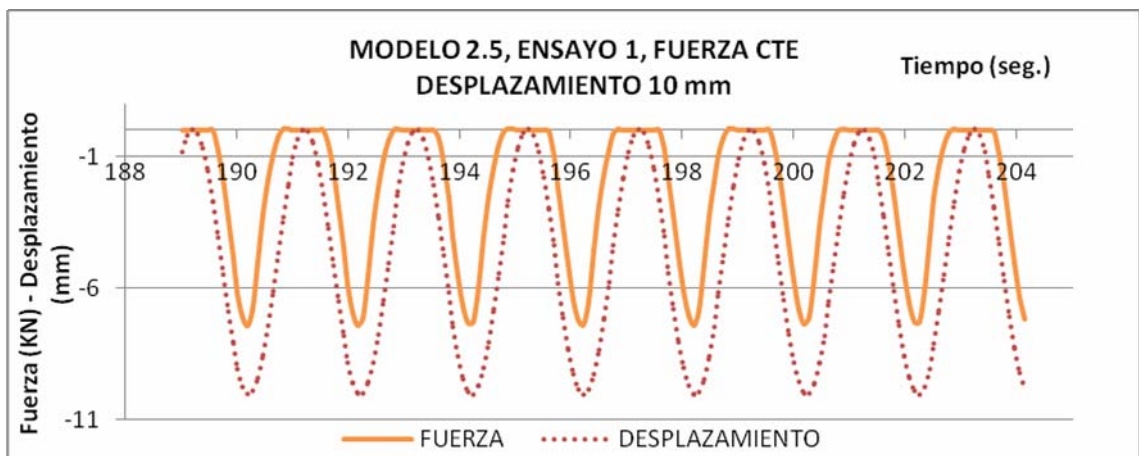


Figura 55. Modelo 2.5, ensayo 2, desplazamiento 10 mm

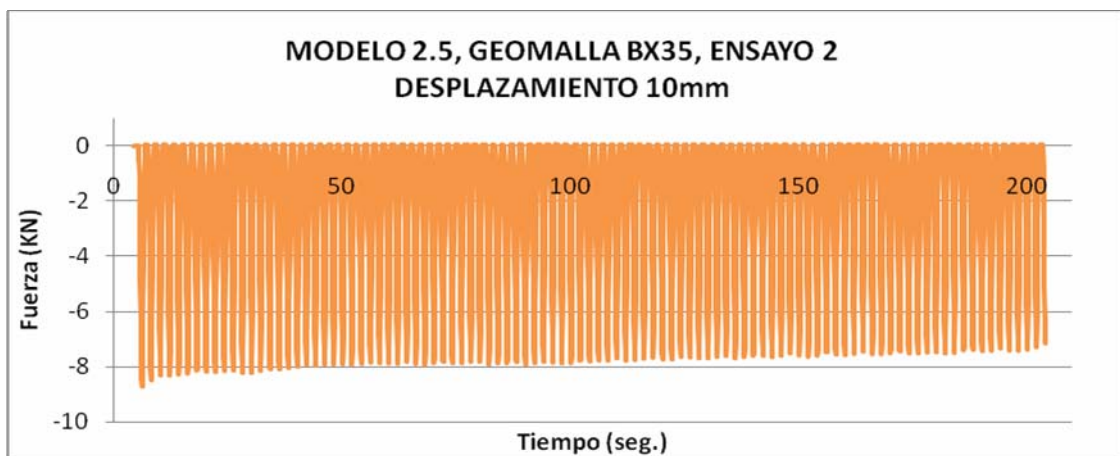


Figura 56. Modelo 2.5, ensayo 2, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

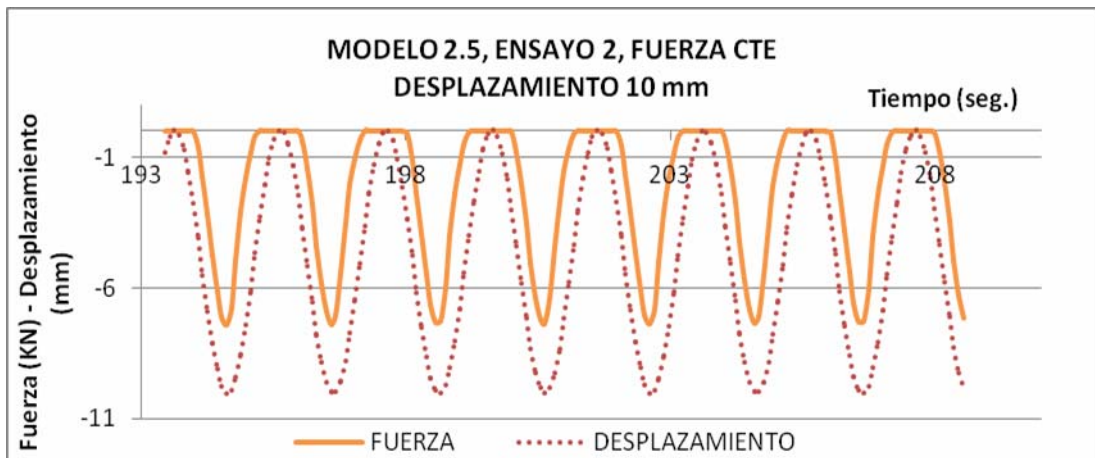


Figura 57. Modelo 2.6, ensayo 1, desplazamiento 10 mm

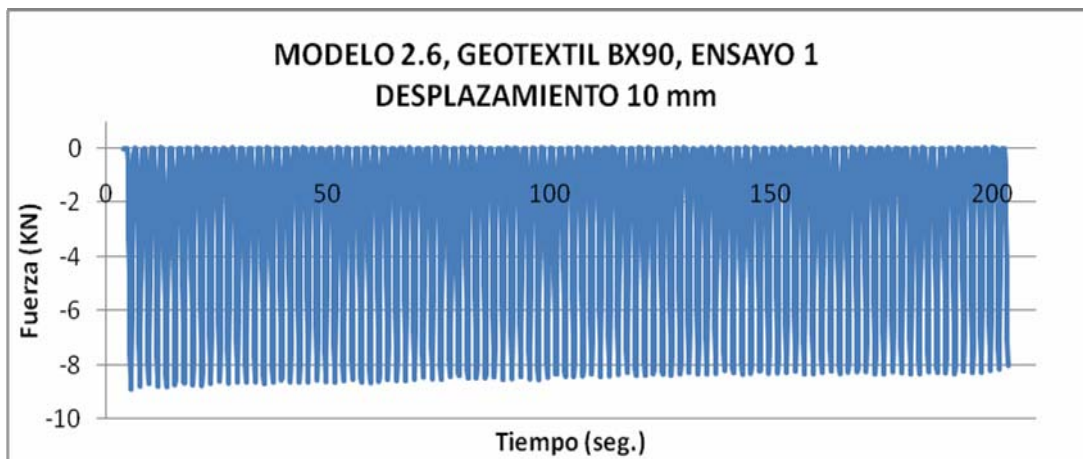


Figura 58. Modelo 2.6, ensayo 1, fuerza cte., Desplazamiento 10 mm

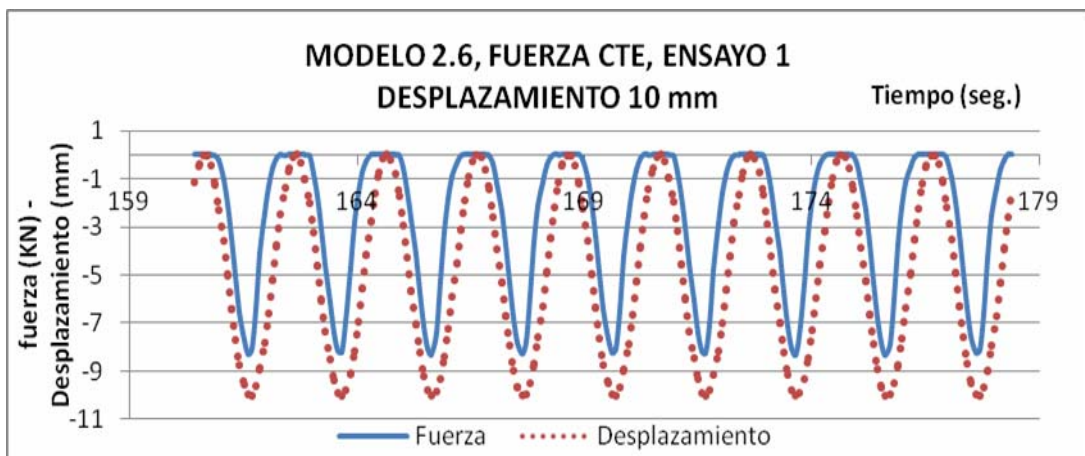


Figura 59. Modelo 2.6, ensayo 2, desplazamiento 10 mm

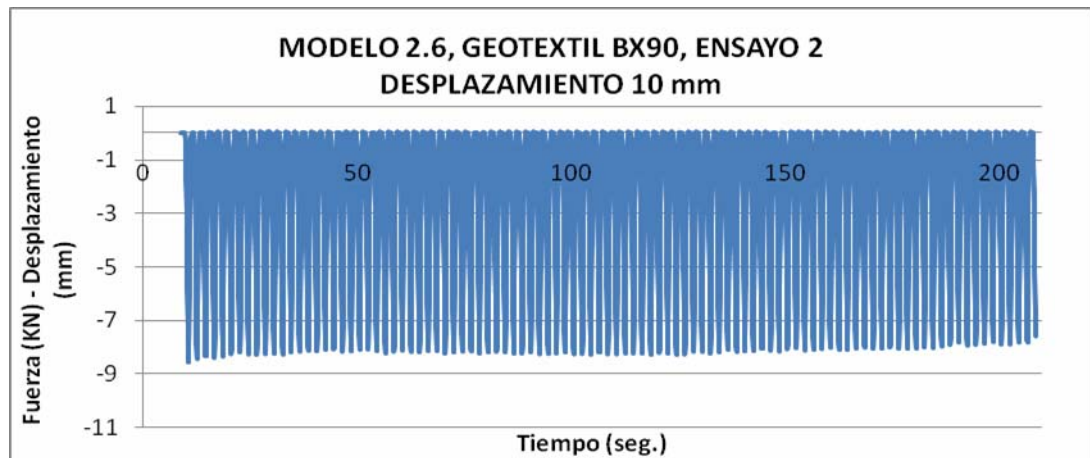


Figura 60. Modelo 2.6, ensayo 2, fuerza cte., Desplazamiento 10 mm

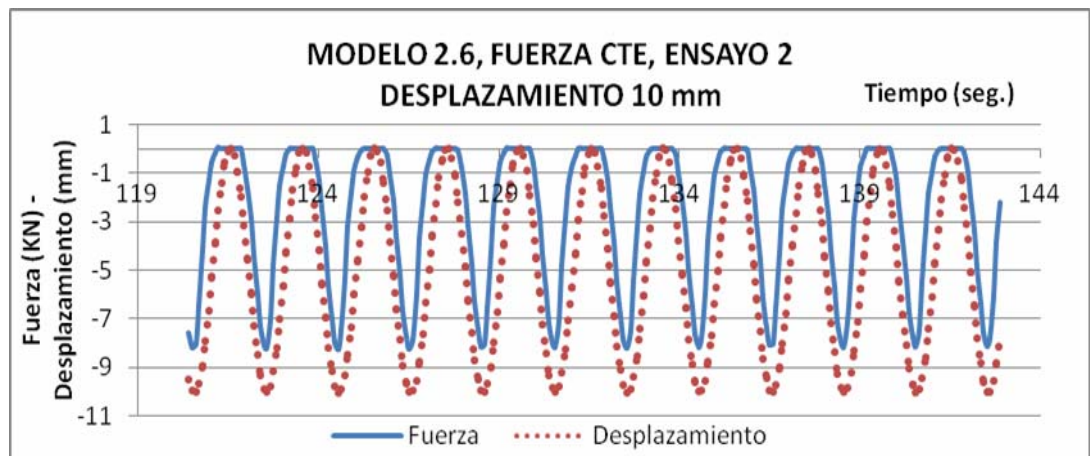


Figura 61. Modelo 2.7, ensayo 1, desplazamiento 10 mm

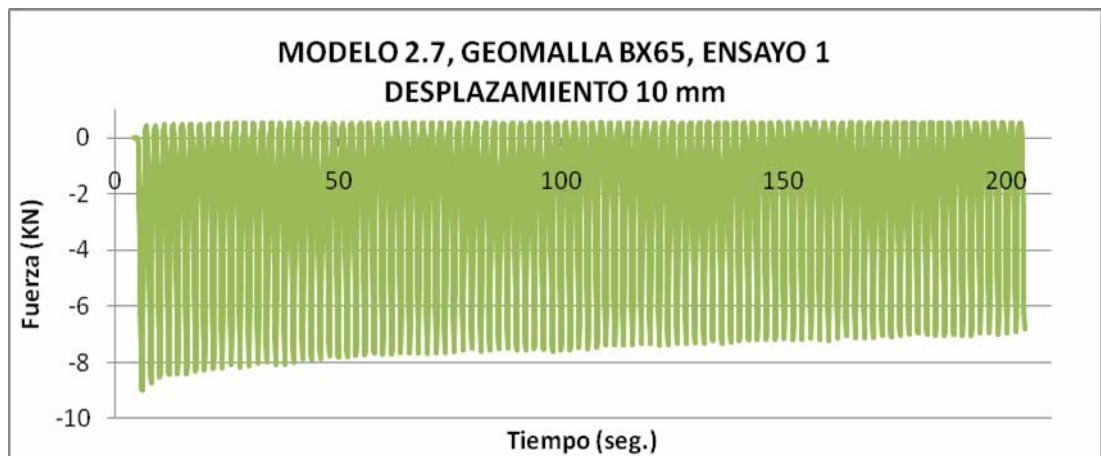


Figura 62. Modelo 2.7, ensayo 1, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

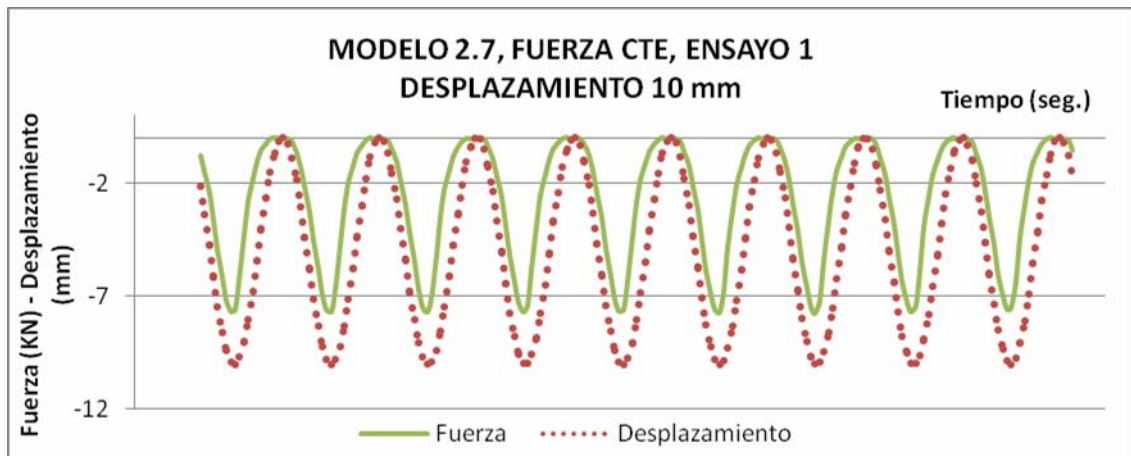


Figura 63. Modelo 2.7, ensayo 2, desplazamiento 10 mm

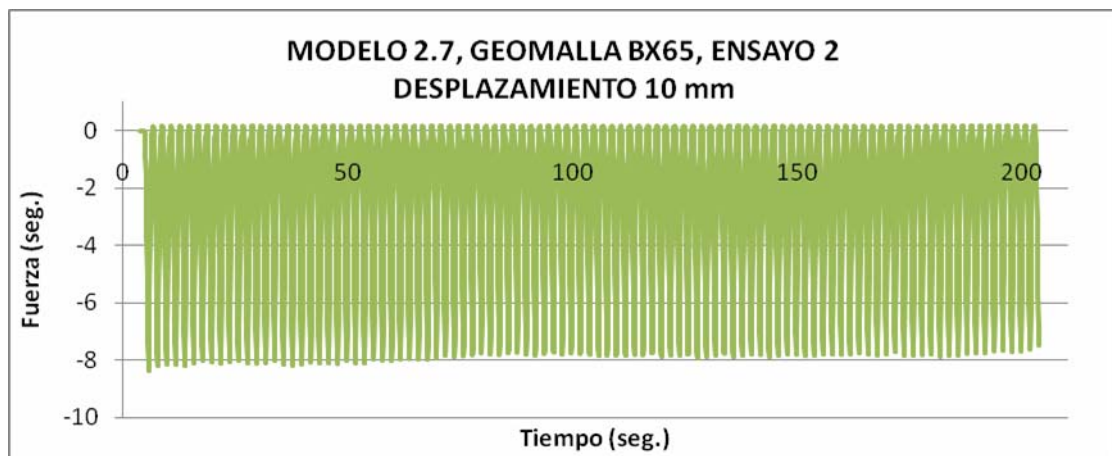


Figura 64. Modelo 2.7, ensayo 2, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

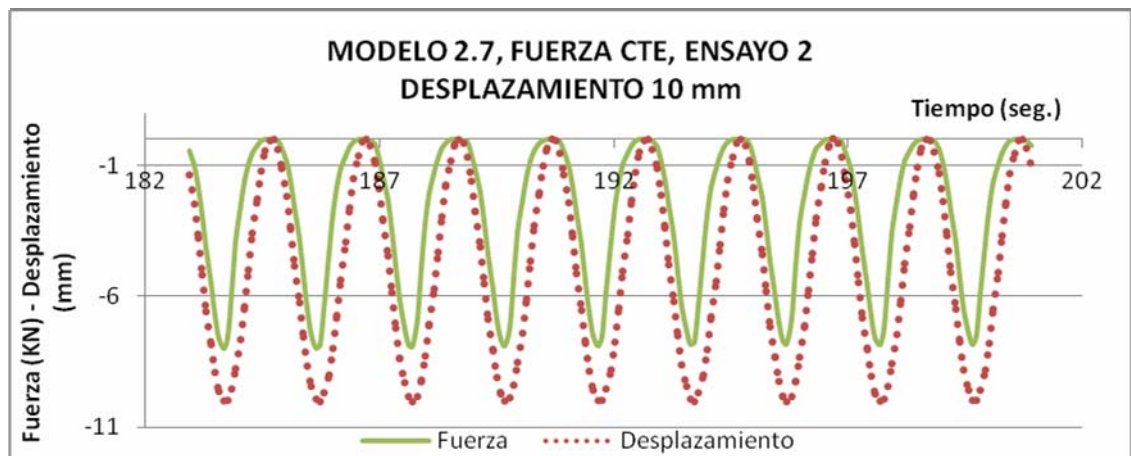


Figura 65. Modelo 2.8, ensayo 1, desplazamiento 10 mm

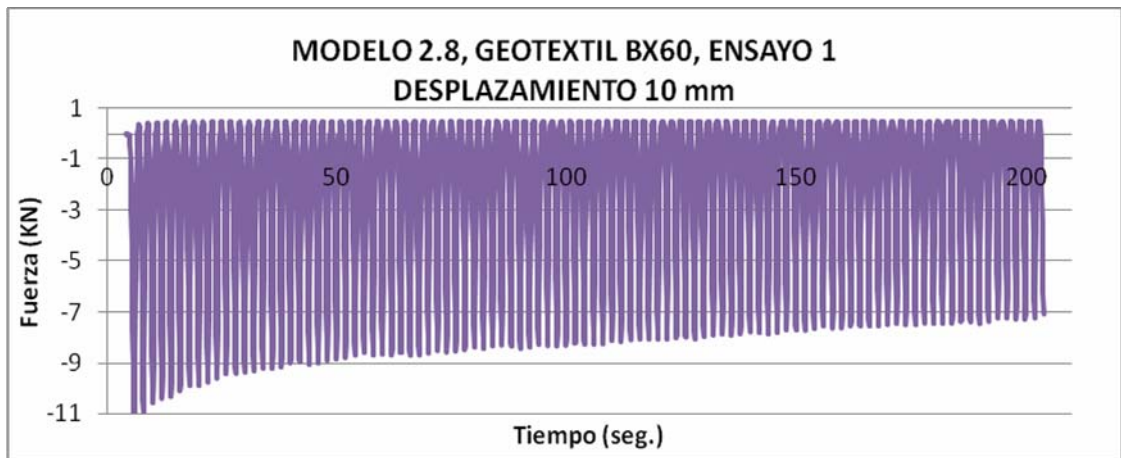


Figura 66. Modelo 2.8, ensayo 1, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

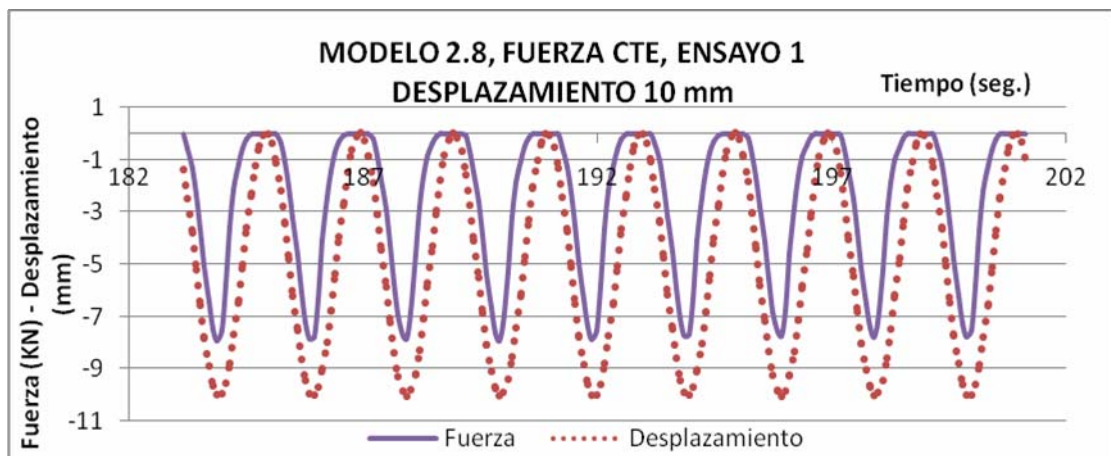


Figura 67. Modelo 2.8, ensayo 2, desplazamiento 10 mm

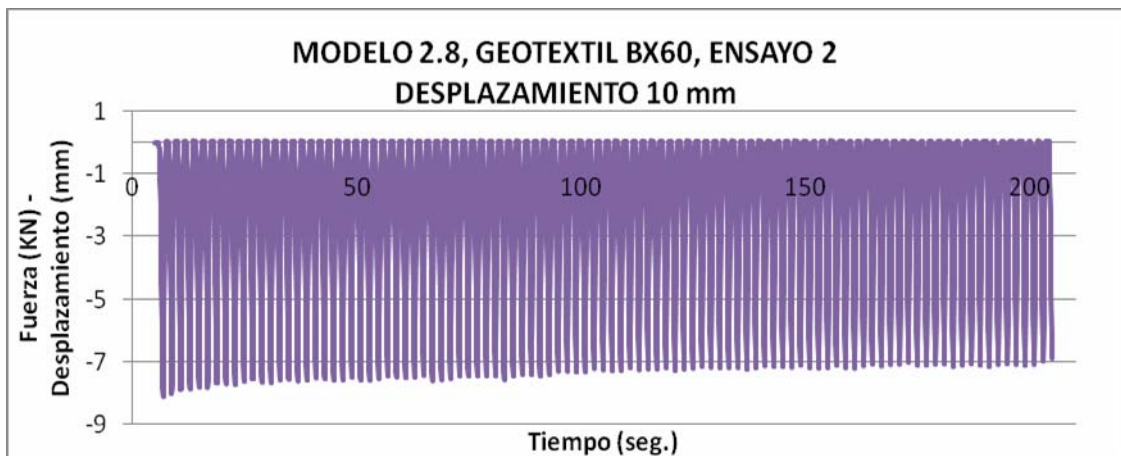


Figura 68. Modelo 2.8, ensayo 2, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

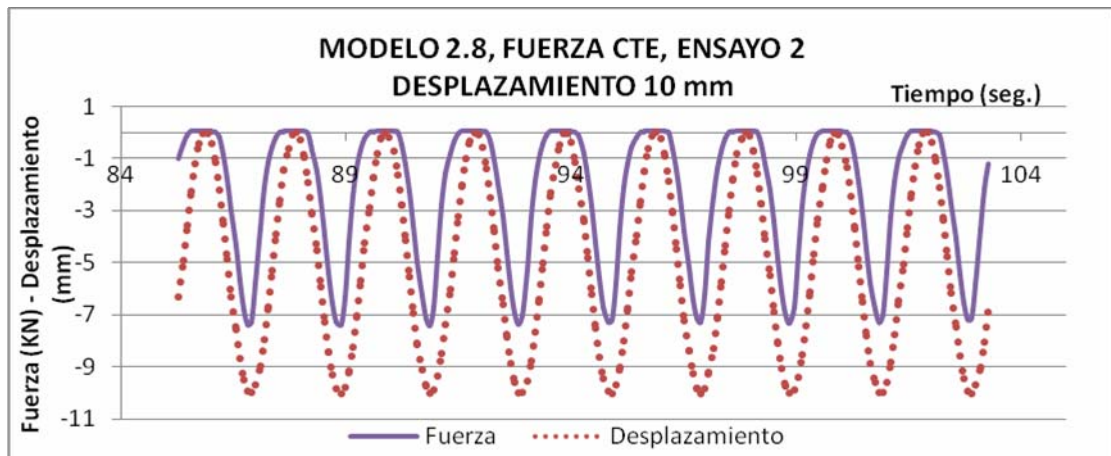


Figura 69. Modelo 2.9, ensayo 1, desplazamiento 10 mm

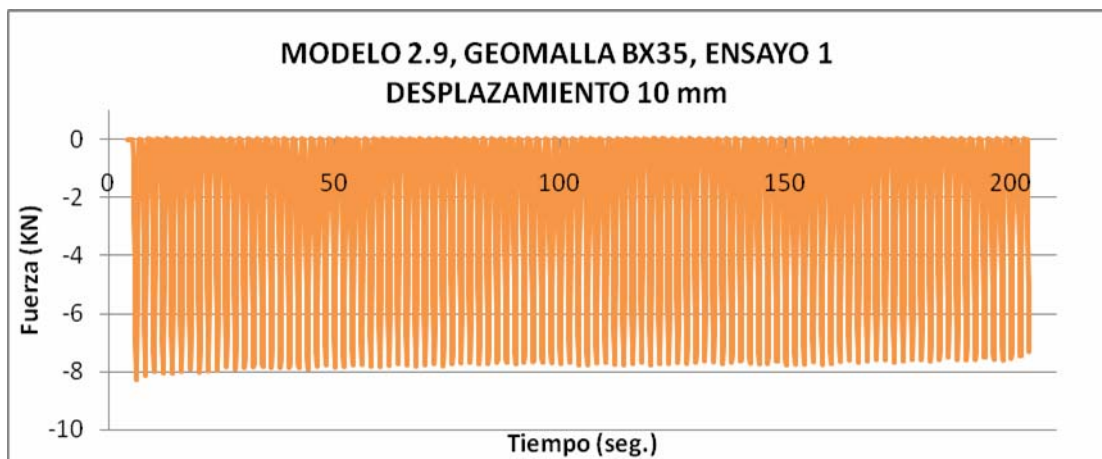


Figura 70. Modelo 2.9, ensayo 1, fuerza cte., desplazamiento 10 mm

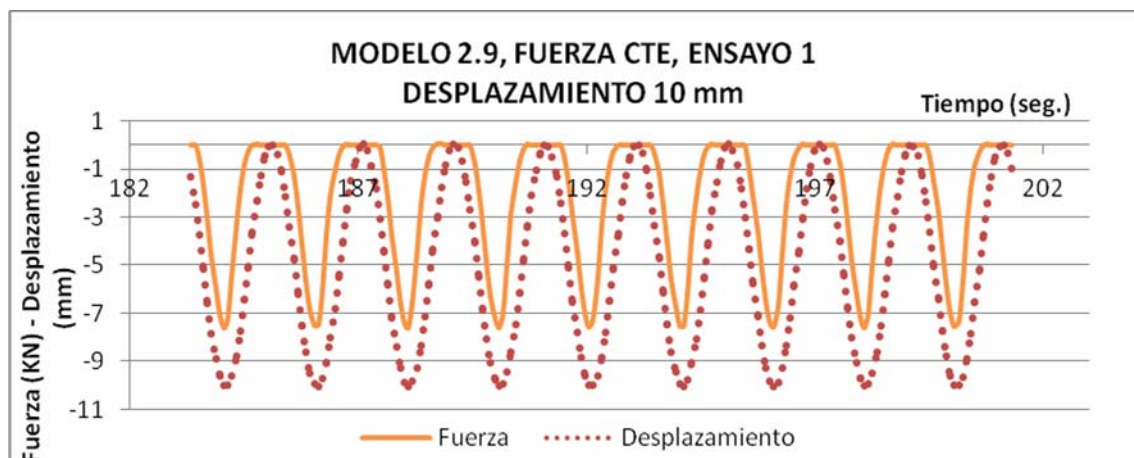


Figura 71. Modelo 2.9, ensayo 2, desplazamiento 10 mm

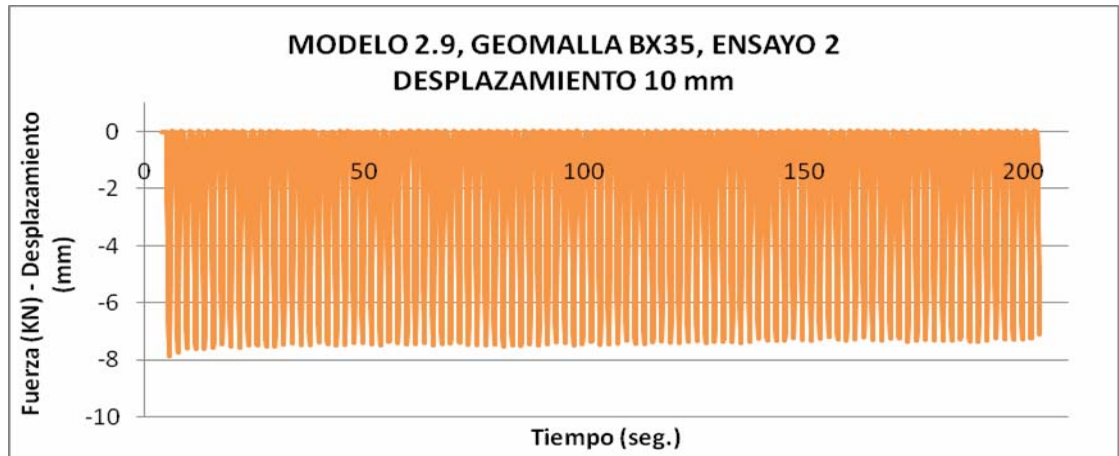
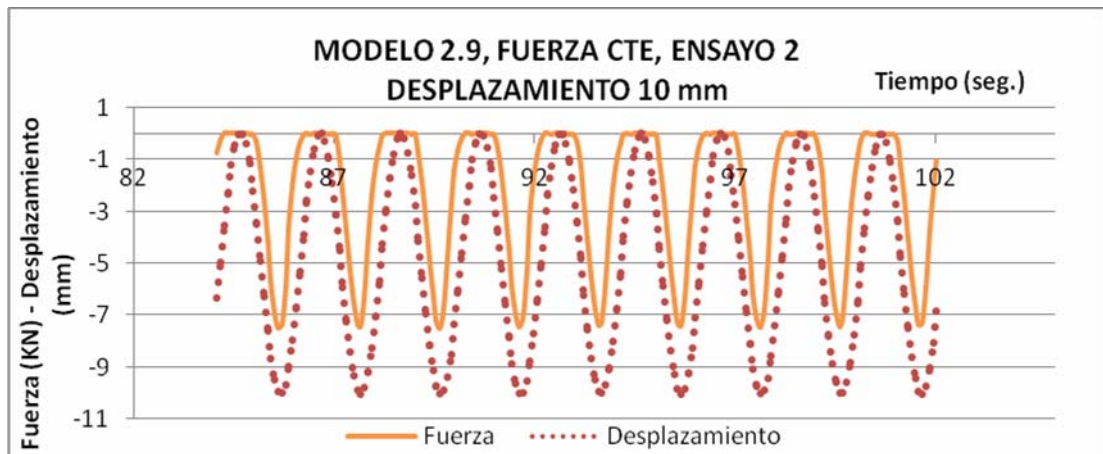


Figura 72. Modelo 2.9, ensayo 2, fuerza cte., desplazamiento 10 mm



ANEXO C

Este anexo contiene las gráficas Fuerza Vs Desplazamiento y Fuerza Vs Tiempo de los ensayos de los modelos del 3.1 al 3.9. De cada modelo se realizaron cinco ensayos, de los cuales solo se muestran dos, cada uno con una ampliación de la zona de comportamiento constante.

Todas las gráficas tienen por Fuente: Autores del proyecto.

Figura 73. Modelo 3.1, Sin geosintético, Ensayo 1, Desplazamiento 10 mm

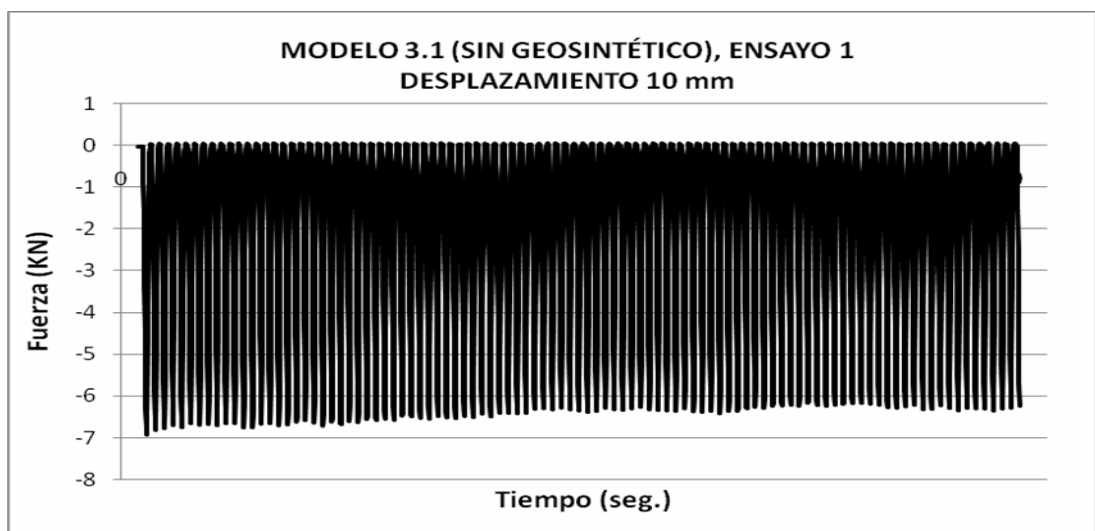


Figura 74. Modelo 3.1, Sin geosintético, Ensayo 1, zona cte., Desplazamiento 10 mm

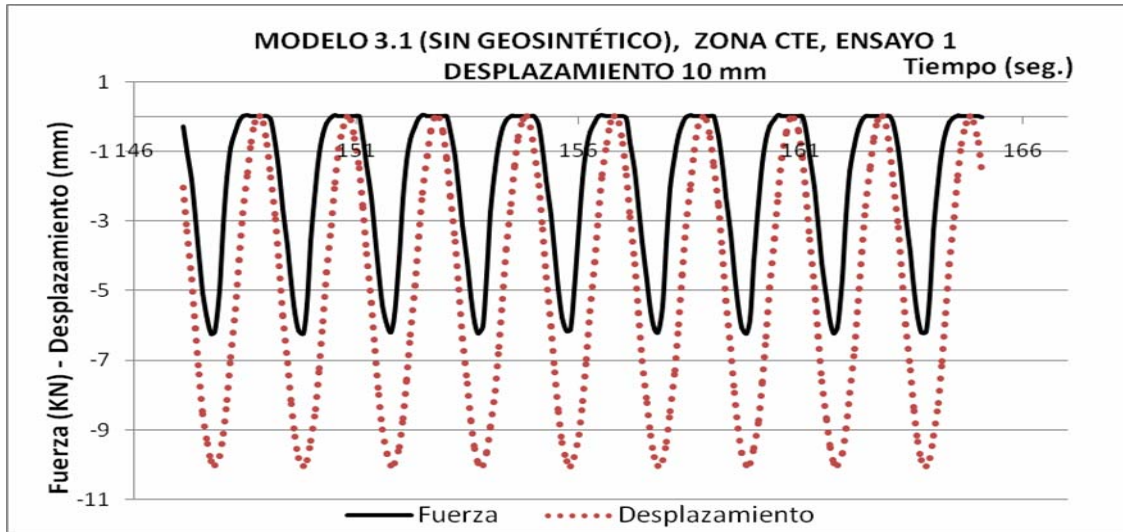


Figura 75. Modelo 3.1, Sin geosintético, Ensayo 2, Desplazamiento 10 mm

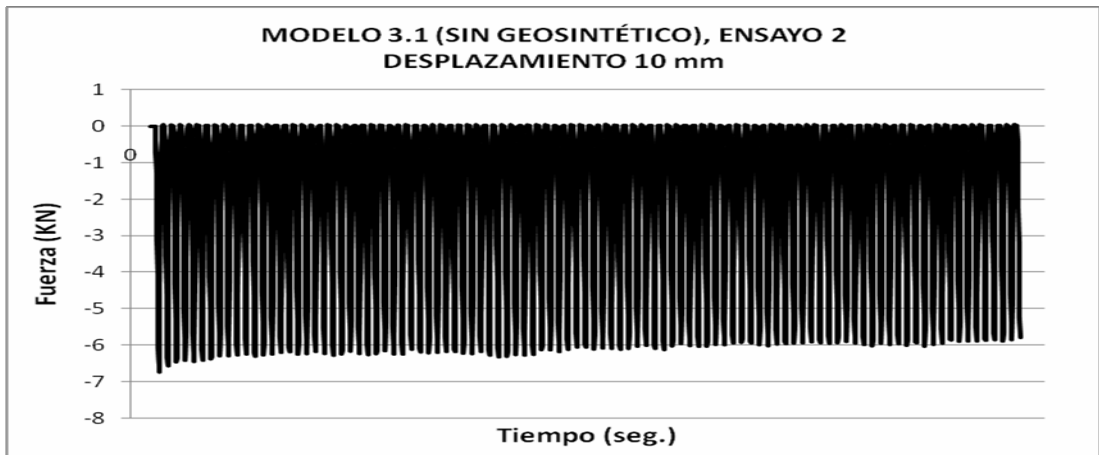


Figura 76. Modelo 3.2, Sin geosintético, Ensayo 2, zona cte., Desplazamiento 10 mm

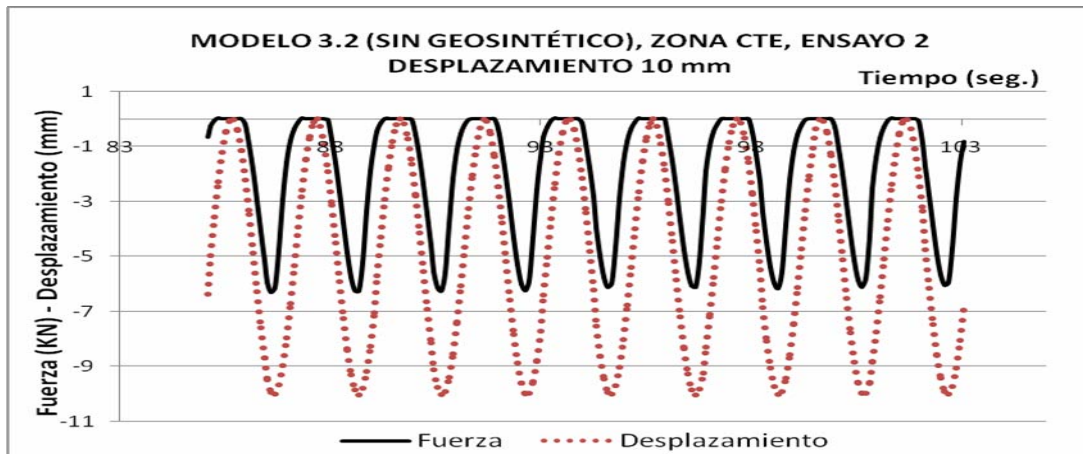


Figura 77. Modelo 3.2, ensayo 1, fuerza 6.2 KN

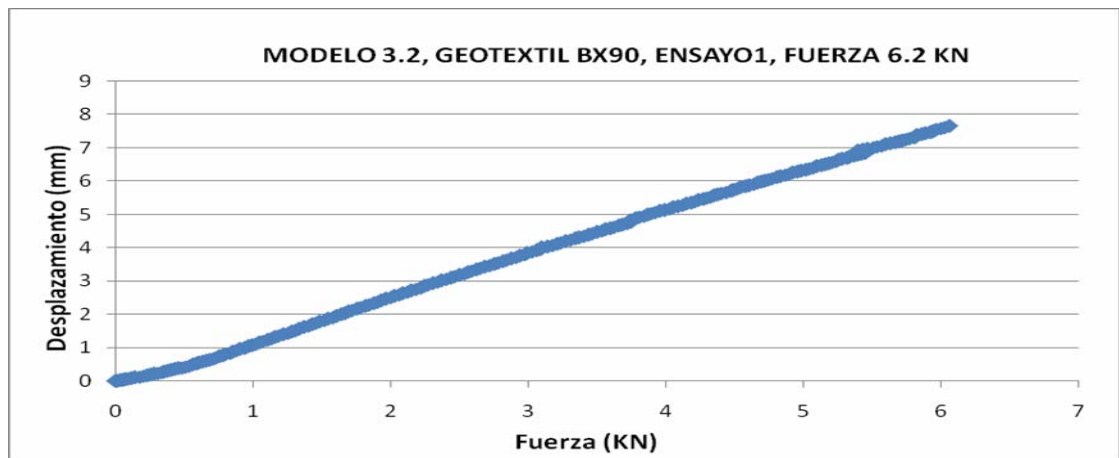


Figura 78. Modelo 3.2, ensayo 2, fuerza 6.2 KN

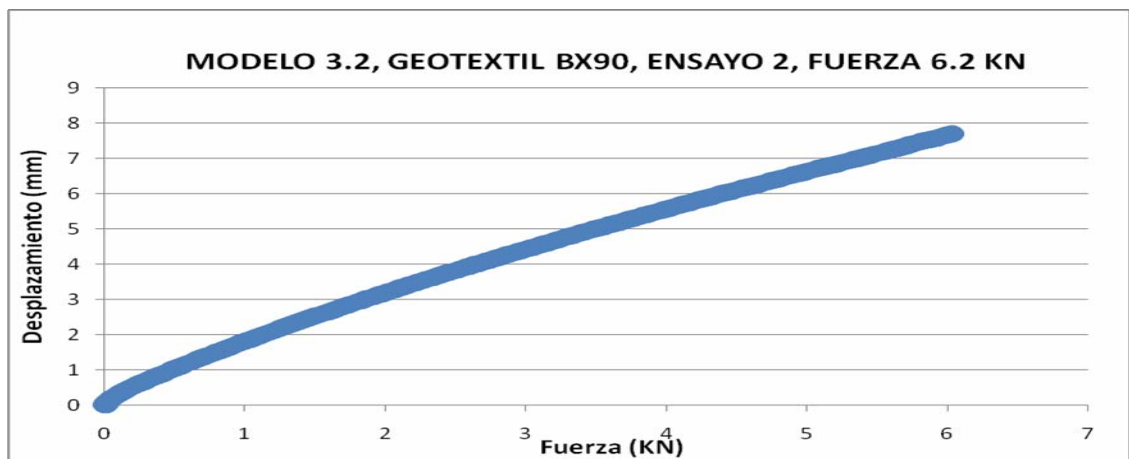


Figura 79. Modelo 3.3, ensayo 1, fuerza 6.2 KN

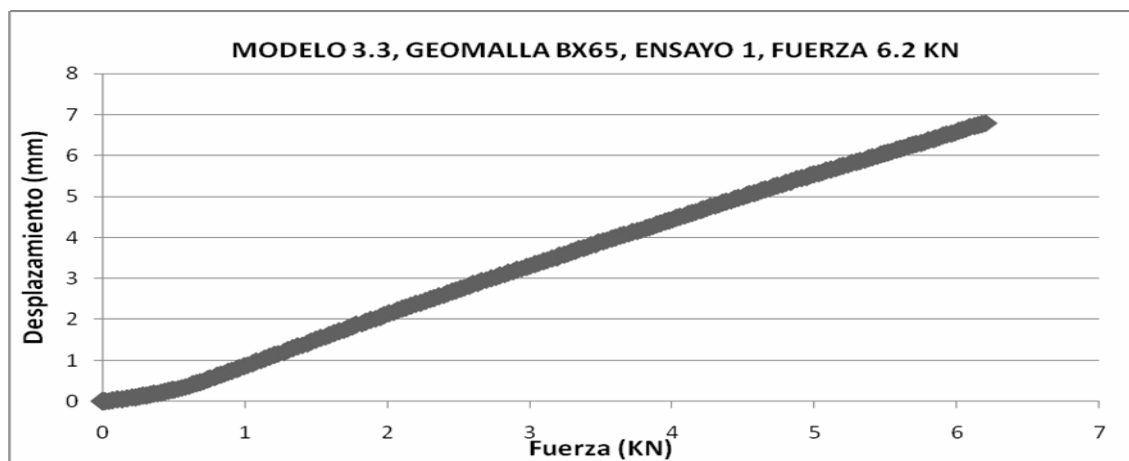


Figura 80. Modelo 3.3, ensayo 2, fuerza 6.2 KN

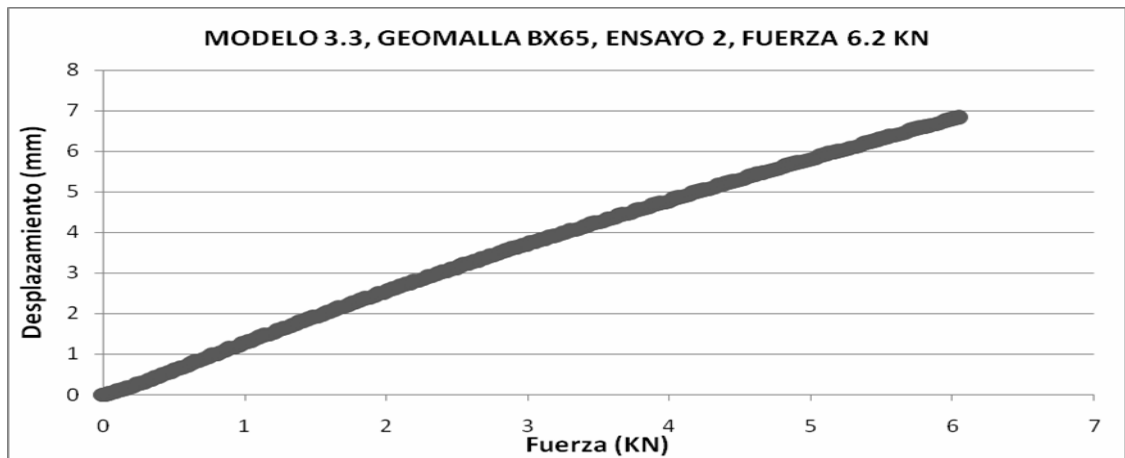


Figura 81. Modelo 3.4, ensayo 1, fuerza 6.2 KN

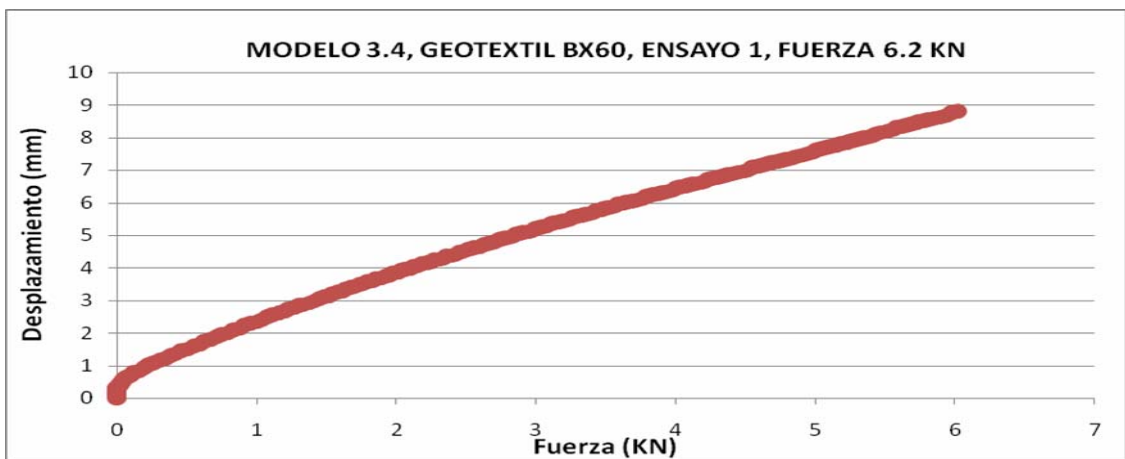


Figura 82. Modelo 3.4, ensayo 2, fuerza 6.2 KN

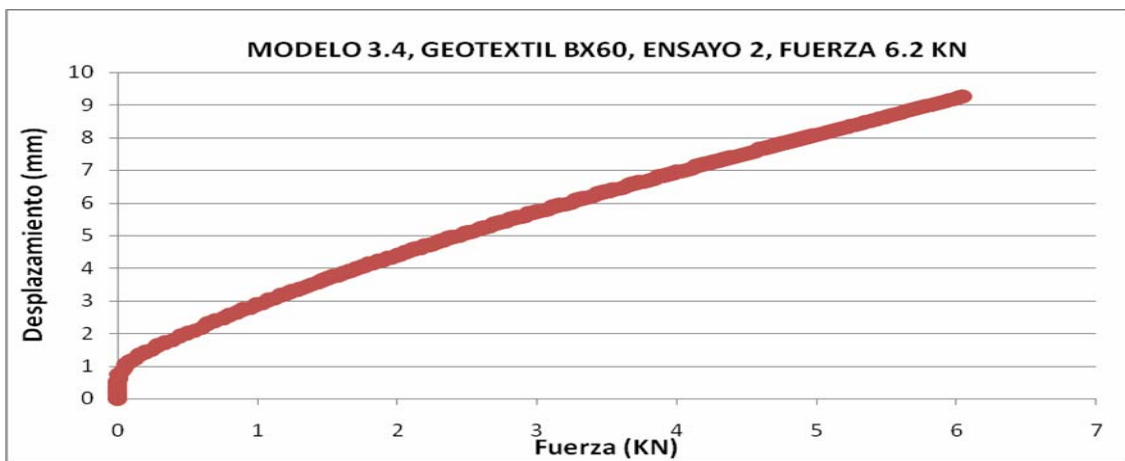


Figura 83. Modelo 3.5, ensayo 1, fuerza 6.2 KN

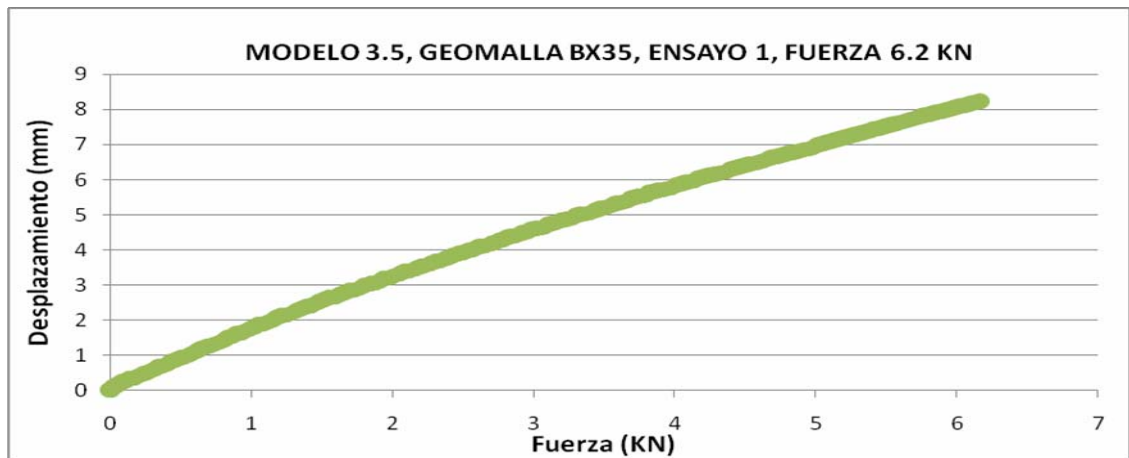


Figura 84. Modelo 3.5, ensayo 2, fuerza 6.2 KN

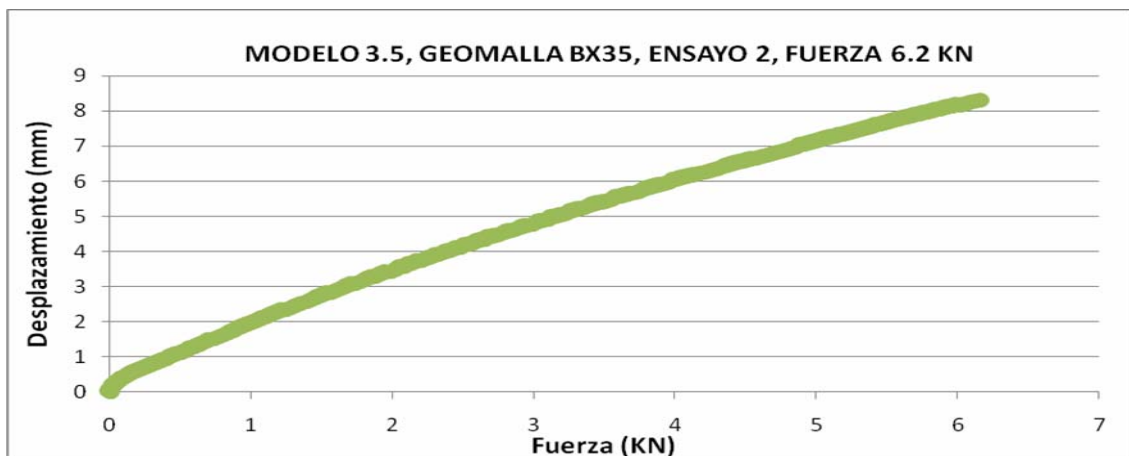


Figura 85. Modelo 3.6, ensayo 1, Desplazamiento 10 mm

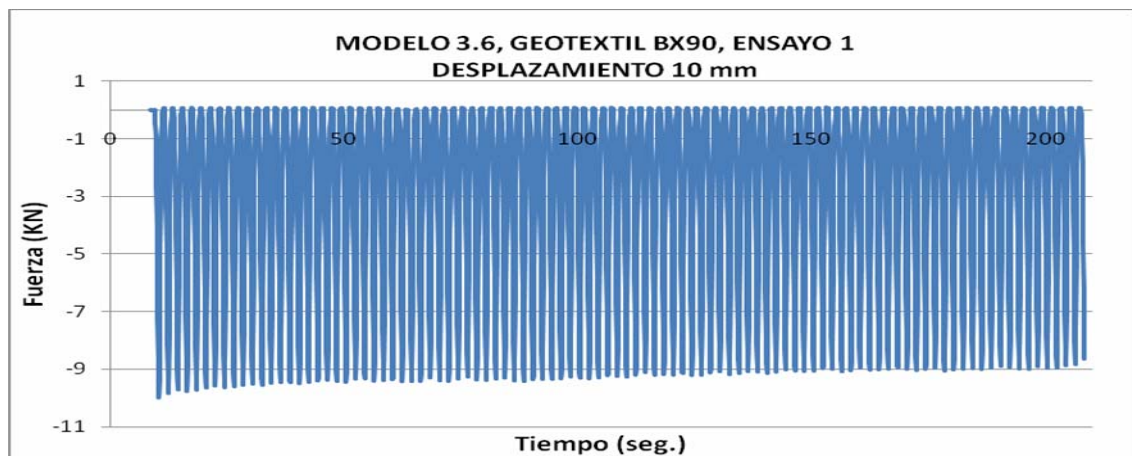


Figura 86. Modelo 3.6, ensayo 1, zona cte, Desplazamiento 10 mm

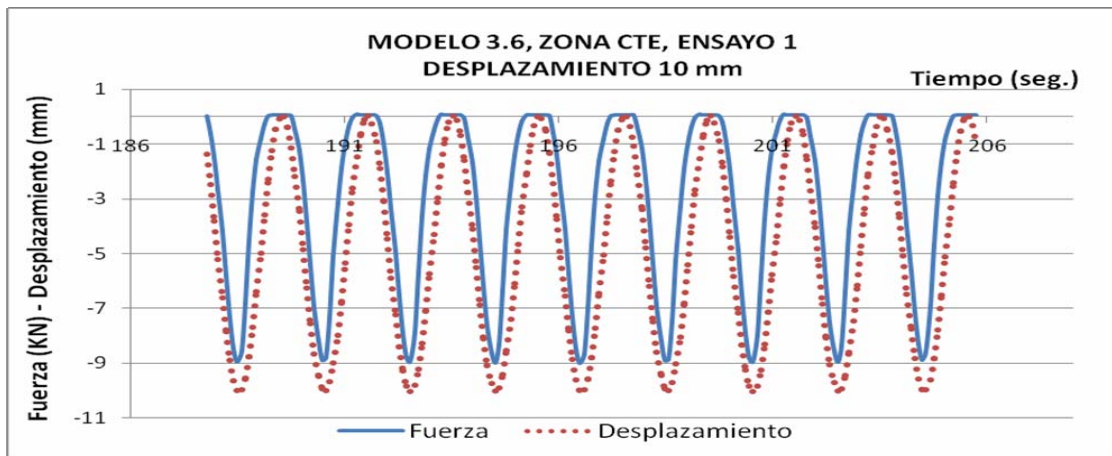


Figura 87. Modelo 3.6, ensayo 2, Desplazamiento 10 mm

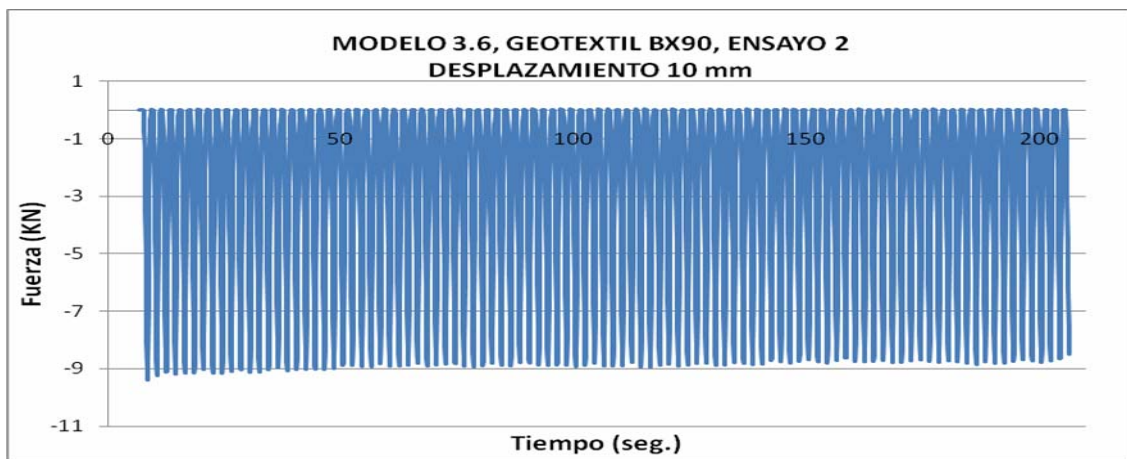


Figura 88. Modelo 3.6, ensayo 2, zona cte, Desplazamiento 10 mm

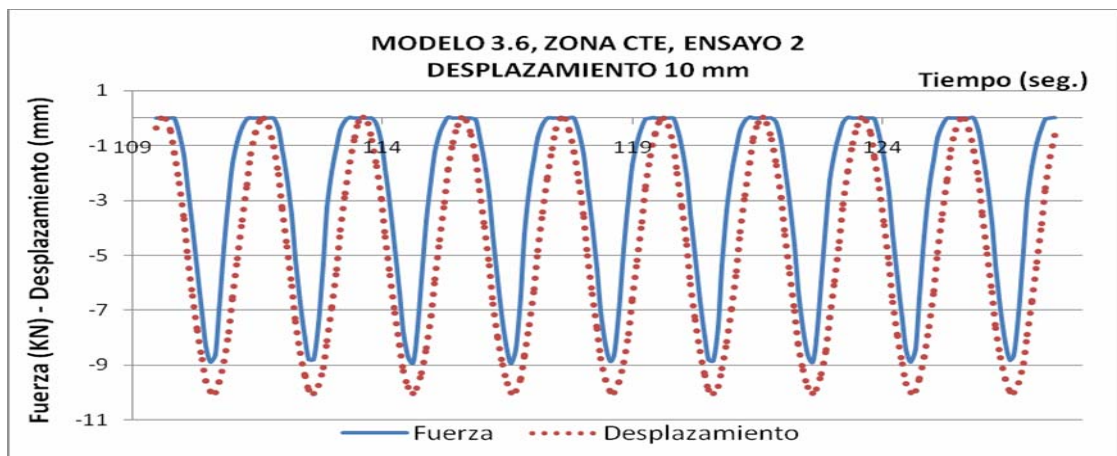


Figura 89. Modelo 3.7, ensayo 1, Desplazamiento 10 mm

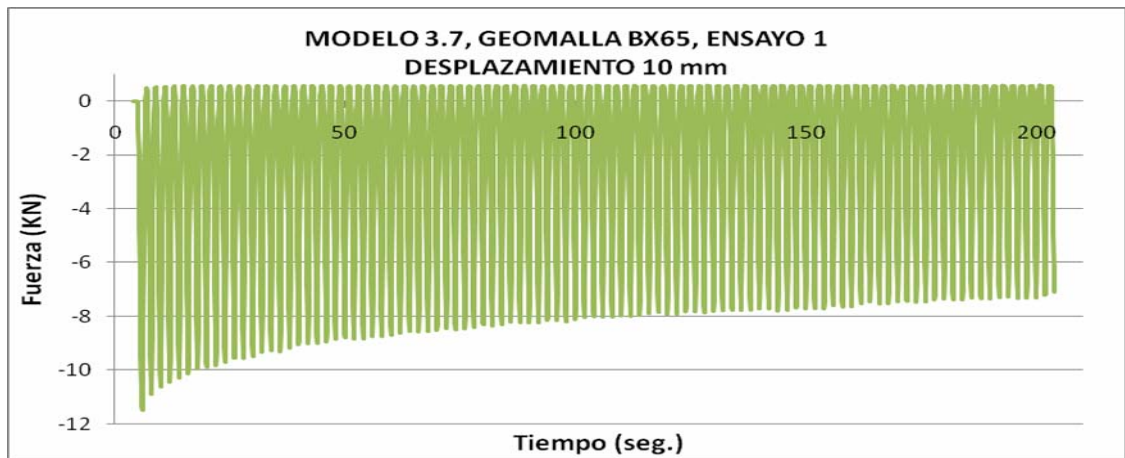


Figura 90. Modelo 3.7, ensayo 1, zona cte, Desplazamiento 10 mm

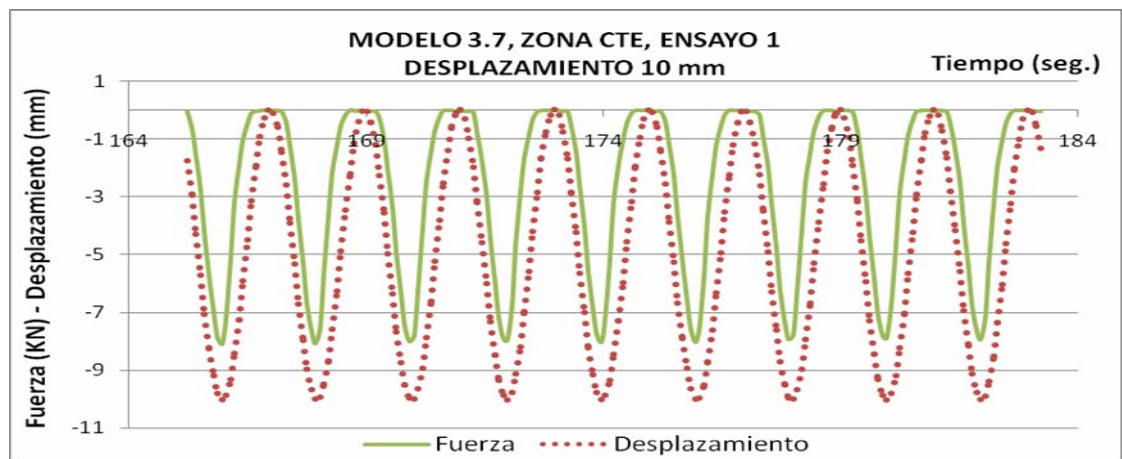


Figura 91 Modelo 3.7, ensayo 2, Desplazamiento 10 mm

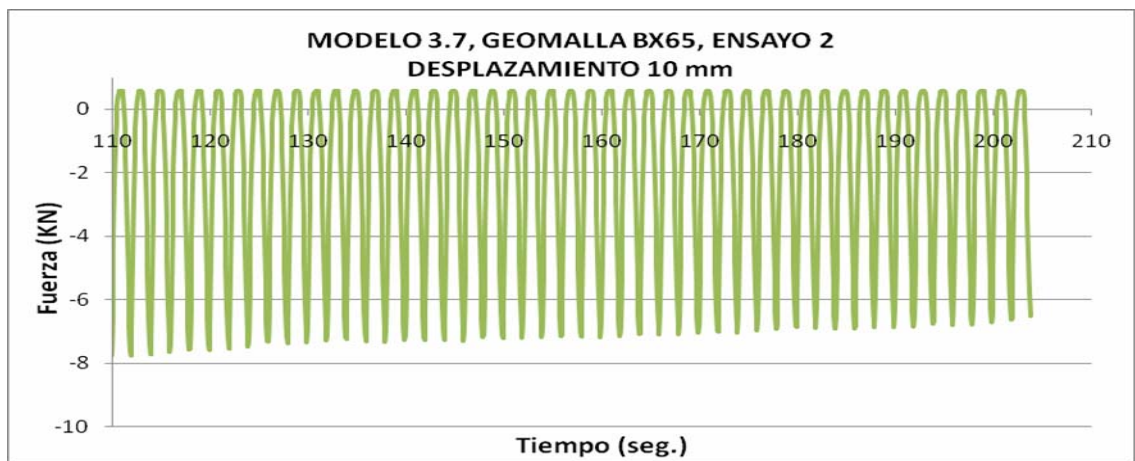


Figura 92. Modelo 3.7, ensayo 2, zona cte, Desplazamiento 10 mm

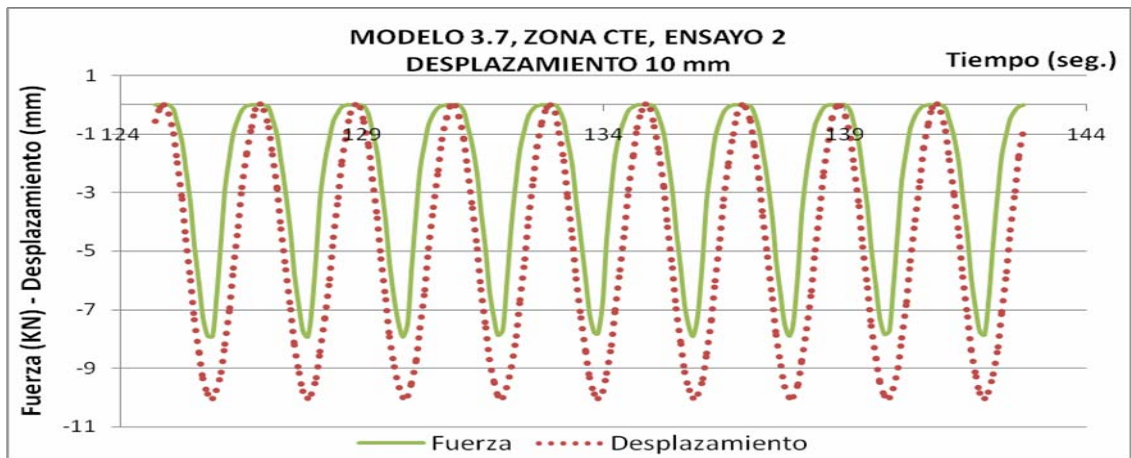


Figura 93. Modelo 3.8, ensayo 1, Desplazamiento 10 mm

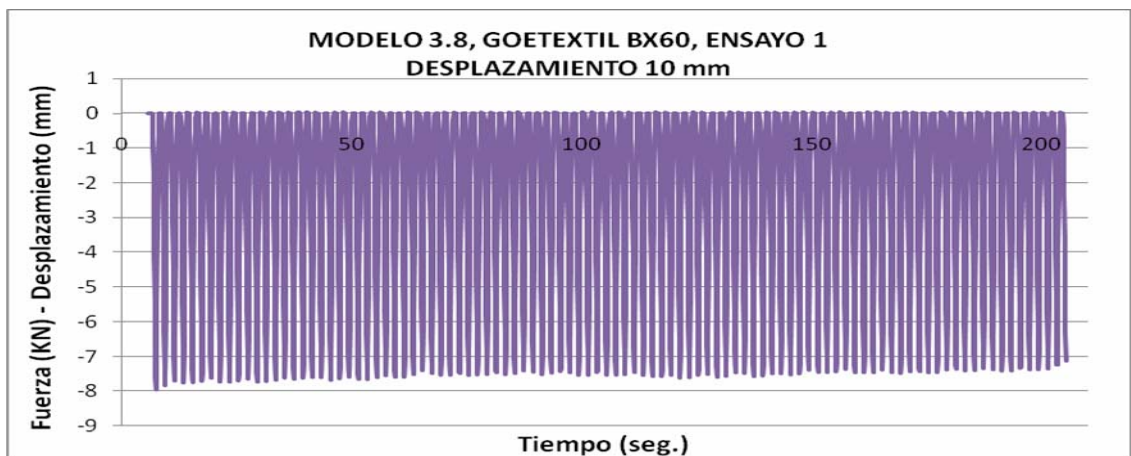


Figura 94. Modelo 3.8, ensayo 1, zona cte, Desplazamiento 10 mm

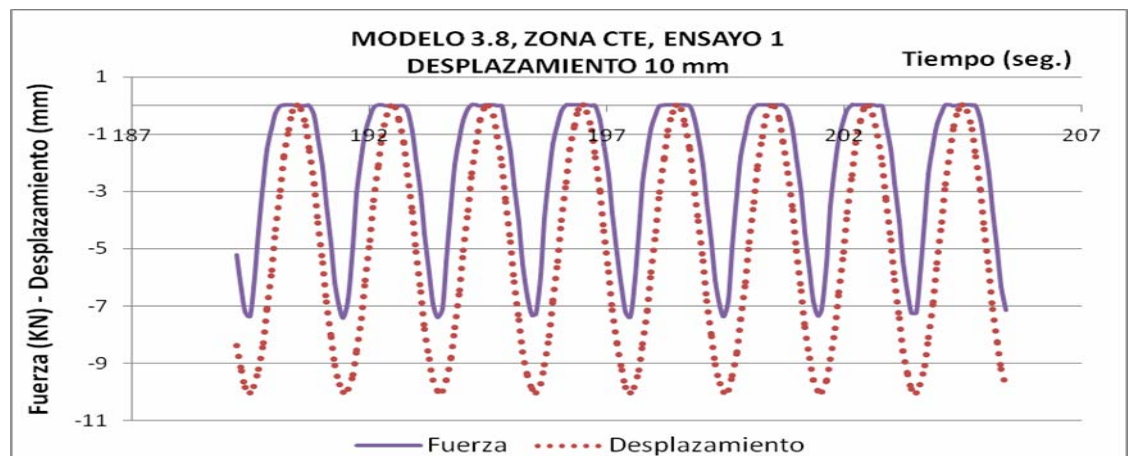


Figura 95. Modelo 3.8, ensayo 2, Desplazamiento 10 mm

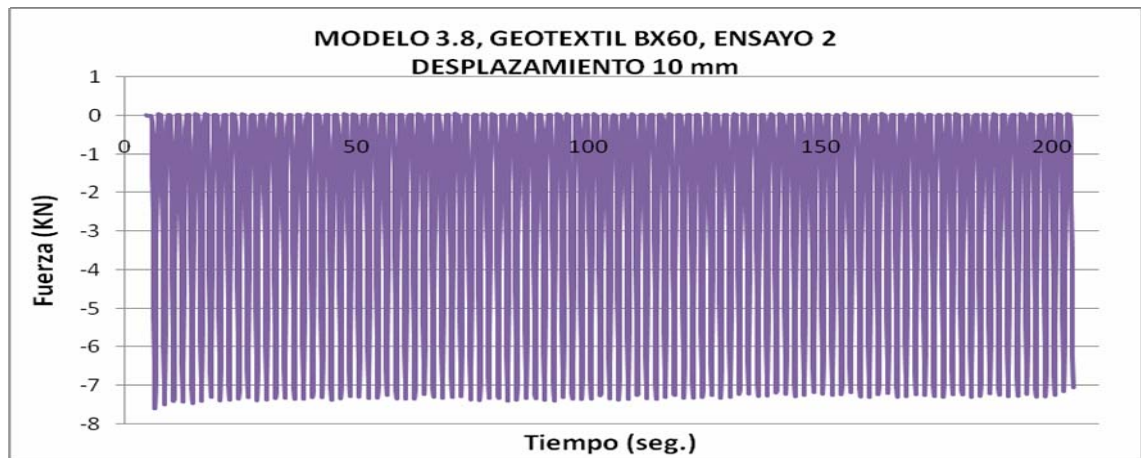


Figura 96. Modelo 3.8, ensayo 2, zona cte, Desplazamiento 10 mm

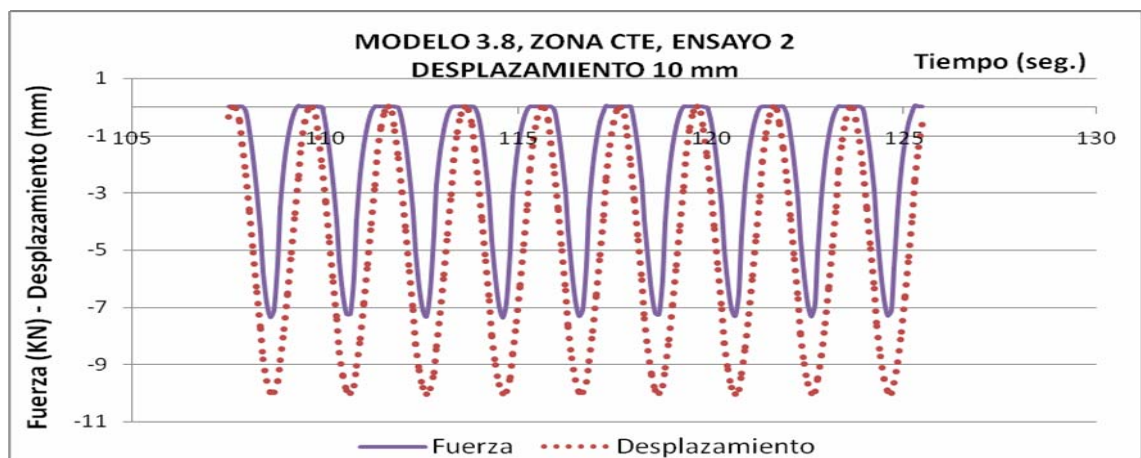


Figura 97. Modelo 3.9, ensayo 1, Desplazamiento 10 mm

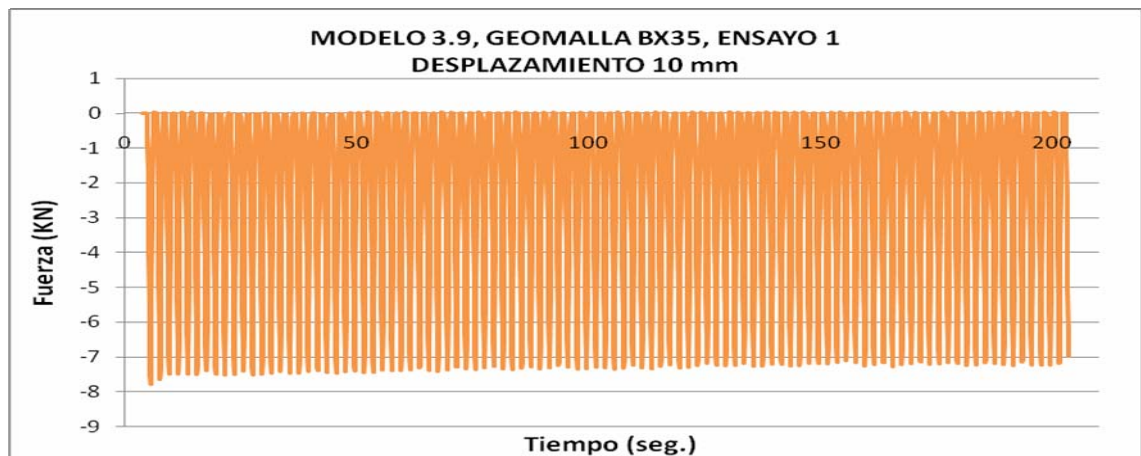


Figura 98. Modelo 3.9, ensayo 1, zona cte, Desplazamiento 10 mm

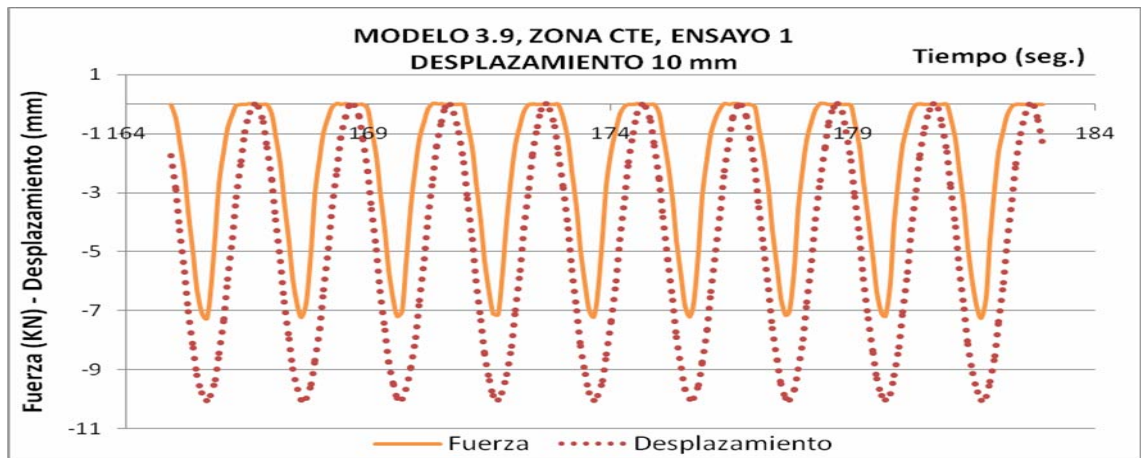


Figura 99. Modelo 3.9, ensayo 2, Desplazamiento 10 mm

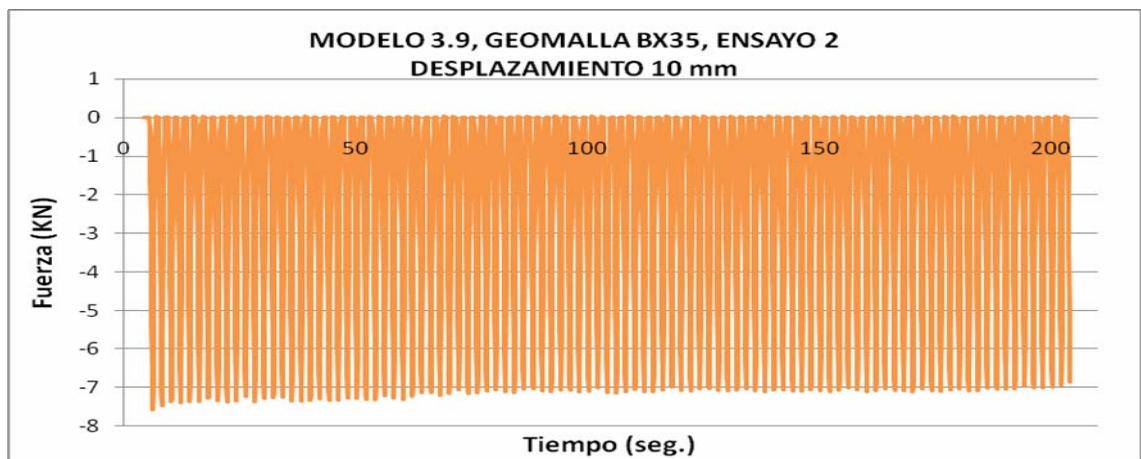


Figura 100. Modelo 3.9, ensayo 2, zona cte, Desplazamiento 10 mm

