

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA CENTRO DE POSGRADOS

**“Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante,
con el Uso Combinado de una Geomalla y un Geotextil”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:
Master en Ingeniería en Vialidad y
Transportes**

AUTOR: Ing. Andrés Sebastián Bustamante Noboa

DIRECTOR: Ing. Jaime Asdrúbal Bojorque Iñeguez, PhD

**CUENCA, ECUADOR
2016**



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de cumplir uno de mis tantos sueños. A la/os Ingenieros Jaime Bojorque, Director de Tesis, por compartir sus conocimientos y dirigir el desarrollo de este proyecto; Jaime Guzmán, Director de la maestría, por abrirnos las puertas a los profesionales que tenemos afinidad con esta rama de la Ingeniería y de esta manera demostrar nuestras capacidades y habilidades en la práctica profesional; Karla Santacruz quien oportuna y decididamente supo brindarme su apoyo, con su preparación y conocimientos.

Andrés Bustamante Noboa



DEDICATORIA

A mis padres y hermana quienes son parte fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional brindado durante el tiempo que he destinado a este proyecto, objetivo que demandó profundo esfuerzo para construirlo y concluirlo.

Andrés Bustamante Noboa



RESUMEN

En el presente estudio se determinó el nivel de resistencia que puede proporcionar la colocación simultáneamente un geotextil y una geomalla en la interface capa granular-subrasante como estructura de reforzamiento. Además, se estableció una comparación con la resistencia que puede suministrar únicamente la aplicación de un geotextil, una geomalla y sin ninguna clase de reforzamiento.

De este modo, se evaluó la estructura del pavimento que se está colocando en el proyecto de mejoramiento de la carretera Sigsig-Gualaquiza, tramo: Matanga-Gualaquiza, en la Provincia de Morona Santiago, que en este momento se encuentra en ejecución y en el cual se está aplicando esta nueva técnica constructiva.

Para alcanzar los objetivos planteados, se realizaron ensayos en laboratorio que permitieron obtener las curvas esfuerzo/deformación para cada uno de los escenarios analizados. Posteriormente, se simuló el comportamiento alcanzado en laboratorio a través de modelos numéricos evaluados en el Software Plaxis 8.6 (Elementos Finitos), que dieron como resultado los esfuerzos en la interface capa granular-subrasante y la consecuente determinación de los factores de reforzamiento.

Las conclusiones del estudio demuestran una reducción significativa en el espesor de la capa superior a la subrasante y además confirmaron que no existe un mejoramiento representativo cuando se utiliza un geotextil y una geomalla simultáneamente.

Se presentan algunas recomendaciones y sugerencias a corto y mediano plazo para mejorar el desempeño de estos materiales en la construcción, así como incluir en la normativa ecuatoriana un método de diseño que permita sustentar el uso de estos elementos en la ingeniería vial.

Palabras claves:

Geotextil
Geomalla
Capa granular
Subrasante
Estructura del pavimento
Factores de reforzamiento



ABSTRACT

In the present study was determined the resistance level that can provide simultaneously placing a geotextile and geogrid within subgrade-granular layer interface, as a reinforcing structure. Furthermore, a comparison with the resistance which can supply only application of a geotextile, a geogrid and without any kind of reinforcement is established.

Thus, the pavement structure that is being placed on the project of improving the Sigsig-Gualaquiza road, was evaluated on the Matanga-Gualaquiza section, in the province of Morona Santiago, which at this time the project is running and is being implemented this new construction technique.

To achieve the objectives, laboratory tests that allowed to obtain stress / strain curves for each of the scenarios analyzed were made. Subsequently, the performance achieved in the laboratory was simulated through numerical models in the Software Plaxis 8.6 (Finite Elements), which resulted efforts granular layer-subgrade interface and the consequent determination of strengthening factors.

The findings of the study demonstrate a significant reduction in the thickness of the upper layer over subgrade, also they confirmed that there is no representative improvement when a geotextile and geogrid are used simultaneously.

Some recommendations and suggestions in a short and medium term to improve the performance of these materials in the construction are presented, including some design method that can be implemented in the Ecuadorian legislation that will support the use of these elements in road engineering.

Keywords:

Geotextile
Geogrid
Granular layer
Subgrade
Pavement structure
Strengthening factors



TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 INTRODUCCIÓN	15
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 GEOTEXTILES.....	19
2.1.1 Separación.....	19
2.1.2 Filtración.....	20
2.1.3 Drenaje.....	21
2.1.4 Reforzamiento.....	21
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES	22
2.2.1 Según el método de fabricación.....	22
2.2.1.1 Geotextiles Tejidos	22
2.2.1.2 Geotextiles No Tejidos.....	23
2.2.2 Según su composición.....	23
2.2.2.1 Fibras naturales.....	23
2.2.2.2 Fibras artificiales.....	24
2.2.2.3 Fibras sintéticas.....	24
2.3 GEOMALLAS COEXTRUÍDAS.....	24
2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS GEOMALLAS	26
2.4.1 Geomallas Coextruidas Mono-Orientadas	26
2.4.2 Geomallas Coextruidas Bi-Orientadas	27



2.5 MECANISMO DE FALLA EN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO	28
2.6 MÉTODOS DE DISEÑO SELECCIONADOS	29
2.6.1 Métodos basados en el modo del control de falla.	30
2.6.2 Métodos considerando el soporte de la membrana.	31
CAPÍTULO III: VALIDACIÓN DEL ENSAYO	40
3.1 MATERIALES UTILIZADOS PARA EL ENSAYO.....	41
3.2 CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO.	47
CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN LABORATORIO, MODELACIÓN Y RESULTADOS ...	57
4.1 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE SOBRE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO BAJO CARGA MONOTÓNICA.	57
4.2 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE LOS MATERIALES, ANTES DE LA MODELACIÓN.....	61
4.2.1 Parámetros del material de subrasante	62
4.2.2 Parámetros de la Capa Base	69
4.3 MODELACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	74
4.4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN.....	85
4.4.1 DEFORMACIONES	85
4.4.2 ESFUERZOS EFECTIVOS	96
4.4.3 COEFICIENTE DE REFORZAMIENTO	104
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS	114



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los ensayos del suelo de subrasante	44
Tabla 2. Resultados de los ensayos del material granular.....	45
Tabla 3. Propiedades geotextil no tejido NT-1800	46
Tabla 4. Geomalla Biaxial BX-1200	47
Tabla 5. Composición del tráfico año 2015, tramo Matanga - Gualaquiza.....	47
Tabla 6. Cálculo Factor Camión Global	51
Tabla 7. Resultados de esfuerzos/deformaciones a varias profundidades (programa Alize).	53
Tabla 8. Lecturas de ensayo a compresión simple bajo una carga monotónica.....	59
Tabla 9. Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados.....	65
Tabla 10. Constantes elásticas de diferentes suelos.	66
Tabla 11. Propiedades de depósitos.....	67
Tabla 12. Resumen de parámetros de la subrasante	68
Tabla 13. Propiedades de resistencia de diferentes tipos de suelos.	71
Tabla 14. Ángulos de fricción para arenas y limos	72
Tabla 15. Variación del coeficiente de presión lateral de tierras.....	73
Tabla 16. Resumen de parámetros de la capa de base	74
Tabla 17. Factor de reducción de esfuerzos para distintas interfaces	80
Tabla 18. Deformaciones verticales.....	95
Tabla 19. Punto de intersección curva deformada/no deformada.....	95
Tabla 20. Esfuerzos efectivos máximos.....	104
Tabla 21. Factores de reforzamiento	105
Tabla 22. Rediseño estructura de pavimento proyecto Sigsig-Gualaquiza.....	109



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concepto del geotextil como un separador	20
Figura 2. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos	22
Figura 3. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles no tejidos	23
Figura 4. Geotextil de fibra de coco.....	24
Figura 5. Geomalla coextruída mono-orientada	27
Figura 6. Geomalla coextruída Bi-orientada	27
Figura 7. Falla por capacidad de carga en suelos cohesivos	29
Figura 8. Deformación de la capa base y subrasante, según Barenberg	32
Figura 9. Geometría asumida por Giroud y Noiray: a) distribución de carga; b) geotextil deformado	36
Figura 10. CBR de laboratorio en los suelos de subrasante. Tramo Matanga-Gualaquiza	42
Figura 11. Curva granulométrica del material triturado y límites granulométricos (normativa ecuatoriana)	45
Figura 12. Tabla nacional de Pesos y Dimensiones.....	48
Figura 13. Área equivalente	48
Figura 14. Equipo para la prueba de compresión simple	49
Figura 15. Influencia de la carga (esfuerzos) de una rueda dual (5.5 ton)	53
Figura 16. Influencia de la carga (deformación) de una rueda dual (5.5 ton)	54
Figura 17. Diagrama de bulbos de presión.....	55
Figura 18. Molde de ensayo	56
Figura 19. Curvas carga/penetración de las estructuras de pavimento ensayadas bajo una carga monotónica.....	61
Figura 20. Opciones generales para la simulación del ensayo sin reforzamiento	75
Figura 21. Diagrama de un modelo axisimétrico	76
Figura 22. Posición de los nodos dentro de un elemento del suelo	76
Figura 23. Opciones generales, pestaña dimensiones.....	77
Figura 24. Propiedades generales del suelo	78
Figura 25. Parámetros del suelo.	79



Figura 26. Interfaces del suelo	79
Figura 27. Parámetros del pistón	81
Figura 28. Desplazamiento prescripto	81
Figura 29. Semiplano de la muestra de pavimento	82
Figura 30. Etapa de cálculo, datos generales	83
Figura 31. Etapa de cálculo, parámetros	84
Figura 32. Etapa de cálculo	84
Figura 33. Nodos a analizar de la muestra	85
Figura 34. Muestra deformada (sin reforzamiento)	86
Figura 35. Perfil de deformación (sin reforzamiento H=28 cm)	87
Figura 36. Perfil de deformación (sin reforzamiento H=28 cm)	88
Figura 37. Muestra deformada (con geotextil)	88
Figura 38. Perfil de deformación (con geotextil H=28 cm)	89
Figura 39. Perfil de deformación (con geotextil H=24 cm)	90
Figura 40. Muestra deformada (con geotextil y geomalla)	91
Figura 41. Perfil de deformación (con geotextil y geomalla H=28 cm)	92
Figura 42. Perfil de deformación (con geotextil y geomalla H=24 cm)	92
Figura 43. Muestra deformada (con geomalla)	93
Figura 44. Perfil de deformación (con geomalla H=28 cm)	94
Figura 45. Perfil de deformación (con geomalla H=24 cm)	94
Figura 46. Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (sin reforzamiento)	96
Figura 47. Esfuerzos efectivos en la subrasante (sin reforzamiento)	97
Figura 48. Esfuerzos efectivos en la capa base (sin reforzamiento)	98
Figura 49. Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (con geotextil)	98
Figura 50. Esfuerzos efectivos en la subrasante (con geotextil)	99
Figura 51. Esfuerzos efectivos en la capa base (con geotextil)	100
Figura 52. Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (con geotextil y geomalla)	100
Figura 53. Esfuerzos efectivos en la subrasante (con geotextil y geomalla)	101



Figura 54. Esfuerzos efectivos en la capa base (con geotextil y geomalla)	102
Figura 55. Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (con geomalla). 102	
Figura 56. Esfuerzos efectivos en la subsasante (con geomalla)	103
Figura 57. Esfuerzos efectivos en la capa base (con geomalla)	104



Andrés Sebastián Bustamante Noboa, autor de la tesis “Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante, con el Uso Combinado de una Geomalla y un Geotextil”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Master en Ingeniería en Vialidad y Transportes. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 02 de agosto de 2016



Andrés Sebastián Bustamante Noboa

C.I: 010415200-4



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Andrés Sebastián Bustamante Noboa, autor de la tesis “Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante, con el Uso Combinado de una Geomalla y un Geotextil”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 02 de agosto de 2016



Andrés Sebastián Bustamante Noboa

C.I: 010415200-4



CAPÍTULO I: ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La infraestructura de una carretera está concebida principalmente para soportar las cargas ocasionadas por los volúmenes de tráfico que por ésta van a circular. Es así que, el paquete estructural de un pavimento debe estar diseñado de tal manera que los espesores de los material que la constituyen (mejoramiento, subbase, base, asfalto) sean los necesarios, para absorber en conjunto las cargas estáticas y dinámicas que los vehículos van a transmitir a la subrasante.

Fundamentalmente, los problemas surgen cuando la subrasante de una vía está constituida por suelos de mala calidad, tal es el caso de estratos arcillosos, limosos y orgánicos, que presentan una baja capacidad portante al momento en que empiezan a transitar los vehículos sobre la calzada, las cargas transmitidas a través de los neumáticos, generan un proceso de consolidación del suelo de la subrasante, lo que se traduce en fallas por corte y ahuellamiento en la capa de rodadura; razón por la que se ha buscado en el campo de la ingeniería vial, evaluar diferentes tipos de materiales y métodos constructivos que permitan mejorar las condiciones adversas que presenta un suelo de cimentación en malas condiciones y que incluye: excavación y reemplazo de suelos inadecuados, empalizados, compactaciones profundas, estabilización química, entre otras, que por sus excesivos costos o su corta vida útil han sido rechazados.

La aplicación y uso de materiales textiles y sintéticos en la construcción de vías, ha llegado a convertirse en una solución exitosa y útil a los problemas técnicos y económicos presentes en cualquier proyecto. Desafortunadamente, su uso se lo ha realizado de manera empírica en función de conocimientos obtenidos en el campo y mejorados con el pasar del tiempo.



Se han desarrollado algunas metodologías de diseño, enfatizado la caracterización del comportamiento mecánico de los suelos, al incluir geosintéticos en la interface subrasante-capa granular, tomando en cuenta variables de gran importancia como: la capacidad de carga, deformación, tráfico, clima, condiciones de drenaje y geometría. No obstante, estos métodos están sujetos a constantes cambios y cuestionamientos debido a la consecución de nuevos ensayos, que dan como resultado la influencia de otras variables que pueden alterar las condiciones encontradas originalmente en el campo. Se considera ésta como una nueva técnica constructiva que se está aplicando recientemente en nuestro país y de la cual se tiene escaso conocimiento sobre metodologías de construcción y diseño, por ello, el análisis ha realizarse, brindará algunas opciones en el uso y aplicación de geosintéticos en la construcción de vías.

1.2 INTRODUCCIÓN

El Geosintético es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es constituido a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la Geotecnia o de la Ingeniería Civil (Geosistemas PAVCO, 2012, p.5).

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOP) en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (2002) se indica: “La colocación de la geomalla biaxial, deberá complementarse además con la colocación de un geotextil, que sirve como separador del suelo y de una capa de material granular adecuado, que proteja a la geomalla y permita la circulación vehicular sobre la misma” (p. IV-27)

En este contexto y para comprender de mejor manera la función que desempeña un geosintético en una estructura de pavimento, se debe definir claramente las propiedades físicas-mecánicas con las que cuentan estos elementos para proporcionar un mejor



comportamiento en ella. Con este propósito, se especifican tres funciones básicas que han sido reconocidas por muchos fabricantes:

- Funciona como un separador de materiales, evitando que las partículas finas de la subrasante migren hacia la capa de agregado. Esto se podría producir por las acciones mecánicas en el proceso constructivo y por las cargas vehiculares bajo las condiciones de servicio.
- Ayuda al drenaje lateral por la filtración de las aguas lluvia a través de una capa granular, reduciendo la saturación de la subrasante. Favorece a la disipación del exceso de presión de poros en las capas subyacentes.
- Tiene la capacidad de proveer reforzamiento a la estructura del pavimento ya que absorbe los esfuerzos de tensión que se producen en la interface agregado-subrasante. Mejora también las características de esfuerzo-deformación de la capa de base y disminuye la carga transmitida de los vehículos a la subrasante.

La tecnología en el uso de geosintéticos en obras viales ha tenido últimamente un gran incremento en su demanda, debido a que es una técnica constructiva relativamente nueva que se ha venido implementando en nuestro país, no obstante, por falta de conocimiento de las ventajas que su uso puede proporcionar, no se ha logrado obtener su beneficio total para las diferentes aplicaciones a las que puede ser destinada. El análisis en el servicio y comportamiento eficaz y eficiente que los geosintéticos pueden brindar, ha planteado un desarrollo investigativo más exhaustivo tanto en el campo de la geotecnia como en la ingeniería civil. Dentro de las normas nacionales se contempla el uso de estos elementos como un apoyo al reforzamiento y estabilización de la estructura vial, sin embargo no existe una metodología de diseño que sustente estas afirmaciones.

Esto ha conllevado a formular algunas interrogantes que no han podido ser absueltas hasta el momento, tales como: ¿Por qué se usan los geosintéticos sobre la subrasante?, ¿Mejoran o no la capacidad portante del suelo y en qué magnitud lo hacen? ¿Qué otro tipo de elementos se podrían utilizar para lograr un mejor desempeño en la estructura



vial?, y muchas otras incógnitas que requieren de procesos experimentales para que se aclaren las dudas al respecto.

El desarrollo de este trabajo representa una contribución a estudiantes y profesionales afines a esta rama que tienen el interés de investigar sobre la aplicación y uso de los geosintéticos en proyectos viales. Además, significará un aporte a la investigación y a la formulación de nuevas metodologías de diseño, resultado de experimentar con otro tipo de materiales que proporcionen un mejor desempeño a la subrasante dentro de una estructura vial.

Para este estudio, se analizará la estructura de pavimento del proyecto: “ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTO AMBIENTAL E INGENIERÍA DEFINITIVOS PARA LA RECTIFICACIÓN Y/O MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA SIGSIG –GUALAQUIZA, TRAMO: MATANGA- GUALAQUIZA, EN LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO”, que en este momento se encuentra en ejecución y se está aplicando esta técnica constructiva.

Objetivo General

Determinar el nivel de resistencia sobre una subrasante, utilizando simultáneamente un geotextil y una geomalla como estructura de reforzamiento y establecer una comparación con la resistencia que pueden proporcionar los siguientes escenarios:

- Con el uso de un geotextil.
- Con el uso de una geomalla.
- Sin ninguna clase de reforzamiento.

Objetivos Específicos

- Obtener el número estructural (SN) del pavimento para los cuatro escenarios antes mencionados, es decir, con y sin el aporte que brindaría la colocación combinada



de un geotextil y una geomalla, para cuantificar el aumento o disminución en la resistencia que proporcionaría el uso de geosintéticos.

- Analizar el equilibrio de fuerzas que se genera en la fibra superior de la capa de subrasante, producto de los estados deformacionales y tensionales que se desarrollan por acción de una carga axial aplicada.
- Recomendar la aplicación de algún método de diseño que sustente y solvente las afirmaciones que se describen en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del Ecuador con relación a la colocación combinada de geotextiles y geomallas.



CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo se revisará información y documentación relacionada a las características generales, tipos, clasificación y diferentes funciones de los geosintéticos. Además, se abordarán los métodos empíricos de diseño que se han desarrollado en los últimos años, considerando el reforzamiento de los geocompuestos en la estructura de un pavimento.

2.1 GEOTEXTILES

Según Geosistemas PAVCO (2012) los geotextiles que se definen como: "Un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas". (p.5)

En la mayoría de las aplicaciones, el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una predominante que determinará la elección del tipo de geotextil a utilizar (Tsai, 1995).

2.1.1 Separación.

El geotextil desempeña esta función para prevenir la penetración de las partículas de agregado dentro de la subrasante (Tsai, 1995). Esto se produce por acciones mecánicas durante el proceso de construcción o por las cargas vehiculares bajo las condiciones de servicio. Esta mezcla de materiales es descrito como una intromisión de la subrasante hacia la capa de agregado, enfatizando los movimientos ascendentes de finos como se puede observar en la Figura 1.

En suelos limosos saturados, la contaminación de la capa de agregado es más acelerada debido a acciones hidráulicas. El ascenso en el flujo de agua desde zonas con alta

presión de poros en la subrasante, puede causar un irreversible movimiento de las partículas de suelo (bombeo) (Hausmann, 1987).

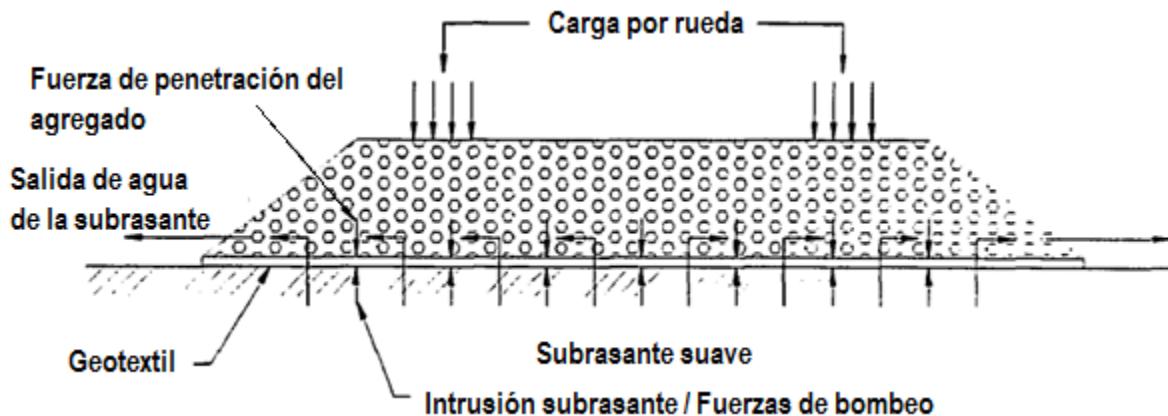


Figura 1. Concepto del geotextil como un separador
 Fuente: Tsai W-S (1995) *Evaluation of Geotextiles as Separators in Roadways*.

Los beneficios del uso de geotextiles también se ven reflejados en períodos prolongados de tiempo; cumpliendo con la separación prevista y contribuyendo significativamente para el éxito a largo plazo de la estructura del pavimento (Tsai, 1995).

2.1.2 Filtración.

Esta función impide el paso de determinadas partículas de terreno a través del geotextil (según sea el tamaño de dichas partículas y la abertura del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica, se utiliza como filtro en muchos sistemas de drenaje (Geosistemas PAVCO, 2012). Para el caso de la ingeniería vial, contribuye en mantener la integridad de las capas de suelo que conforman la estructura del pavimento (Hausmann, 1987), incluso la no migración de finos se mantiene a lo largo de varios años sin que el geotextil presente un deterioro acelerado ni daños apreciables en su estructura.



2.1.3 Drenaje.

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil.

La eficacia del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente, el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente, el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal (Geosistemas PAVCO, 2012). Los geotextiles con mayor grosor proporcionan un drenaje lateral adicional y pueden ayudar a disipar el exceso en la presión de poro en subrasantes saturadas (Hausmann, 1987).

2.1.4 Reforzamiento.

En esta función, se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para que se genere una buena fricción y anclaje con el agregado, así como es un complemento para mejorar las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en las condiciones de servicio.

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de las partículas de suelo, permitiendo repartir las tensiones locales tanto en la interface agregado subrasante como dentro de la estructura del agregado. Estas acciones aumentan la capacidad portante y reducen las tensiones en la subrasante (Geosistemas PAVCO, 2012). Adicionalmente, con la deformación del geotextil debido al ahuellamiento de los neumáticos, puede desarrollar una componente vertical que soporta parcialmente la carga de los vehículos transmitida a los neumáticos y reducir las tensiones en la subrasante (Tsai, 1995).

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES

2.2.1 Según el método de fabricación

2.2.1.1 Geotextiles Tejidos.

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser tejidos de calada o tricotados (Geosistemas PAVCO, 2012, p.5).

Los tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal).

Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana.

Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotosas y circulares. Su estructura es tridimensional.

En la Figura 2, se detallan algunos tipos de geotextiles tejidos.

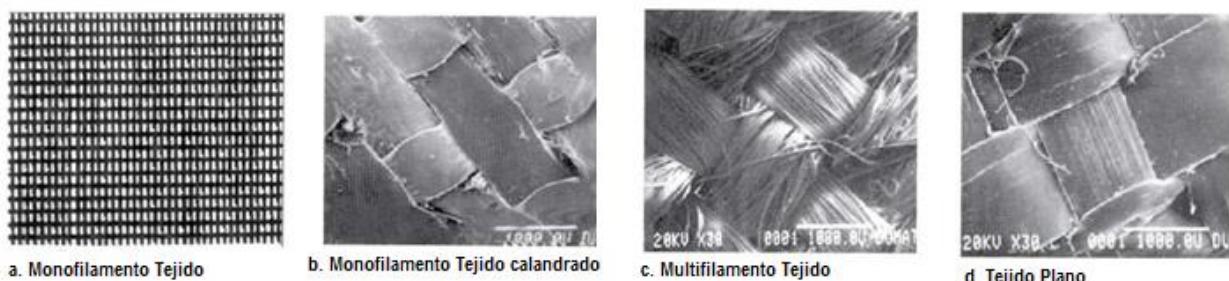


Figura 2. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos

Fuente: Geosistemas PAVCO. (2012) *Manual de Diseño con Geosíntéticos*.

2.2.1.2 Geotextiles No Tejidos.

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según sea la fabricación empleada para unir los filamentos o fibras. Los geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en:

- Ligados mecánicamente o punzonados por agujas
- Ligados térmicamente o termosoldados
- Ligados químicamente o resinados.

En la Figura 3, se detallan dos tipos de geotextiles no tejidos

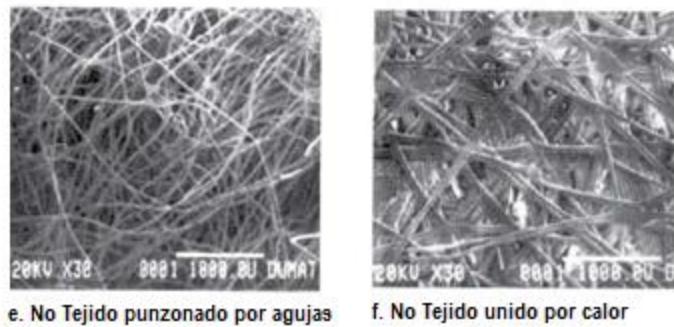


Figura 3. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles no tejidos
Fuente: Geosistemas PAVCO. (2012) *Manual de Diseño con Geosíticos*.

2.2.2 Según su composición.

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que se las tiende a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo, al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

2.2.2.1 Fibras naturales.

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos, etc.) vegetal (algodón, yute, coco, lino, etc.) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la



revegetación de taludes, márgenes de ríos etc. En la Figura 4 se puede observar un geotextil de fibra natural (Subaida, Chandrakaran, & Sankar, 2009).

2.2.2.2 Fibras artificiales.

Son las derivadas de la celulosa, tales como: el rayón, la viscosa y el acetato.

2.2.2.3 Fibras sintéticas.

Se fabrican con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos. Son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias.

Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico.



Figura 4. Geotextil de fibra de coco

Fuente: Subaida, E., Chandrakaran, S., & Sankar, N. (2009). *Laboratory performance of unpaved roads reinforced with woven coir geotextiles*.

2.3 GEOMALLAS COEXTRUÍDAS

Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo, consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión.



Tradicionalmente, estos efectos se obtenían usando ramas trenzadas o colocando troncos de forma perpendicular (Geosistemas PAVCO, 2012, p.14).

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas bi-orientadas coextruídas.

Las geomallas coextruídas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante (Geosistemas PAVCO, 2012, p.14).

La principal función de las geomallas coextruidas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla está ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten a la estructura del pavimento, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de la grilla (Geosistemas PAVCO, 2012, p.14).

Las geomallas coextruídas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo. Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla. Con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo. El compuesto suelo-geomalla reduce la resistencia al movimiento, por lo tanto, el uso de las geomallas produce una condición de cohesión, inclusive en materiales granulares. El compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo con la tensión de la geomalla, para crear un sistema que brinda una mayor



rigidez y estabilidad, que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos. La capacidad que tiene la geomalla para distribuir las fuerzas sobre su superficie, incrementan las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas (Geosistemas PAVCO, 2012, p.14).

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS GEOMALLAS

2.4.1 Geomallas Coextruidas Mono-Orientadas.

Las geomallas mono-orientadas, son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad, utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional. Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollando así gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. La estructura de este tipo de geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo especialmente de tipo granular (Ver Figura 5) (Geosistemas PAVCO, 2012, p.15).

Este tipo de geomallas coextruídas de alta densidad, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160 kN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo (Geosistemas PAVCO, 2012, p.15).



Figura 5. Geomalla coextruída mono-orientada

Fuente: Geosistemas PAVCO. (2012) *Manual de Diseño con Geosíticos*.

2.4.2 Geomallas Coextruidas Bi-Orientadas.

Este tipo de geomallas son estructuras bi-dimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal. Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Este tipo de geomallas coextruidas se componen de elementos y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento. Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles (Ver Figura 6) (Geosistemas PAVCO, 2012, p. 16).



Figura 6. Geomalla coextruída Bi-orientada

Fuente: Geosistemas PAVCO. (2012) *Manual de Diseño con Geosíticos*.



2.5 MECANISMO DE FALLA EN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO

La función principal de una subrasante es brindar la estabilidad adecuada a los materiales que conforman la estructura del pavimento, con el fin de prevenir una falla por capacidad de carga debido al peso de los vehículos transferido a los neumáticos y al excesivo ahuellamiento bajo las condiciones de tráfico (Hausmann, 1987, p.202).

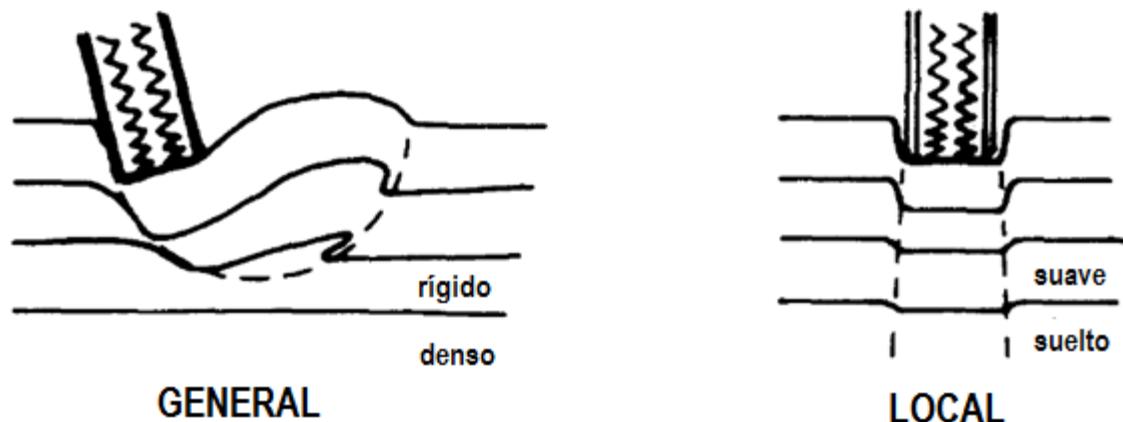
El problema más común que se ocasiona al deterioro prematuro de las vías, se da cuando se construye sobre subrasantes suaves de baja capacidad portante que usualmente están constituidas de suelos cohesivos saturados con contenidos de agua en o sobre el límite plástico, suelos saturados no cohesivos muy finos o suelos orgánicos altamente compresible como turbas o Ciéneas (Tsai, 1995, p.3).

En estos casos, el efecto que se produce bajo repetidas cargas debidas al tráfico es que las partículas del agregado penetran en la subrasante suave y las partículas finas de la subrasante se infiltran dentro de la capa de base (Tsai, 1995, p.3), produciendo los siguientes tipos de falla:

Falla general por corte (Ver Figura. 7): se puede reconocer por planos de falla que se extienden desde el borde del área cargada a la superficie del terreno, ocasionando significativos bulbos que se transmiten hacia arriba del suelo. Este tipo de falla es típico en arenas densas y arcillas rígidas.

Falla local por corte (Ver Figura. 7): describe una condición donde cuñas de falla se desarrollan únicamente en el suelo que se encuentra inmediatamente debajo del neumático. El corte y densificación del suelo fatigado causa excesivos asentamientos sin

notables bulbos en la superficie del suelo. Este tipo de falla ocurre en arenas flojas o sueltas y arcillas muy suaves con CBR¹ menor que tres.

**GENERAL****LOCAL****Figura 7.** Falla por capacidad de carga en suelos cohesivos

Fuente: Hausmann, M. (1987). *Geotextiles for Unpaved Roads-A Review of Design Procedures*.

Generalmente la estabilidad más baja de una subrasante se da durante o al final de la construcción de una vía. El exceso en la presión de poros inducido en la subrasante no puede disipar rápidamente el contenido de agua a través de la capa de agregado. Con el tiempo, el proceso de consolidación puede reducir la presión de poros y el contenido de agua en el suelo. Como consecuencia se incrementan las tensiones en la subrasante (Hausmann, 1987).

2.6 MÉTODOS DE DISEÑO SELECCIONADOS

Un método de diseño debe proveer una adecuada capacidad de carga e intentar limitar el ahuellamiento mientras se previenen excesivas tensiones en el textil. Dicho de otro modo, el diseño se reduce al análisis del reforzamiento por la restricción lateral del agregado, la subrasante y la membrana de soporte (Hausmann, 1987).

¹ California Bearing Ratio, es un ensayo desarrollado por la División de Carreteras de California que nos permite determinar la capacidad portante de un suelo bajo niveles de humedad y compactación controlada (Universidad Católica de Valparaíso, s.f.).



Algunas investigaciones con el uso de geotextiles para el reforzamiento en vías sin pavimento, se han desarrollado en los últimos 30 años (Leiva Padilla y Loría Salazar, 2012, p.3).

El mayor avance en esta área se origina con el análisis de tratamientos analíticos que sustentan el concepto de que la membrana proporciona un reforzamiento cuando se genera una deformación sobre la superficie de rodadura. De este modo, se produce un alargamiento en el geotextil, dando como resultado la actuación de esfuerzos tangenciales en la interface geotextil-subrasante y geotextil-base; ofreciendo un soporte vertical adicional a la estructura de la calzada (Hausmann, 1987).

2.6.1 Métodos basados en el modo del control de falla.

Barenberg (citado en Hausmann, 1987), evaluó el desempeño del modelo de un cimiento en un sistema compuesto de piedra triturada y arcilla suave, con y sin geotextil no tejido. La falla, definida por el excesivo ahuellamiento (> 50 mm) luego de un ciclo de carga, fue interpretada usando la teoría de capacidad de carga de Terzaghi. Se encontró que la falla ocurría en niveles de tensión de:

$$N_c = 3.3 \text{ sin textil, y}$$

$$N_c = 6.0 \text{ con textil.}$$

Estos valores corresponden aproximadamente a la falla por corte general y local de Terzaghi, respectivamente. El geotextil es de este modo utilizado para influenciar en el modo de falla de la subrasante, pues inhibe el efecto de punzonamiento según el tipo de falla en un suelo suave.

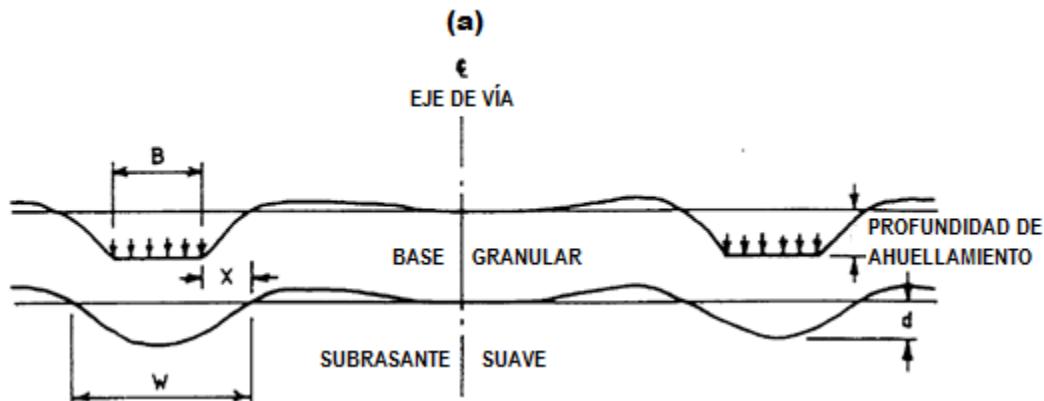
Los resultados del ensayo además demostraron que el textil redujo la pre-falla de deformación en la subrasante. Se sugirió posteriormente que los niveles de tensión permisible de la subrasante podrían ser incrementados por un factor alrededor de 1.8

comparado al caso sin textil, el cual resulta en una reducción del requerimiento de espesor de agregado.

2.6.2 Métodos considerando el soporte de la membrana.

Barenberg (citado en Hausmann, 1987), modificó la propuesta original de diseño, en función de incluir el efecto de la profundidad. El nuevo modelo de comportamiento suelo-geotextil-agregado incluye los efectos de la membrana y fue llamado el modelo de tensión del geotextil.

Usando la nueva aproximación, primeramente las tensiones permisibles de la subrasante están expresadas como una función de la cohesión. En segundo lugar, para un espesor de agregado y la geometría del ahuellamiento dados, se calcula las tensiones y deformaciones del geotextil (ver Figura 8). Luego, el apoyo vertical equivalente suministrado por el geotextil, descrito como tensiones diferenciales a través de la interface suelo-geotextil-agregado.



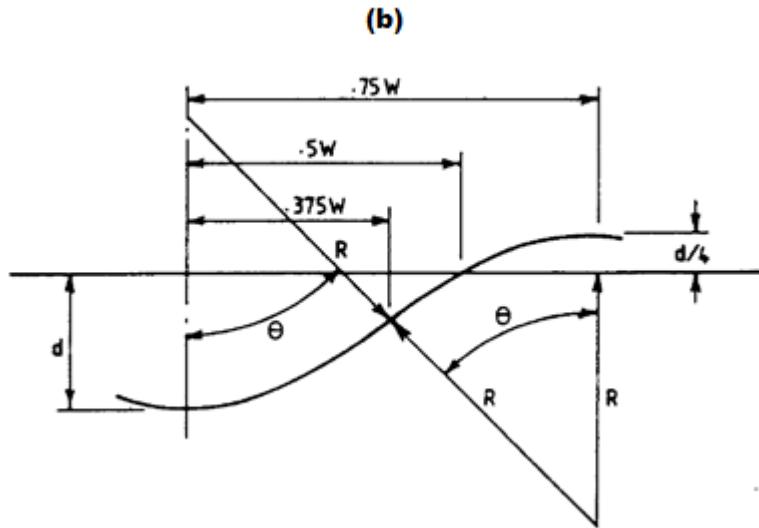


Figura 8. Deformación de la capa base y subrasante, según Barenberg
 Fuente: Hausmann, M. (1987). *Geotextiles for Unpaved Roads-A Review of Design Procedures*.

En tercer lugar, la tensión permisible en el geotextil es expresada como la suma de las tensiones permisibles de la subrasante y la tensión diferencial a través del geotextil. La actual tensión, calculada de acuerdo a Boussinesq para una superficie de carga dada, es igual a la tensión permisible y a partir de esta expresión, se obtiene el valor de la cohesión no drenada c , como se indica a continuación:

Tensión actual (σ_z) :

$$\sigma_z = p \left[1 - \left(\frac{1}{1+(a/z)^2} \right)^{3/2} \right] (\text{kPa}) \quad (1)$$

donde:

p = presión de contacto promedio (igual a la presión de aire de un neumático simple o 0.7 a 0.8 veces la presión de aire de un neumático dual, en kPa)

z = espesor de la capa de agregado (m)

a = radio del área cargada (m) = $\sqrt{P/\pi p}$

P = Carga total aplicada (kN)



Tensión permisible de la subrasante (σ_{per}):

$$\sigma_{per} = A\pi c(kPa) \quad (2)$$

donde:

c = esfuerzo de corte de la subrasante².

A = coeficiente adimensional relacionado a la restricción lateral suministrada por el textil (1.9 a 2.0 para los textiles Mirafi 140 y Mirafi 500x ensayado por Barenberg).

La tensión diferencial normal ($\Delta\sigma_{z-f}$) a través del geotextil es:

$$\Delta\sigma_{z-f} = \frac{t_f}{R}(kPa) \quad (3)$$

donde:

R = radio de la forma circular reflejada en el geotextil.

t_f = tensión en el textil (kN/m) = $\epsilon_f E_f$

ϵ_f = deformación en el geotextil (%)

E_f = módulo del geotextil (kN/m/%)

La deformación es determinada desde la falla geométrica asumida (ver Fig. 8b), descrita por:

$$R = \frac{9W^2}{80d} + \frac{5}{6}d(m)$$

donde:

d = profundidad de ahuellamiento efectivo de la subrasante (m).

W = ancho de ahuellamiento efectivo de la subrasante (m)

y

$$\theta = 2 \tan^{-1}\left(\frac{10d}{6W}\right) \text{ (grados)} \quad (4)$$

$$\epsilon_f = \left(\frac{4\pi R\theta}{135W} - 2\right) 100 \text{ (%)} \quad (5)$$

² El valor de la cohesión no drenada es igual al esfuerzo cortante máximo del suelo cuando se realiza un ensayo a compresión simple en una muestra no confinada. Es el valor resultante de dividir el esfuerzo vertical instantáneo entre dos (M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2001, p.235).



El ancho de ahuellamiento efectivo de la subrasante (W) (ver Fig. 8b) debe ser estimado desde la expresión:

$$W = B + 2x$$

donde:

B = ancho de huella de una rueda .

x = efecto de expansión

Con los términos definidos en la figura 8a, y donde x representa el efecto de expansión de la capa granular con o sin geotextil. Desde la información suministrada por Barenberg, x está en función de:

$$x = 0.05 + (0.3 \text{ a } 0.6)z \text{ (m)} \quad (6)$$

y los cálculos son hechos para ser relativamente inmunes a x .

El esfuerzo de la subrasante y la acción de balance de la membrana ante la carga aplicada, como se expresa en la ecuación (7), puede ser resuelto para c (esfuerzo de corte de la subrasante o cohesión no drenada)

$$\sigma_z = \sigma_{per} + \Delta\sigma_{z-f} \quad (7)$$

Giroud y Noiray (citado en Hausmann, 1987), observaron que el efecto de un geotextil incrementa la capacidad última de carga, lo que obedece a un comportamiento elástico. Es decir, se determinó que una falla por corte local cambia a una falla por corte general de Terzaghi bajo el efecto del geotextil.

En primera instancia, analizaron **estáticamente (sin considerar el efecto del tráfico)** los esfuerzos que actúan sobre la subrasante.

La razón básica es el reconocimiento de que el esfuerzo de la subrasante está fatigado si:

$$q_u = p - p_g \quad (8)$$

donde:

$$q_u = \text{capacidad de carga última de la subrasante} = (\pi + 2)c_u + \gamma h$$

c_u = cohesión no drenada de la subrasante

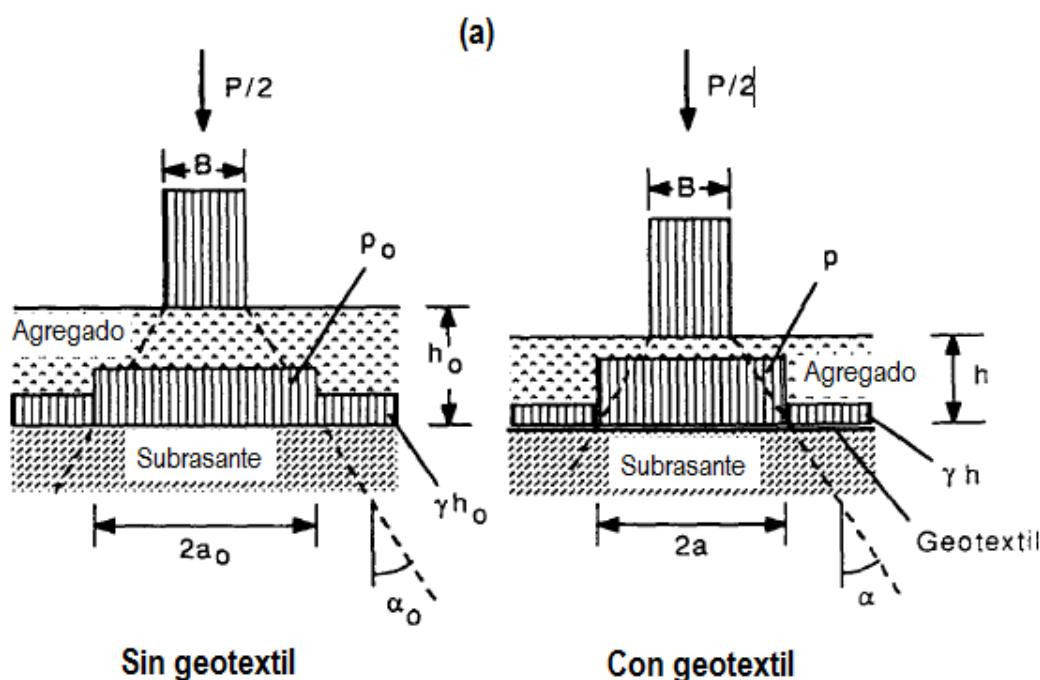
γ = peso específico del agregado

h = altura de la capa de agregado

p = presión en la subrasante debido a la sobrecarga

p_g = reducción de la presión debido al efecto de la membrana

La presión p es calculada asumiendo que el agregado extiende la superficie de carga en un ángulo α (Fig. 9 (a)).



(b)

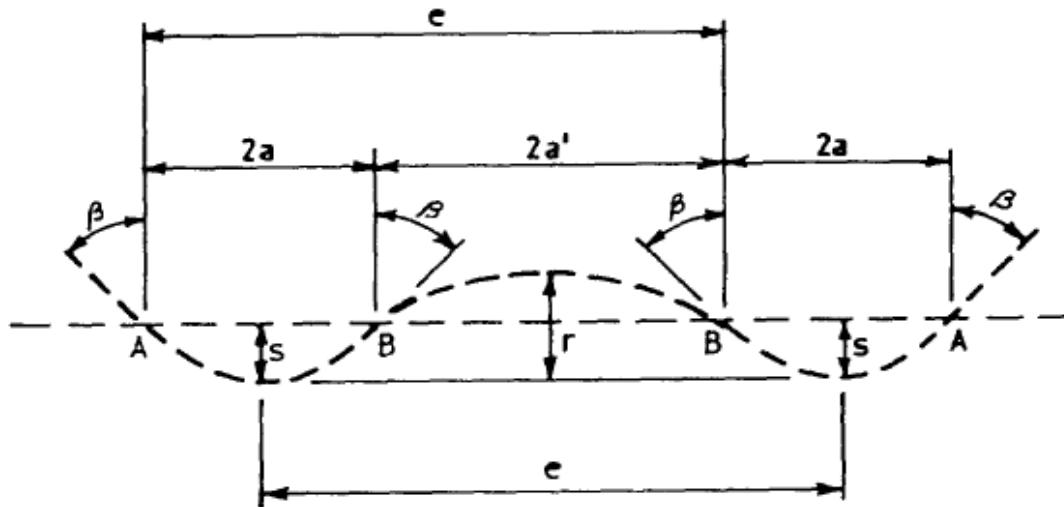


Figura 9. Geometría asumida por Giroud y Noiray: a) distribución de carga; b) geotextil deformado
Fuente: Hausmann, M. (1987). *Geotextiles for Unpaved Roads-A Review of Design Procedures*.

Incluyendo el peso del agregado se encuentra que:

$$p = \frac{P}{2(B+2h \tan \alpha)(L+2h \tan \alpha)} + \gamma h \quad (9)$$

donde P es la carga por eje y γ es el peso específico del suelo. La rueda dual es asumida como un conjunto de neumáticos cubriendo un área de B veces L . Para una llanta de presión p_c , estas dimensiones son obtenidas para dos diferentes casos que son los siguientes:

Para autopistas con camiones:

$$B = \sqrt{\frac{P}{p_c}} \quad (10)$$

$$L = \frac{B}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

Para autopistas sin camiones:

$$B = \sqrt{\frac{P\sqrt{2}}{p_c}} \quad (12)$$

$$L = \frac{B}{2} \quad (13)$$



Giroud y Noiray (citado en Hausmann, 1987), consideran que el geotextil puede tener una influencia en el valor de α pero establecido para un valor conservador de 31° ($\tan \alpha = 0.6$), el cual corresponde a una inclinación teórica de planos de falla en el agregado con un ángulo de fricción de 28° . (El efecto de variación α es más discutido cuando se expandió este método de diseño para geomallas).

La determinación de p_g está basado en la suposición de que la forma de un geotextil deformado representa secciones de parábolas, entonces el volumen de la zona central deformada está relacionada al desplazamiento del suelo por asentamiento (ver Figura 10b). La deformación del geotextil puede luego ser determinado desde:

$$\epsilon = \frac{b+b'}{a+a'} - 1 \text{ para } a' > a \quad (14)$$

y

$$\epsilon = \frac{b}{a} - 1 \text{ para } a > a' \quad (15)$$

los anchos a y a' son obtenidos de las siguientes relaciones:

$$2a = B + 2h \tan \alpha \quad (16)$$

$$2a' = e - B - 2h \tan \alpha \quad (17)$$

donde e es el ancho de carril.

Para b y b' que representan la mitad de la longitud de las cuerdas de las parábolas que se forman por el ahuellamiento (ver figura 10 (b)), son obtenidos desde las siguientes dos ecuaciones:

$$\frac{b}{a} - 1 = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + (2s/a)^2} + \frac{a}{2s} \ln \left\{ \frac{2s}{a} + \sqrt{1 + (2s/a)^2} \right\} - 2 \right] \quad (18)$$

$$\frac{b'}{a'} - 1 = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2(r-s)}{a'} \right)^2} + \frac{a'}{2(r-s)} \ln \left\{ \frac{2(r-s)}{a'} + \sqrt{1 + \left(\frac{2(r-s)}{a'} \right)^2} \right\} - 2 \right] \quad (19)$$

donde s representa la deformación en la capa de rodadura.

Finalmente, la tensión del geotextil es obtenida desde:

$$t_f = E_f \epsilon \quad (20)$$



donde:

t_f = tensión en el geotextil (kN/m)

ϵ = deformación en el geotextil (%)

E_f = módulo del geotextil (kN/m/%)

y la membrana de apoyo es:

$$p_g = \frac{E_f \epsilon}{a\sqrt{1+(a/2s)^2}} \quad (21)$$

En la ecuación (8), una relación puede ser establecida entre c y el espesor de agregado requerido para una geometría dada, la configuración de cargas y el módulo del geotextil. Este análisis está referido como un comportamiento casi estático, porque no toma en cuenta al tráfico.

En segunda instancia, analizaron **dinámicamente (considerando el efecto del tráfico)**, las vías en donde se ha incorporado un geotextil. Giroud y Noray (citado en Hausmann, 1987), propusieron usar el mismo incremento en espesor de agregado a causa del tráfico, tal como sería determinado para una vía no reforzada.

El espesor de agregado requerido por vías sin geotextil es designado como h_0 sin considerar el tráfico y h'_0 considerando el tráfico. El incremento en el espesor del agregado por lo tanto es:

$$\Delta h = h'_0 - h_0 \quad (22)$$

Giroud y Noray (citado en Hausmann, 1987), sugieren que para el primer caso, la sobrecarga en peso es extendida sobre la subrasante como se demuestra en la Figura 9 (a), más la falla de la subrasante se calcula en la siguiente ecuación:

$$q_u = \pi c_u + \gamma h_0 \quad (23)$$



la presión en la interface agregado-subrasante puede ser calculado de acuerdo a la ecuación (9) pero con h_0 en lugar de h . Ahora se puede establecer que:

$$p = q_u \quad (24)$$

y resolverlo para h_0 .

El espesor h'_0 puede ser determinado de la siguiente ecuación:

$$h'_0 = (1.6193 \log N + 6.3964 \log P - 3.7892r - 11.8887)/c_u^{0.63} \quad (25)$$

donde:

c_u = cohesión no drenada de la subrasante = $30 * CBR$

r = profundidad de ahuellamiento ($\leq 75 mm$)

P = peso de un eje simple (lb)

N = número de ejes equivalentes para un eje P

Ahora se obtiene el número de ejes equivalentes a partir de la siguiente expresión:

$$\frac{N_s}{N} = \left[\frac{P}{P_s} \right]^{3.95} \quad (26)$$

donde:

N_s = número de ejes equivalentes para un eje estandar de $8.2 ton$

P_s = eje simple de $8.2 ton$ (lb)

haciendo posible calcular Δh , el cual para el diseño con geotextiles, es adicionado al espesor del agregado determinado usando un análisis casi estático.



CAPÍTULO III: VALIDACIÓN DEL ENSAYO

El objeto del presente capítulo es analizar el comportamiento de una estructura de pavimento compuesta por una capa de base y un suelo de subrasante con una baja capacidad portante, bajo la aplicación de una carga monotónica, que representa el peso transferido de un vehículo tipo al suelo a través de uno de sus neumáticos. Además, los ensayos que se llevarán a cabo, permitirán investigar sobre los beneficios que puede brindar la utilización de materiales geosintéticos en la interface capa base-subrasante.

No se ha reportado un estudio en donde se evalúe el soporte estructural que ofrece el trabajo simultáneo de un geotextil y una geomalla dentro del pavimento y que se expresa a través del número estructural (SN). Sin embargo, en el estudio efectuado por el COE³, se valida el criterio de reforzamiento de un geotextil en vías sin pavimentar pero adicionando la rigidez de una geomalla biaxial. Mediante un ensayo dinámico a escala real, los resultados obtenidos fueron muy útiles para fundamentar la variación en el factor de capacidad de carga de Terzaghi, N_c , y modificar el existente proceso de diseño para el uso de ambos materiales (Tingle & Webster, 2002).

Para el desarrollo de los ensayos, se emplearán materiales extraídos del sitio del proyecto en evaluación (vía Sigsig-Matanga-Gualaquiza), que en este momento se encuentra en ejecución y donde se está utilizando esta técnica constructiva. En el caso de la capa base, se tomará una muestra de material de una de las minas locales, considerando que éste debe cumplir con los rangos granulométricos estipulados en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (2002), para un material de base clase I. Los geosintéticos que serán utilizados, son los mismos que se están colocando en el proyecto Sigsig-Matanga-Gualaquiza y que corresponden a una geotextil no tejido NT-1800, así como una geomalla biaxial BX-1200. Se dimensionará el

³ COE: The U.S. Army Corps of Engineers (Tingle & Webster, 2002).



tamaño de la muestra a ser ensayada, así como se establecerán las propiedades físicas del suelo, de tal manera que todas las variables que intervienen en el ensayo sean controladas.

Finalmente se registrarán las lecturas de carga aplicada versus la deformación desarrollada sobre la superficie de la muestra, de tal forma que se pueda obtener la curva esfuerzo-deformación.

3.1 MATERIALES UTILIZADOS PARA EL ENSAYO.

Para la selección del material de la subrasante, se realizó una evaluación a través de los “Estudios de Factibilidad, Impacto Ambiental e Ingeniería Definitivos para la rectificación y/o mejoramiento de la Carretera Sigsig-Gualaquiza, Tramo Matanga-Gualaquiza, en la Provincia de Morona Santiago” (Consorcio Vial Oriental, 2012), para identificar los rangos más bajos de CBR que ostentan los suelos naturales en donde se cimenta la carretera Matanga-Gualaquiza. Consecuentemente se determinó que el intervalo de los valores de CBR más bajos se encontraban entre el kilómetro sesenta al setenta (ver Figura 10), con un valor promedio estimado del 4% de CBR, es decir, se tomó en cuenta una subrasante en malas condiciones según su capacidad portante.

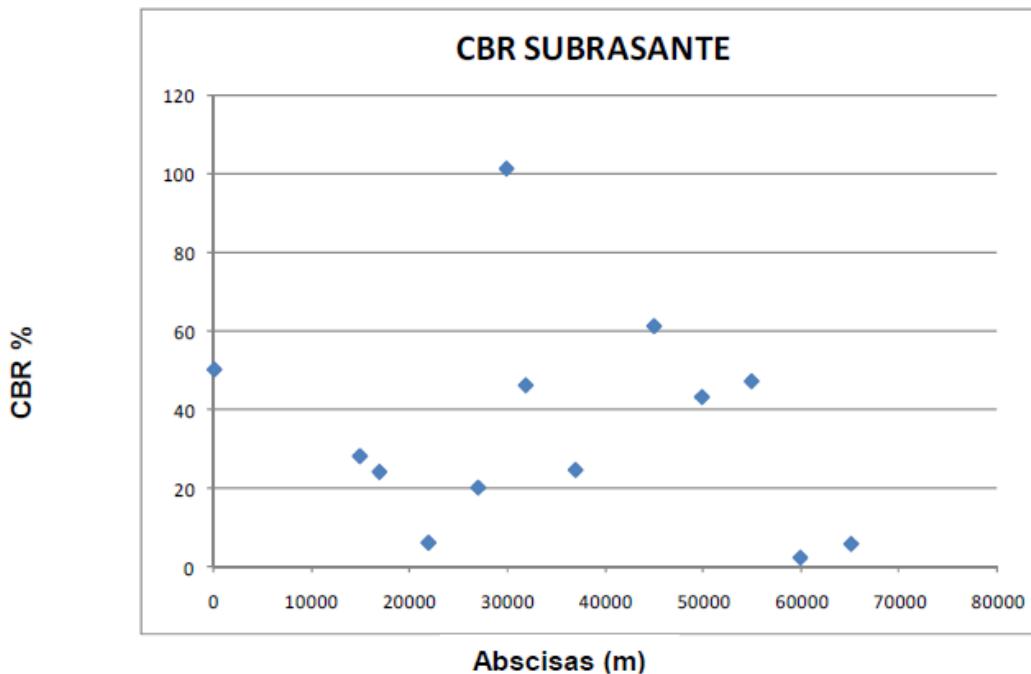


Figura 10. CBR de laboratorio en los suelos de subrasante. Tramo Matanga-Gualaquiza

Fuente: Consorcio Vial Oriental (2012). *Estudios de Factibilidad, Impacto Ambiental e Ingeniería Definitivos Carretera Sig sig – Gualaquiza*

La muestra de suelo se la obtuvo mientras se ejecutaba la etapa de excavación y reposición con material de mejoramiento de la subrasante. Se extrajo la muestra a una profundidad aproximada de 1 m desde la superficie de rodadura existente en la abscisa 62+115, (Anexo fotográfico, 1. Toma de muestras). De esta manera se sujetó a lo establecido en los estudios del proyecto vial, tramo Matanga-Gualaquiza, donde se plantea el panorama de un suelo de cimentación en malas condiciones y en el cual se va a mejorar y rehabilitar una carretera existente.

Posteriormente se efectuaron los correspondientes análisis de laboratorio para determinar las características del material extraído en el campo (ver Anexos, Anexo resultados ensayos de laboratorio, 1. Ensayos subrasante). En primera instancia se realizó la categorización del suelo mediante los sistemas americanos de clasificación



AASHTO⁴ y SUCS⁵, de tal manera que se puede establecer la tipología y condiciones físicas de la subrasante (Anexo resultados ensayos de laboratorio, 1. Ensayos subrasante). Se determinaron parámetros tales como: humedad natural, límite líquido, límite plástico, etc. El resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 1.

Luego se llevó a cabo la elaboración del ensayo proctor modificado que tiene el propósito de reflejar las condiciones reales encontradas en el campo cuando se desarrolla la etapa de afirmado de la subrasante. Es decir, para compactarla, se emplea una energía mayor a través de un rodillo de varias toneladas de peso, a diferencia de un vibroapisonador cuya energía de compactación es bastante baja (Das, 2001, p.59), por tal razón se efectuó la prueba proctor modificado en vez de la proctor estándar, cuyos resultados están en la Tabla 1.

Para concluir con el primer grupo de ensayos, se determinó el CBR de la subrasante. Este parámetro será el de mayor trascendencia en este estudio y servirá para determinar el nivel de resistencia del suelo de cimentación en cada una de las fases posteriores de investigación, además representa punto de partida para alcanzar las conclusiones esperadas.

⁴ American Association of State Highway and Transportation Officials

⁵ Unified Soil Classification (Corp of Engineers, Department of the Army y Bureau of Reclamation) (Das, 2001, p. 5 (M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, 2001))



A continuación se presentan los resultados obtenidos:

CLASIFICACIÓN DEL SUELO			
SUCS	MH-OH	Humedad Natural:	35.73%
		Límite Líquido:	52.56%
AASHTO	A-7-6	Índice Plástico	15.78%
		Índice de Grupo	19
PROCTOR MODIFICADO			
$\gamma_d \text{ max } (kg/m^3) =$	1640	Humedad óptima=	22.34%
ENSAYO CBR			
$\gamma_d \text{ 12 golpes } (kg/m^3) =$	1404.34	$CBR \text{ 12 golpes } (\%) =$	1.21
$\gamma_d \text{ 25 golpes } (kg/m^3) =$	1541.36	$CBR \text{ 25 golpes } (\%) =$	1.61
$\gamma_d \text{ 55 golpes } (kg/m^3) =$	1635.01	$CBR \text{ 55 golpes } (\%) =$	3.02

Tabla 1. Resultados de los ensayos del suelo de subrasante

Para el material de la capa base, se tomó una muestra de agregado grueso y fino, ciento por ciento de piedra triturada procedente de una cantera local, cumpliendo parcialmente con lo que establecen las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (2002), que indica lo siguiente para una base clase I: “Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% de acuerdo con lo establecido en la subsección 814-2 y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B” (p. IV-48).

De esta manera se cuenta con un material que posee un valor de CBR igual o mayor al 80% (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones del Ecuador, 2002), lo que indica que su capacidad portante es bastante alta.

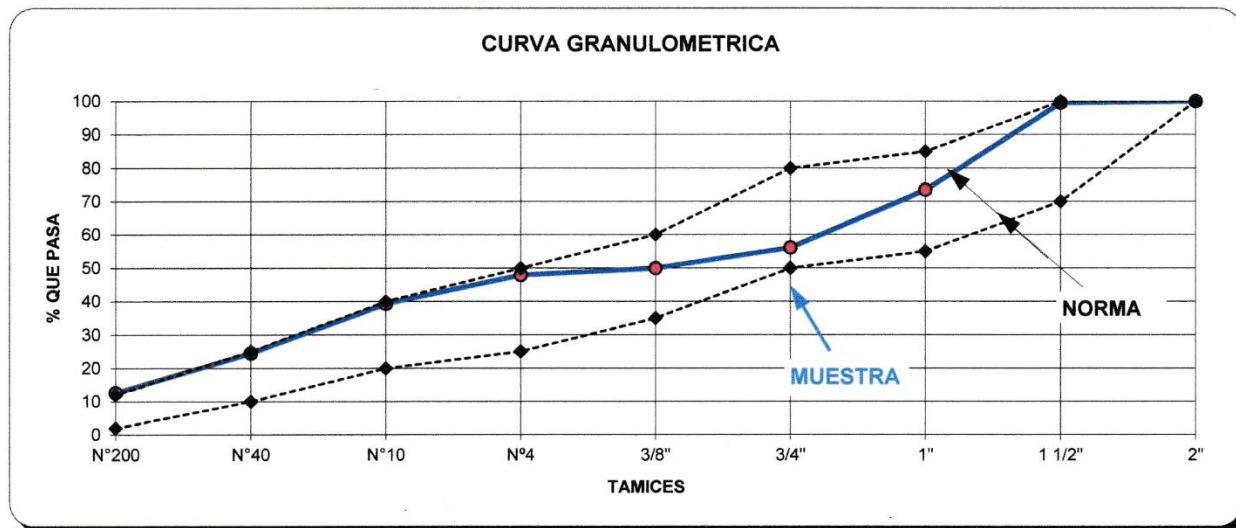
Para confirmar las aseveraciones que la muestra de material obtenida en el campo cumple con lo señalado en la normativa ecuatoriana, se efectuaron los ensayos de análisis granulométrico (Ver Figura 11) y clasificación, así como la prueba proctor



modificado del material (Anexo resultados ensayos de laboratorio, 2. Ensayos Base), en donde se alcanzaron los siguientes resultados que se indican en la Tabla 2:

CLASIFICACIÓN DEL SUELO			
SUCS	GC-GM	<i>Humedad Natural:</i>	3.29%
		<i>Límite Líquido:</i>	25.98%
AASHTO	A-2-4	<i>Límite Plástico</i>	19.62%
		<i>Índice de Plasticidad</i>	6.35%
PROCTOR MODIFICADO			
$\gamma_d \text{ max } (\text{kg/m}^3) =$	2061	<i>Humedad óptima=</i>	9.71%

Tabla 2. Resultados de los ensayos del material granular



NORMA GRANULOMETRICA BASE TIPO 1A

Figura 11. Curva granulométrica del material triturado y límites granulométricos (normativa ecuatoriana)

De esta manera se confirma que el material granular es una base tipo 1A (Ver Anexo resultados ensayos de laboratorio, 2. Ensayos Base).



Un geotextil no tejido NT-1800, se asentará en la interface capa granular-subrasante, para dos de los escenarios que se evaluarán del número total de ensayos a efectuar. Brevemente se debe destacar que este geotextil de polipropileno, está conformado por un sistema de fibras, punzonadas por agujas que le brindan una alta resistencia a la degradación química y biológica. Su abertura aparente es de 0.18 mm y su resistencia a la tensión es de 9.6 kN/m en su sentido transversal (Ver Anexo, Resultados ensayos de laboratorio, 3. Especificaciones técnicas geotextil y geomalla).

En la Tabla 3, se presentan parte de las características de este material:

GEOTEXTIL NT-1800		
PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDAD	VALOR
Resistencia a la tensión longitudinal	kN/m	8.8
Resistencia a la tensión transversal	kN/m	9.6
Elongación	%	> 50
Resistencia al punzonamiento	N	310
Resistencia al estallido	Kpa	1587
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	UNIDAD	VALOR
Tamaño de abertura aparente	mm	0.18
Permeabilidad	cm/s	0.4
PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDAD	VALOR
Espesor	mm	1.7
Resistencia UV	%	> 70

Tabla 3. Propiedades geotextil no tejido NT-1800

Fuente: Geosistemas PAVCO. (2012).

La geomalla biaxial BX-1200, está fabricada de fibra de vidrio cubierta por un material bituminoso (Ver Anexo, Resultados ensayos de laboratorio, 3. Especificaciones técnicas geotextil y geomalla). Garantiza una alta resistencia a la tensión y un alto módulo de elasticidad (Geosistemas PAVCO, 2012). Registra las siguientes características que se indican en la Tabla 4:



GEOMALLA BX-1200		
PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDAD	VALOR
Resistencia a la tensión longitudinal	kN/m	121.54
Resistencia a la tensión transversal	kN/m	128.72
Elongación	%	< 4
PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDAD	VALOR
Dimensión de la malla	mm	18*18

Tabla 4. Geomalla Biaxial BX-1200

Fuente: ACE Geosynthetics. (2009) Geosynthetics Test Report.

3.2 CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO.

El experimento se diseñó de tal manera que se ilustre el comportamiento estático de los vehículos sobre el pavimento. Para ello se determinó el vehículo que presenta las condiciones estáticas más desfavorables de carga transmitida a la capa de rodadura a través de sus neumáticos. Según la composición del tráfico (ver Tabla 5), tanto para el camión tipo 2DB como para el 2S2, la carga estática por eje más alta corresponde al eje simple de rueda dual de 11 ton de peso, como se demuestra en la Figura 12.

AÑO 2015	
TIPO VEHÍCULO	UNIDAD
Automóvil	
Liviano	153
Bus	
3A	40
Camión de 2 ejes	
2DB	31
Camión de 3 ejes	
3A	25
Tracto camión	
2S2	2
TPDA (inicial)	251

Tabla 5. Composición del tráfico año 2015, tramo Matanga - GualaquizaFuente: Consorcio Vial Oriental (2012). *Estudios de Factibilidad, Impacto Ambiental e Ingeniería Definitivos Carretera Sigsig – Gualaquiza*

Por lo tanto el camión tipo 2DB y el 2S2 reciben una carga por eje simple de 11 *ton.*, es el modelo que más se adapta para la simulación de carga aplicada sobre el pavimento, según la Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones del MTOP (2012, p.1).

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2DB			CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60
2S2			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	38	20,50	2,60

Figura 12. Tabla nacional de Pesos y Dimensiones

Fuente: MTOP (2012). Comunicado a los señores transportistas de carga pesada, empresas que generan carga, puertos marítimos y terrestres, aduanas, encargados de control de transporte terrestre y afines.

Para continuar con la configuración del ensayo, se necesita obtener un factor de escala (Subaida, Chandrakaran, & Sankar, 2009, p.207), a partir del área equivalente que proyecta la rueda dual del camión tipo, que recibe una carga P de 5.5 *ton* por par de neumáticos. Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 101:98 (1998), la presión de hinchado de un neumático está dado en función del límite de carga que puede transportar un camión y el tamaño del neumático (p.4). Para este caso el ancho de aro es de 8.5" y el intervalo de presiones de inflado está entre 5 a 8 kg/cm^2 . Se asumió un valor de $8 kg/cm^2$ para la carga que recibe la rueda dual. Con todos los datos de entrada, se calcula el área equivalente

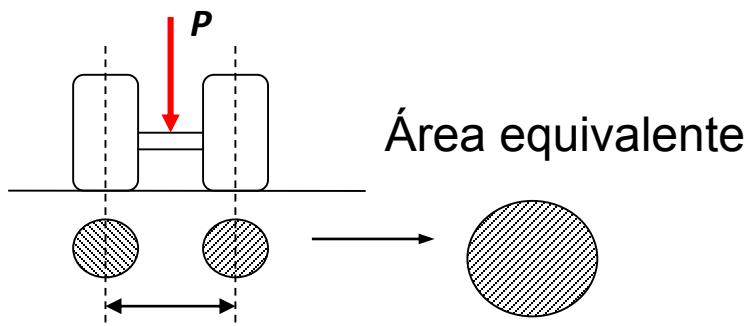


Figura 13. Área equivalente



$$A. equivalente = \frac{P \text{ (carga por eje/2)}}{p \text{ (presión de inflado)}} \quad (26)$$

$$A. equivalente = \frac{5500 \text{ kg}}{8 \text{ kg/cm}^2} = 687.5 \text{ cm}^2$$

Se determina el diámetro equivalente:

$$r. equivalente = \sqrt{\frac{A. equivalente}{\pi}} = \sqrt{\frac{687.5 \text{ cm}^2}{\pi}} = 14.80 \text{ cm} \quad (27)$$

$$d. equivalente = 2 * r. equivalente = 2 * 14.80 \text{ cm}$$

$$d. equivalente = 29.6 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

se asume un diámetro equivalente de 30cm.

El pistón de carga de un equipo de compresión simple mide aproximadamente 5 cm de diámetro. Éste va a simular la carga del neumático aplicada sobre el pavimento.



d. pistón = 5 cm

Figura 14. Equipo para la prueba de compresión simple

A continuación se determina el factor de escala para el ensayo:

$$FE = \frac{d. pistón}{d. equivalente} = \frac{5 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = \frac{1}{6} \quad (28)$$



Para obtener el espesor necesario de agregado, se inicia mediante un análisis estático, utilizando los criterios planteados por los investigadores Giroud and Noiray (Ver figura 9 (a)), quienes aplicaron las siguientes fórmulas:

Se calcula la presión en la subrasante debido a la carga aplicada sobre la muestra de pavimento, según la ecuación (9), donde:

$$P = \text{carga por eje} = 11 \text{ ton} = 108 \text{ kN}$$

$$\alpha = \text{inclinación teórica de planos de falla en el agregado} = 31^\circ$$

$$A_{\text{equivalente}} = B * L \quad (29)$$

El valor del área equivalente circular calculada en la ecuación (26), se la transforma a un área equivalente cuadrada cuyas dimensiones son B y L . Los valores de B y L se los puede obtener a partir de la ecuación (11).

Consecuentemente, la capacidad última de carga sobre la subrasante se expresa a través de la ecuación (23), donde la cohesión no drenada está en función del CBR de la subrasante, que para este análisis se asume el valor correspondiente a 55 golpes (ver Tabla 1.), de tal manera que se reflejen las condiciones de consolidación que un suelo de subrasante presenta en el campo.

$$C_u(kPa) = 30 \text{ CBR} \quad (31)$$

Reemplazando los valores:

$$C_u(kPa) = 30 \quad (3.02)$$

$$C_u = 90.6 \text{ kPa} = 0.92 \text{ kg/cm}^2 \quad (32)$$

Igualando las ecuaciones antes mencionadas, se obtiene:

$$\pi(0.92) + \gamma h = \frac{5500}{(31.18+2h \tan 31)(22.05+2h \tan 31)} + \gamma h \quad (33)$$



A partir del cálculo anterior, se determina la altura h de la capa de agregado. Los valores resultantes son:

$$\begin{aligned} h_1(cm) &= 14.36 \\ h_2(cm) &= -58.70 \end{aligned} \quad (34)$$

En síntesis, los resultados no presentan mucha coherencia con un espesor que efectivamente se debería colocar; por lo tanto se utilizó el criterio de cálculo dinámico, en donde interviene el número de ejes equivalentes en función del TPDA actual del tramo en estudio.

Según la Tabla 6, se determina el Factor camión por tipo de vehículo:

CÁLCULO FACTOR CAMIÓN	
TIPO VEHÍCULO	FC
AUTO	
Liviano	0
3A	
Bus	3.583
2DB	
Camión 2 ejes	3.794
3A	
Camión 3 ejes	3.583
2S2	
Tracto camión	6.811
FCg	3.716

Tabla 6. Cálculo Factor Camión Global

Posteriormente se obtiene el factor camión global a través de la siguiente expresión:

$$FC_G = \frac{\sum FC_i * TPDA_i}{\sum FC_i} \quad (35)$$

$$FC_G = 3.716$$



El cálculo paso a paso del factor camión para pavimento flexible, se lo puede ver en el Anexo Cálculos.

Luego se busca el número de ejes equivalentes para un eje standard de 8.2 *ton* a partir de la siguiente ecuación:

$$N_s = TPDA_{inicial} \times FCg \quad (36)$$

$$N_s = 933$$

no se incluyeron factores de crecimiento, pues la metodología de Giroud and Noiray no explica la utilización de estos factores para un horizonte de diseño, ni tampoco se utilizan factores de distribución por considerarse un cálculo simple que no implica llegar a conclusiones inmediatas, sino que es parte del desarrollo completo de este estudio.

Se calcula el número de ejes equivalentes para un eje de 11 *ton* de la expresión (26), y se determina:

$$N = 292 \quad (38)$$

A partir de la expresión (25), se calcula el espesor de base para un análisis dinámico, considerando el tráfico:

$$h'_0 = (1.6193 \log 292 + 6.3964 \log 108 - 3.7892 * 0.075 - 11.8887) / 90.6^{0.63}$$

El espesor necesario es:

$$h'_0 = 28 \text{ cm} \quad (40)$$

Finalmente se acoge este valor de espesor de la capa de base como el correcto.

Para escoger la altura de la subrasante, se realizará aplicando la teoría de Boussinesq, ecuación (1), la que puede establecer los esfuerzos y deformaciones a cualquier profundidad. Se utilizó para ello un software conocido como Alize (ver proceso de cálculo en el Anexo Cálculos, 2. Determinación de altura de la subrasante) y se obtuvieron los siguientes resultados:

	ΔZ (m)	Profundidad (m)	σ_z (MPa)	Def (m)
CAPA BASE	0	0	0.8	0.1404
	0.08	0.08	0.675	0.9013
	0.05	0.13	0.485	0.8606
	0.05	0.18	0.297	0.7322
	0.05	0.23	0.153	0.6969
	0.05	0.28	0.084	0.9008
				1.965
	0.05	0.33	0.07	1.6462
	0.05	0.38	0.06	1.4074
	0.05	0.43	0.052	1.2232
SUBRASANTE	0.05	0.48	0.045	1.0772
	0.05	0.53	0.04	0.9586
	0.05	0.58	0.036	0.8604
	0.05	0.63	0.032	0.7778
	0.05	0.68	0.029	0.7022

Tabla 7. Resultados de esfuerzos/deformaciones a varias profundidades (programa Alize).

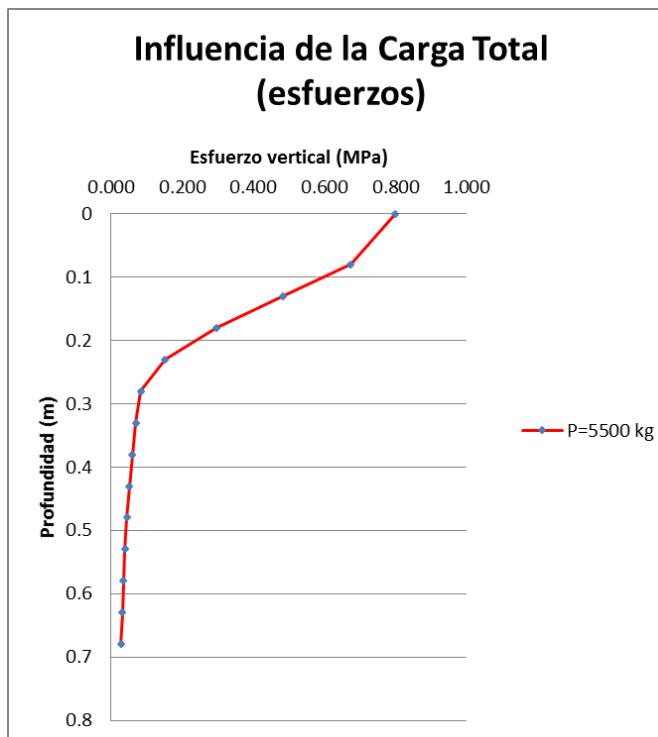


Figura 15. Influencia de la carga (esfuerzos) de una rueda dual (5.5 ton)

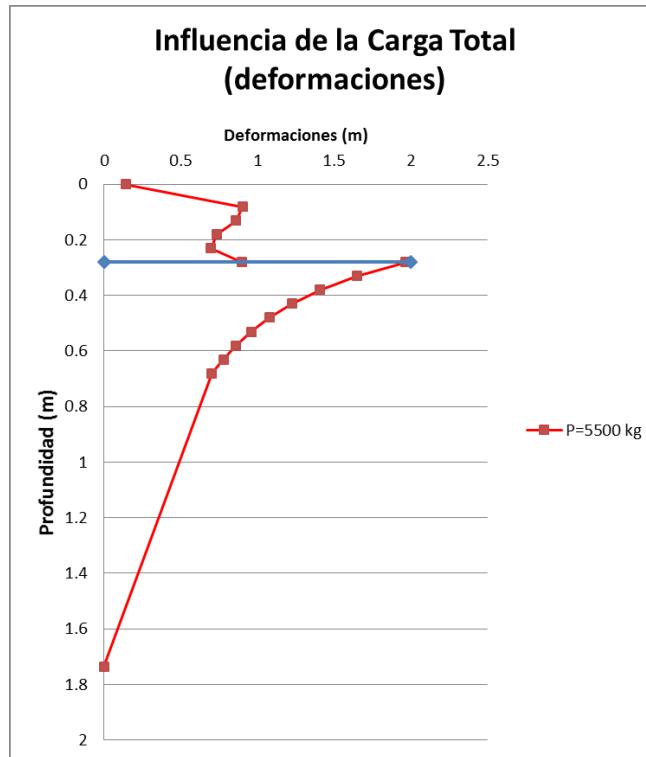


Figura 16. Influencia de la carga (deformación) de una rueda dual (5.5 ton)

Se determinó que no existen deformaciones ni esfuerzos influyentes en la subrasante, cuando la profundidad en la estructura de pavimento es de 1,73 m (ver Figura 16), por tal razón se concluye que los espesores necesarios para la subrasante y la capa base son:

$$\text{espesor capa base} = 28 \text{ cm}$$

$$\text{espesor subrasante} = 1.45 \text{ cm}$$

Ahora, estos valores deben ser multiplicados por el factor de escala determinado en la ecuación (28), para obtener los espesores que se asumirán en la elaboración de las muestras de pavimento:

$$\text{espesor capa base a escala} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{espesor subrasante a escala} = 24 \text{ cm}$$

Es decir que para los ensayos se necesitará un molde de 28 cm de alto.

Para calcular el ancho del molde, se debe obtener a través de diagramas de bulbos de presión, determinado en la Figura 17:

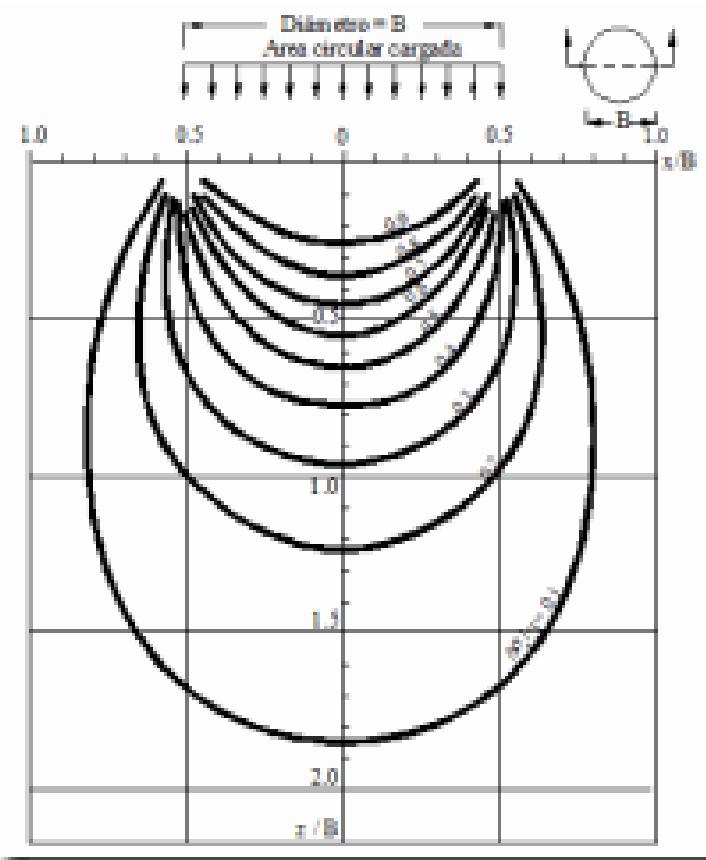


Figura 17. Diagrama de bulbos de presión
Fuente: (M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2001)

Se considera que el ancho medio de un bulbo es igual a 0.9 veces el diámetro de la carga circular aplicada. En este caso se conoce que el diámetro del pistón es de 5 cm, multiplicado por 0.9, se obtiene que el ancho medio del bulbo que es de 4.5 cm y este valor por dos. Finalmente, se determina que el diámetro necesario para el molde es de 9 cm.



En consecuencia las dimensiones necesarias del molde son:

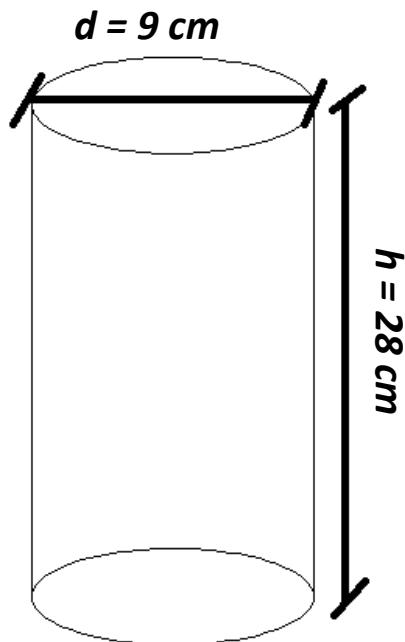


Figura 18. Molde de ensayo



CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN LABORATORIO, MODELACIÓN Y RESULTADOS

En este capítulo se expondrán de manera ilustrativa y mediante tablas de resumen, los resultados alcanzados en las etapas de ensayos de laboratorio y modelación. Serán el punto de partida para llegar a las conclusiones esperadas en este estudio a través de valoraciones numéricas.

4.1 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE SOBRE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO BAJO CARGA MONOTÓNICA.

Tomado como punto de partida el proceso de diseño de los especímenes de una estructura de pavimento que se desarrolló en el capítulo anterior, se proyectaron realizar cuatro ensayos a compresión simple que permitirán analizar la interface subrasante-base y en los otros casos la interface subrasante-geosintético-capa base, de acuerdo a los siguientes escenarios:

- a) Sin reforzamiento
- b) Solo geotextil
- c) Con geotextil y geomalla
- d) Solo geomalla

Para el efecto, se trabajó sobre la muestra de suelo de subrasante obtenida en el campo. Se le añadió la cantidad de agua necesaria para que alcance la humedad natural con la que fue encontrada en el sitio de su extracción, es decir, con un 35.73 % de humedad natural. Posteriormente, se llenaron moldes de 15 cm de ancho por 30 cm de alto, que son los utilizados para tomar muestras de hormigón, en 5 capas de 4 a 5 cm cada una hasta alcanzar la altura de 24 cm, según las dimensiones determinadas en el capítulo anterior. A cada capa se la compactaba con un número aproximado de 56 golpes mediante un martillo de 10 libras de peso, desde una altura de caída de 18 pulgadas, de



acuerdo con el procedimiento de la prueba proctor modificado (Se intentó replicar las condiciones de confinamiento y consolidación que presenta el suelo en el campo). Sobre esta capa se colocó el geotextil, la geomalla, ambos materiales o ninguno de ellos, dependiendo del escenario que se estaba elaborando. Finalmente, se puso una capa de material base clase I de 4 cm de espesor donde se realizó el mismo proceso de compactación que en las capas de la subrasante (ver Anexos, anexo fotográfico, 3. Ensayos a compresión simple sobre la estructura de pavimento). Así, se llevaron las muestras al laboratorio para ser ensayadas.

Se aplicó una carga monotónica a través de un pistón de acero inoxidable a una velocidad de 1.27 mm/min de forma perpendicular a la muestra de pavimento. Las lecturas de los asentamientos fueron registradas a través de un deformímetro cuyas medidas estaban dadas en pulgadas. Para el caso de la carga, los valores fueron registrados en kilonewtons desde un panel electrónico. Las lecturas de deformaciones fueron transformadas a centímetros y en el caso de la carga, en kilogramos-fuerza, de tal forma que las medidas sean interpretadas mediante el Sistema Internacional (S.I.) que se utiliza de manera cotidiana en el país.

Para el primer escenario de una muestra sin reforzamiento, se alcanzó una deformación máxima de 1.524 cm con una carga máxima de 235.47 kg. Para el segundo y tercer caso, es decir, la muestra reforzada con geotextil y la con geotextil y geomalla respectivamente, se llegó a una deformación máxima de 2.032 cm a una carga correspondiente de 355.76 y 352.70 kg. Para el caso del reforzamiento con geomalla, la deformación máxima que alcanzó es de 2.032 cm a un esfuerzo máximo de 403.67 kg, como se demuestra en la Tabla 8.



ENSAYO N°1		ENSAYO N°2		ENSAYO N°3		ENSAYO N°4	
SIN REFORZAMIENTO		SOLO GEOTEXTIL		CON GEOTEXTIL Y GEOMALLA		SOLO GEOMALLA	
Penetración	Carga	Penetración	Carga	Penetración	Carga	Penetración	Carga
cm	kg	cm	kg	cm	kg	cm	kg
0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.064	38.74	0.064	24.46	0.064	19.37	0.064	28.54
0.127	47.91	0.127	42.81	0.127	42.81	0.127	47.91
0.191	62.18	0.191	53.01	0.191	53.01	0.191	67.28
0.254	72.38	0.254	67.28	0.254	67.28	0.254	86.65
0.381	106.01	0.381	100.92	0.381	106.01	0.381	129.46
0.508	129.46	0.508	129.46	0.508	144.75	0.508	173.29
0.635	159.02	0.635	163.10	0.635	182.47	0.635	226.30
0.762	178.39	0.762	187.56	0.762	221.20	0.762	249.75
1.016	221.20	1.016	245.67	1.016	293.58	1.016	293.58
1.270	226.30	1.270	283.38	1.270	332.31	1.270	346.59
1.524	235.47	1.524	307.85	1.524	341.49	1.524	384.30
		1.778	336.39	1.778	346.59	1.778	417.94
		2.032	355.76	2.032	352.70	2.032	403.67

Tabla 8. Lecturas de ensayo a compresión simple bajo una carga monotónica

Los comportamientos de las curvas carga/deformación se desarrollaron en un régimen elástico para el caso de las muestras de solo geotextil y solo geomalla; es decir, se observa proporcionalidad entre la carga aplicada y el desplazamiento resultante. Mientras que en el caso de las muestras sin reforzamiento y con geotextil y geomalla, el comportamiento de la curva carga/deformación se desarrolló en un régimen elasto-plástico perfecto, logrando una mayor resistencia la muestra de geotextil y geomalla (ver Figura 19).

La mayor capacidad de carga alcanzada dentro de los ensayos realizados, fue en el escenario solo geomalla, con un incremento en la resistencia (esfuerzo normal actuante) de 63.21% con respecto al escenario sin reforzamiento, de 45.02% utilizando simultáneamente la combinación de un geotextil y una geomalla y de 30.74% reforzado solo con geotextil.

Para el escenario sin reforzamiento no se llegaron a mayores esfuerzos. La carga máxima alcanzada antes de entrar en el régimen plástico fue de 221.20 kg, que resulta



ser la más baja con respecto a las cargas máximas alcanzadas en el resto de ensayos. Su comportamiento plástico se mantuvo constante con relación a la carga máxima aplicada, por lo tanto, no se registraron más lecturas.

Para el escenario en donde solo se utiliza el geotextil como material de reforzamiento, se observa que la curva carga/deformación únicamente presenta un comportamiento elástico que se divide en dos etapas. La primera con un módulo de rigidez de 345 kg/cm^2 hasta alcanzar una carga de 245.67 kg y la segunda etapa con una rigidez de 154.57 Kg/cm^2 hasta la última carga registrada que es de 355.76 kg. El desempeño de esta estructura permitía incrementar la carga considerablemente sin alterar el comportamiento elástico del material.

Para el escenario de reforzamiento con geotextil y geomalla, se desarrolló inicialmente una etapa elástica hasta alcanzar una carga de 332.3 kg. A partir de este punto se observó un comportamiento plástico, en donde al aplicar una carga menor, las deformaciones eran mayores.

La tendencia de la curva carga/deformación habría mantenido el mismo comportamiento, hasta que en algún momento podría haber fallado, a cierta carga desconocida. Sin embargo, no se llegó a la falla de la muestra.

En el escenario con geomalla se obtuvo el mayor valor promedio de rigidez con 467 kg/cm^2 comparado con los valores alcanzados en los otros ensayos; no obstante cuando se alcanzó la carga máxima de 417.94 kg, se produjo su falla inmediata a pesar de haber alcanzado la mayor resistencia con respecto al resto de ensayos, por lo tanto fue la única muestra que llegó a fallar.

La gráfica carga/penetración de los ensayos realizados sobre las estructuras de pavimento, se describe en la Figura 19.

ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE BAJO CARGA MONOTÓNICA

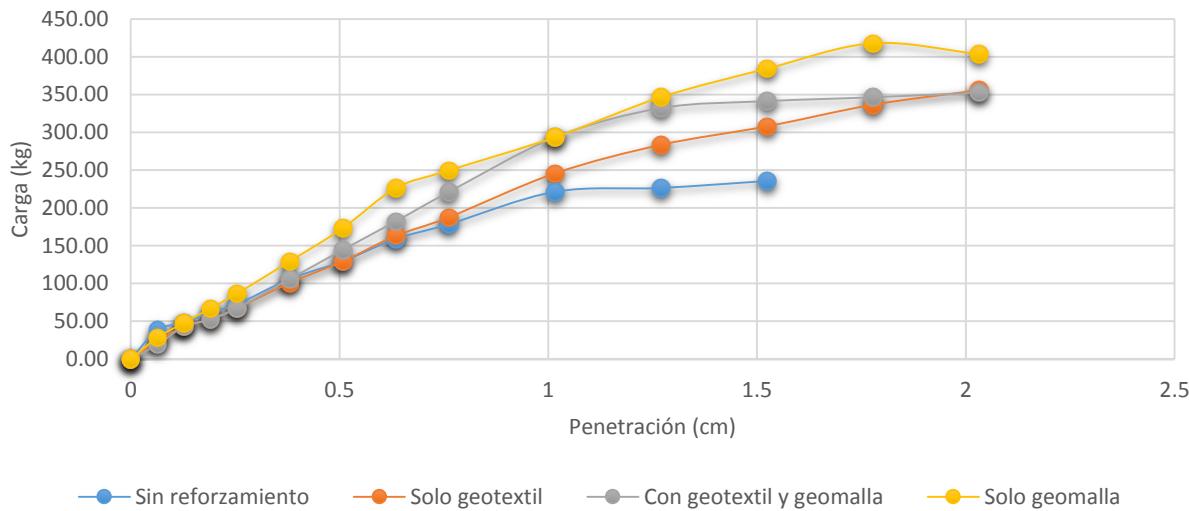


Figura 19. Curvas carga/penetración de las estructuras de pavimento ensayadas bajo una carga monotónica.

4.2 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE LOS MATERIALES, ANTES DE LA MODELACIÓN.

Previo a realizar cualquier análisis en una herramienta computarizada, se debe obtener los parámetros físicos y mecánicos de los elementos que formarán parte de las muestras de pavimento, de tal forma que se pueda replicar el comportamiento real de los mismos.

Consecuentemente, se empleará el software Plaxis 8.6, que es un programa de elementos finitos utilizado principalmente para aplicaciones geotécnicas y que cuenta con una base de datos que incluye varios modelos matemáticos capaces de evaluar el comportamiento de cualquier material. Concretamente para esta situación, se analizarán los especímenes mediante los criterios de la teoría Morh-Coulomb, modelo matemático muy utilizado en el campo de la geotecnia y que expone claramente el modo de falla por corte de cualquier tipo de suelo sin particularizar sus propiedades mecánicas.



4.2.1 Parámetros del material de subrasante

La composición del material de la subrasante, según los métodos de clasificación de suelos SUCS y AASHTO a través de un ensayo granulométrico, determinó que sus características corresponden a una arcilla limosa de alta plasticidad. Se puede observar a detalle los resultados de los ensayos en la sección Anexos, resultados ensayos de laboratorio, 1. Ensayos subrasante.

A partir de la clasificación del suelo, se procedió con la determinación de su primer parámetro que corresponde al peso específico saturado, como se indica a continuación:

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w \quad (\text{Braja Das, 2001}) \quad (46)$$

donde:

γ_{sat} = peso específico saturado del suelo

G_s = gravedad específica

e = relación de vacíos del suelo

γ_w = peso específico del agua

Para ello, se debe determinar el resto de parámetros que forman parte de la ecuación (46), como son: la gravedad específica y la relación de vacíos del suelo. Se las obtiene de las siguientes expresiones:

$$G_s = \frac{\gamma_d(1+e)}{\gamma_w} \quad (47)$$

donde:

γ_d = peso específico seco del suelo

La relación de vacíos del suelo, que se define como la razón del volumen de vacíos sobre el volumen de sólidos (Das, 2001, p.18), que se detalla en la siguiente expresión:



$$e = \frac{Vv}{Vs} \quad (48)$$

$$Vv = Va + Vw \quad (49)$$

donde:

V_a = Volumen de aire

V_w = Volumen de agua

Por lo tanto el volumen de agua se la obtiene de la siguiente manera:

Se calcula el peso de suelo seco a partir de los valores proyectados en el ensayo proctor modificado, para el peso específico seco máximo (γ_d) de 1640 kg/m^3 que se obtuvo en el laboratorio. Este valor se lo puede observar en la sección Anexos, resultados ensayos de laboratorio, 1. Ensayos subrasante.

$$\% \omega = \frac{W_{\text{suelo húmedo}} - W_{\text{suelo seco}}}{W_{\text{suelo seco}}} \quad (50)$$

$$W_{\text{suelo seco}} = \frac{W_{\text{suelo húmedo}}}{(\% \omega + 1)} \quad (51)$$

donde:

$$W_{\text{suelo húmedo}} = 4367 \text{ gr}$$

$$\% \omega = \text{porcentaje de humedad óptima} = 22.2\%$$

Reemplazando los valores en la ecuación (51), se obtiene el siguiente resultado para el peso de suelo seco:

$$W_{\text{suelo seco}} = 3574 \text{ gr}$$

Para obtener el peso de agua, se resta el peso de suelo húmedo del peso de suelo seco de la siguiente manera:

$$Ww = W_{\text{suelo húmedo}} - W_{\text{suelo seco}} \quad (52)$$

donde:

$$Ww = 793 \text{ gr}$$

por lo tanto el volumen de agua se obtiene de la siguiente expresión:



$$V_w = \frac{w_w}{\gamma_w} \quad (53)$$

w_w = peso de agua

γ_w = peso específico del agua = $1 gr/cm^3$

reemplazando valores, se determina que el volumen de agua es:

$$V_w = 793 cm^3$$

Posteriormente para obtener el volumen de vacíos, se reemplaza el volumen de agua en la ecuación (49) y se asume como cero el valor del volumen de aire, ya que el suelo se encuentra saturado. El resultado obtenido es:

$$V_v = 793 cm^3$$

Ahora se calcula el volumen de suelo de la siguiente expresión:

$$V_s = V_{molde} - V_v \quad (54)$$

donde:

V_s = Volumen de suelo

V_{molde} = Volumen de molde para el ensayo de proctor modificado.

V_v = Volumen de vacíos

El volumen del molde según el ensayo efectuado en laboratorio es de $2179 cm^3$ que en definitiva se reemplaza en la ecuación (54) y se establece el siguiente volumen de suelo:

$$V_s = 1386 cm^3$$

Ahora con los valores calculados del volumen de vacíos y el volumen del suelo, estos se reemplazan en la ecuación (48) para obtener el valor de la relación de vacíos que será el siguiente:

$$e = 0.572$$

consecuentemente con el valor resultante de la relación de vacíos, se procede a calcular la gravedad específica reemplazando los valores en la ecuación (47):

$$G_s = 2.6$$



Finalmente, se calcula el valor de peso específico saturado como se expresa en la ecuación (46):

$$\gamma_{sat} = 2018 \text{ kg/m}^3 = 19.78 \text{ kN/m}^3$$

El segundo parámetro en ser establecido fue el peso específico no saturado, o sobre el nivel freático. En este caso, se asumió el valor del peso específico seco máximo (γ_d) de 1640 kg/m^3 que se determinó en laboratorio, de tal forma que se empleará este valor para la simulación:

$$\gamma_{unsat} = 1640 \text{ kg/m}^3 = 16.08 \text{ kN/m}^3$$

Para determinar el parámetro permeabilidad de este tipo de suelo de subrasante, se asumió el valor de $k = 0.000001 \text{ cm/s}$ o 0.0000006 m/min como se indica en la Tabla 9, que corresponde a un suelo arcilloso.

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava limpia	100 – 1
Arena gruesa	1.0 – 0.01
Arena fina	0.01 – 0.001
Arcilla limosa	0.001 – 0.00001
Arcilla	0.000001

Tabla 9. Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados.
Fuente: Fundamentos de Ingeniería geotécnica, Braja M. Das

El valor del coeficiente de permeabilidad k , es asumido tanto para la dirección horizontal y vertical.

Paralelamente se obtuvo el Módulo de Young y el Coeficiente de Poisson a través de la Tabla 10:

Tipo de Suelo	Rango de valores típicos	Coeficiente de Poisson, ν (adimensional)	Estimación de E_s a partir de N	
	Módulo de Young, E_s (MPa)		Tipo de suelo	E_s (MPa)
Arcilla:	2,4 - 15 15 - 50 50 - 100	0,4 - 0,5 (no drenada)	Limos, limos arenosos, mezclas levemente cohesivas	0,4 N_1
			Arenas limpias finas a medias y arenas levemente limosas	0,7 N_1
			Arenas gruesas y arenas con poca grava	1,0 N_1
			Grava arenosa y gravas	1,1 N_1
Loes	15 - 60	0,1 - 0,3	Grava arenosa y gravas	1,1 N_1
Limo	2 - 20	0,3 - 0,35		
Arena fina:	7,5 - 10 10 - 20 20 - 25	0,25	Estimación de E_s a partir de S_u	
			Arcilla blanda sensible	400 S_u - 1000 S_u
			Arcilla medianamente rígida a rígida	1500 S_u - 2400 S_u
			Arcilla muy rígida	3000 S_u - 4000 S_u
Arena:	10 - 25 25 - 50 50 - 75	0,20 - 0,35	Estimación de E_s a partir de q_c	
			Suelos arenosos	4 q_c
Grava:	25 - 75 75 - 100 100 - 200	0,2 - 0,35 0,3 - 0,4	Estimación de E_s a partir de q_c	
			Suelos arenosos	4 q_c

Tabla 10. Constantes elásticas de diferentes suelos.

Fuente: U.S.Department of the Navy (1982) y Bowles (1988)

Por lo tanto se asumen los siguientes valores:

$$E_s = 2.4 \text{ MPa} = 2400 \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 0.45$$

El siguiente parámetro en ser obtenido fue la cohesión. Para ello, se utilizó la ecuación (31) en donde se calcula la cohesión como una función del CBR de la subrasante, cuyo valor se encuentra detallado en la sección Anexos, resultados ensayos de laboratorio, 1. Ensayos subrasante.

$$C_u(\text{kPa}) = 30 (1.21) = 36.3 \text{ kPa}$$



Para obtener el ángulo de fricción, se partió de la clasificación del material de subrasante que corresponde a una arcilla orgánica de alta plasticidad (MH-OH). De esta manera, se revisó en la Tabla 11 que el ángulo de fricción a asumir es cero.

Ambiente	Textura del suelo					Resistencia cortante
		Contenido natural de agua (%)	Límite líquido	Índice de plasticidad	Cohesión ^a (kN/m ²)	Ángulo de fricción (grados)
Bordos naturales	Arcilla (CL)	25-35	35-45	15-25	17-57	0
	Limo (ML)	15-35	NP ^c -35	NP-5	9-33	10-35
Banco de arena	Limo (ML) y arena limosa (SM)	25-45	30-55	10-25	0-41	25-35
Canal abandonado	Arcilla (CL, CH)	30-95	30-100	10-65	14-57	0
Pantano	Arcilla (CH)	25-70	40-115	25-100	19-120	0
Ciénega	Arcilla orgánica (OH)	100-265	135-300	100-165	-	-

^a Según Kolb y Shockley (1959)
^b Redondeado
^c NP = no plástico

Tabla 11. Propiedades de depósitos.

Fuente: Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Braja Das (2001)

Bolton (citado en Plaxis Version 8 material models manual, s.f.,p.3-8) en el año de 1986, señaló que el ángulo de dilatancia para estratos altamente consolidados, como es el caso de los suelos arcillosos, tienden a mostrar una pequeña dilatancia ($\psi \approx 0$). La dilatancia en las arenas depende tanto de su densidad como del ángulo de fricción, pero su magnitud está en el orden de $\psi \approx \phi - 30^\circ$. Para valores del ángulo de fricción menores a 30° , el ángulo de dilatancia es cercano a cero. Para las condiciones que muestra el material de la subrasante del presente estudio, el ángulo de dilatancia en asumido como cero.

El último parámetro en ser determinado es el coeficiente de presión lateral de tierras, que de acuerdo a la siguiente ecuación, se calculó que: $k_a = 1$

$$K_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \quad (\text{Braja Das, 2001}) \quad (55)$$



Finalmente, el comportamiento asumido para este suelo es de tipo no drenado, debido a que una arcilla necesita de un largo período de tiempo (días), para filtrar el agua contenida en su estructura. Sumado a esto, la carga que se aplicó, se la realizó de manera instantánea y tuvo una duración de 12 a 16 minutos. Además se consideró que la arcilla estaba saturada en un 100% (C_u y $\varphi = 0$).

En resumen, se presentan los parámetros de la subrasante en la Tabla 12.

DESCRIPCIÓN PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<i>Modelo utilizado para evaluar el Material</i>	Modelo	Mohr-Coulomb	-----
<i>Tipo de comportamiento del material</i>	Tipo	UnDrained	-----
<i>Peso específico del suelo sobre el nivel freático</i>	γ_{unsat}	16.088	kN/m ³
<i>Peso específico del suelo bajo el nivel freático</i>	γ_{sat}	19.780	kN/m ³
<i>Permeabilidad en dirección horizontal</i>	k_x	6.00E-07	m/min
<i>Permeabilidad en dirección vertical</i>	k_y	6.00E-07	m/min
<i>Módulo de Young</i>	E_{ref}	2400	kN/m ²
<i>Coeficiente de Poisson</i>	ν	0.45	-----
<i>Cohesión</i>	c_{ref}	36.3	kN/m ²
<i>Ángulo de fricción</i>	φ	0	°
<i>Ángulo de dilatación</i>	ψ	0	°
<i>Coeficiente de presión lateral de tierras</i>	K_a	1.00	-----

Tabla 12. Resumen de parámetros de la subrasante



4.2.2 Parámetros de la Capa Base

La composición del material de la capa base, según los métodos de clasificación de suelos SUCS y AASHTO a través de un ensayo granulométrico, determinó que sus características corresponden a una grava con partículas finas entre arcillas y limos (GC-GM). Se puede observar a detalle los resultados de los ensayos en la sección Anexos, resultados ensayos de laboratorio, 2. Ensayos base

El proceso para la determinación de los parámetros del material granular de la capa base, es el mismo que para el suelo de la subrasante. Primeramente se determina el **peso específico saturado**, como se indica a continuación:

Se calcula el peso de suelo seco a partir de los valores proyectados, en el ensayo de proctor modificado para el peso específico seco máximo (γ_d) de 2061 kg/m^3 que se obtuvo en el laboratorio, según se puede visualizar en la sección Anexos, resultados ensayos de laboratorio, 2. Ensayos base.

Obtenemos el valor del peso húmedo del suelo y el porcentaje de humedad, como se detalla a continuación:

$$W_{\text{suelo húmedo}} = 4926 \text{ gr}$$

$$\% \omega = \text{porcentaje de humedad} = 9.71\%$$

reemplazando estos valores en la ecuación (51), se calcula el peso de suelo seco:

$$W_{\text{suelo seco}} = 4490 \text{ gr}$$

Para el volumen de agua, se adopta la cantidad incrementada de agua para alcanzar el peso específico seco máximo, como se indica en la sección Anexos, resultados ensayos de laboratorio, 2. Ensayos base.

$$V_w = 300 \text{ cm}^3$$



Para el volumen de vacíos, se reemplaza el volumen de agua en la ecuación (49) y se acepta como cero el valor del volumen de aire, ya que la muestra de material granular se encuentra saturada. El resultado obtenido es el siguiente:

$$V_v = 300 \text{ cm}^3$$

Ahora se obtiene el volumen de suelo, reemplazando en la ecuación (54) los valores del volumen del molde (para este ensayo es de 2179 cm^3) y el volumen de vacíos calculado en el paso anterior. El resultado se lo presenta a continuación:

$$V_s = 1879 \text{ cm}^3$$

Los valores calculados del volumen de vacíos y el volumen del suelo, se los reemplaza en la ecuación (48). El valor de la relación de vacíos será el siguiente:

$$e = 0.16$$

Consecuentemente con el valor resultante de la relación de vacíos, se procede a calcular la gravedad específica reemplazando los valores en la ecuación (47):

$$G_s = 2.4$$

Finalmente, calculamos el valor de peso específico saturado como se expresa en la ecuación (46):

$$\gamma_{sat} = 2207 \text{ kg/m}^3 = 21.65 \text{ kN/m}^3$$

El segundo parámetro en ser establecido fue el **peso específico no saturado**, o sobre el nivel freático. En este caso, el valor asumido fue del peso específico seco máximo (γ_d) de 2061 kg/m^3 que se obtuvo en el laboratorio, ya que el ensayo fue desarrollado con la humedad óptima que le corresponde a este peso específico, de tal forma que para la simulación será adoptado este valor:

$$\gamma_{unsat} = 2061 \text{ kg/m}^3 = 20.218 \text{ kN/m}^3$$



El siguiente parámetro en ser obtenido fue la **permeabilidad** del suelo. Para el caso del suelo de la capa base se asumió el valor de $k = 1 \text{ cm/s}$ o 0.6 m/min como se indica en la Tabla 9 para un suelo con grava y arena.

El valor del coeficiente de permeabilidad k , es asumido tanto para la dirección horizontal y vertical.

Paralelamente se obtuvo el **Módulo de Young** y el **Coeficiente de Poisson** a través de la Tabla 10.

Por lo tanto se asumen los siguientes valores para una grava densa:

$$E_s = 150 \text{ MPa} = 150000 \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 0.35$$

Para la **cohesión** se asume un valor de cero, tomando en cuenta que el material de la capa base no es cohesivo. Por tal razón, se adopta este valor en función de la Tabla 13.

	Cohesion (kPa)
gravel	—
sandy gravel with few fines	—
sandy gravel with silty or clayey fines	1.0
mixture of gravel and sand with fines	3.0
uniform sand — fine	—
uniform sand — coarse	—
well-graded sand	—
low-plasticity silt	2.0
medium- to high-plasticity silt	3.0
low-plasticity clay	6.0
medium-plasticity clay	8.0
high-plasticity clay	10.0
organic silt or clay	7.0

Tabla 13. Propiedades de resistencia de diferentes tipos de suelos.

Fuente: Ortiz (1986)



Para la obtención del **ángulo de fricción**, se partió de la clasificación del material granular que corresponde a una grava con arenas limosas (GM-GC) y que se detalla en la sección Anexos, resultados ensayos de laboratorio, 2. Ensayos base. Para el efecto, se revisó la Tabla 14 y se asumió un ángulo de fricción igual 40°, para una grava con algo de arena.

Tipo de suelo	ϕ (grados)
<i>Arena: granos redondeados</i>	
Suelta	27–30
Media	30–35
Densa	35–38
<i>Arena: granos angulares</i>	
Suelta	30–35
Media	35–40
Densa	40–45
<i>Grava con algo de arena</i>	34–48
Limos	26–35

Tabla 14. Ángulos de fricción para arenas y limos
Fuente: Fundamentos de Ingeniería geotécnica, Braja M. Das

El **ángulo de dilatancia** se lo calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\psi = \phi - 30 \quad (\text{Plaxis Version 8 material models manual}) \quad (55)$$

reemplazando el ángulo de fricción cuyo valor es igual a 40°, resulta que el ángulo de dilatancia es de 10°.

El último parámetro alcanzado es el **coeficiente de presión lateral de tierras**, que de acuerdo a la Tabla 15, se asumió un valor de $k_a = 0.22$



Ángulo de fricción ϕ del suelo (grados)	$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$
20	0.490
21	0.472
22	0.455
23	0.438
24	0.422
25	0.406
26	0.395
27	0.376
28	0.361
29	0.347
30	0.333
31	0.320
32	0.307
33	0.295
34	0.283
35	0.271
36	0.260
37	0.249
38	0.238
39	0.228
40	0.217
41	0.208
42	0.198
43	0.189
44	0.180
45	0.172

Tabla 15. Variación del coeficiente de presión lateral de tierras

Fuente: Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Braja Das (2001)

Finalmente, el comportamiento asumido para este suelo es de tipo drenado, debido a que al aplicarse una carga instantánea, el agua contenida en su estructura filtra rápidamente a través de ésta.

En resumen, se presentan los parámetros de la capa base en la Tabla 16.



DESCRIPCIÓN PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<i>Modelo utilizado para evaluar el Material</i>	<i>Modelo</i>	Mohr-Coulomb	-----
<i>Tipo de comportamiento del material</i>	<i>Tipo</i>	Drained	-----
<i>Peso específico del suelo sobre el nivel freático</i>	γ_{unsat}	20.218	kN/m ³
<i>Peso específico del suelo bajo el nivel freático</i>	γ_{sat}	21.650	kN/m ³
<i>Permeabilidad en dirección horizontal</i>	k_x	0.6	m/min
<i>Permeabilidad en dirección vertical</i>	k_y	0.6	m/min
<i>Módulo de Young</i>	E_{ref}	150000	kN/m ²
<i>Coeficiente de Poisson</i>	ν	0.35	-----
<i>Cohesión</i>	c_{ref}	0	kN/m ²
<i>Ángulo de fricción</i>	φ	40	°
<i>Ángulo de dilatación</i>	ψ	10	°
<i>Coeficiente de presión lateral de tierras</i>	K_a	0.22	-----

Tabla 16. Resumen de parámetros de la capa de base

En lo que concierne a los parámetros del geotextil NT-1800 y la geomalla biaxial BX-1200 que serán empleados en las simulaciones, sus parámetros más importantes se resumen en la sección 3.1., Tablas 3 y 4. No obstante, el único parámetro que solicita el software Plaxis 8.6 es la resistencia a la tensión que en este caso son: 9.6 kN/m y 128.72 kN/m respectivamente.

4.3 MODELACIÓN DE LOS ENSAYOS.

Para corroborar los resultados obtenidos en el laboratorio, se procedió con la simulación de cada uno de los ensayos realizados sobre las muestras de pavimento. Se representó el comportamiento del suelo, su interacción con las estructuras de reforzamiento y el tipo de falla producida. Para el efecto, se utilizó el software Plaxis 8.6 que es un programa de elementos finitos utilizado principalmente para aplicaciones geotécnicas y en donde se



puede evaluar el comportamiento de un suelo en función del modelo diseñado por el usuario. La precisión y la exactitud en los resultados que se obtengan del modelo evaluado, dependerán fundamentalmente de la confiabilidad en los parámetros geomecánicos del suelo, las condiciones de frontera, las cargas aplicadas sobre el modelo y de la experticia del usuario.

Para analizar el comportamiento del suelo, el programa cuenta con una base de datos de los modelos de evaluación para diferentes tipos de suelos. En este caso se utilizará la teoría de Mohr-Coulomb que es un modelo matemático que se aplica en el campo de la geotecnia que expone claramente el modo de falla por corte de un suelo y se aplica a cualquier tipo de material sin particularizar sus propiedades mecánicas.

Para iniciar con la simulación, el programa requiere que se ingresen los primeros datos de entrada como es el caso de las opciones generales tales como: el título del proyecto, el modelo de análisis, el número de nodos y la aceleración de la gravedad, según como se representa en la Figura 20.

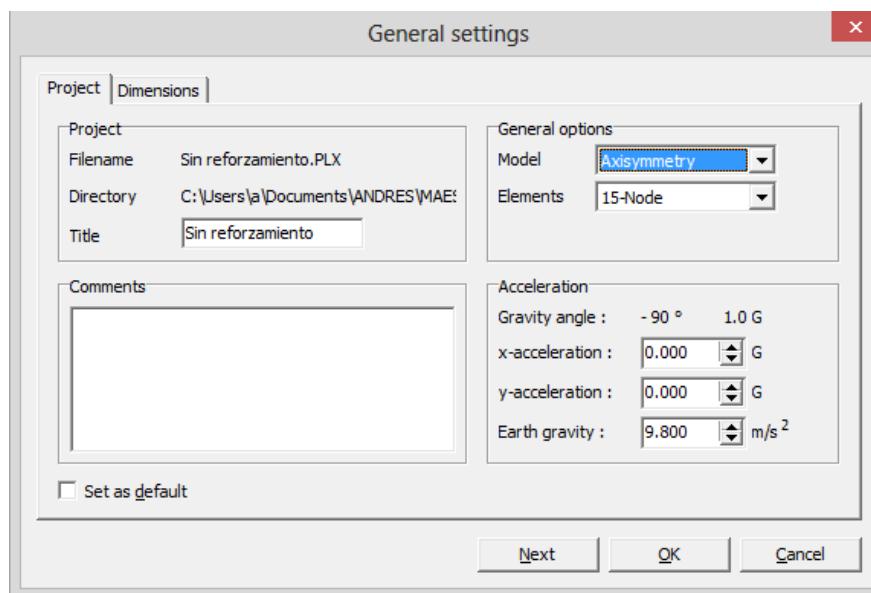


Figura 20. Opciones generales para la simulación del ensayo sin reforzamiento
Fuente: Software Plaxis 8.6

Se evaluará mediante un modelo axisimétrico, es decir, que todos los semiplanos que contiene un eje de simetría común, tendrán las mismas características de: parámetros del suelo, condiciones de frontera, cargas aplicadas sobre el modelo, según se indica en la Figura 21.

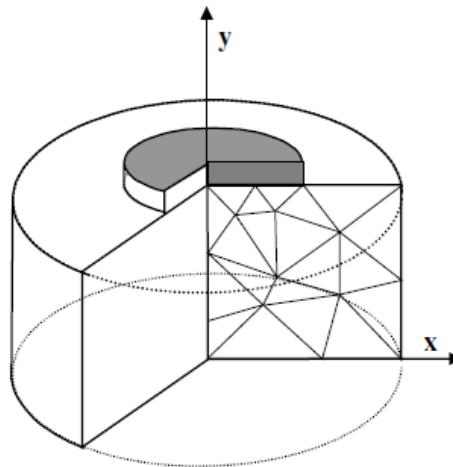


Figura 21. Diagrama de un modelo axisimétrico

Fuente: Manual de referencia Plaxis Versión 8

Los elementos que discretizan la estructura completa del suelo, estarán conformadas por 15 nodos que evalúan las tensiones normales y tangenciales que el programa selecciona por defecto. Cada elemento tiene una forma triangular y todos en conjunto generan una malla sobre la estructura completa del suelo. Se conectan a partir de sus aristas.

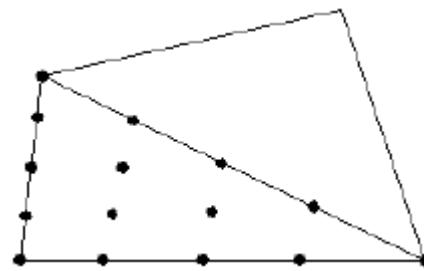


Figura 22. Posición de los nodos dentro de un elemento del suelo

Fuente: Manual de referencia Plaxis Versión 8

El valor de la gravedad adoptado será de 9.80 m/s^2 , que el programa lo asigna por defecto.



A continuación, en la pestaña dimensiones, se asignan las unidades con las que se va a trabajar, las características geométricas del modelo y el tamaño de la grilla según se puede observar en la Figura 23. Se debe aclarar que las dimensiones serán únicamente del semiplano de la muestra de suelo, debido a que se trata de un modelo axisimétrico como se indicó en un párrafo anterior.

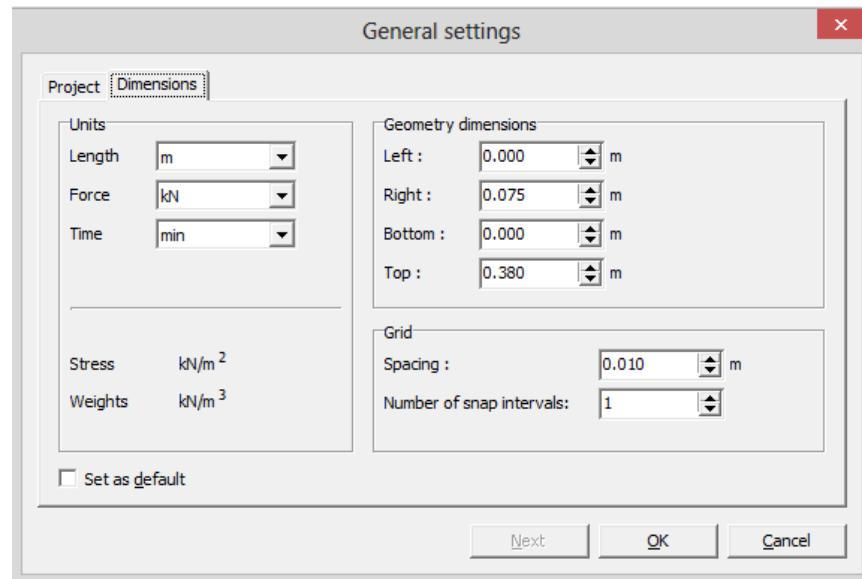


Figura 23. Opciones generales, pestaña dimensiones
Fuente: Software Plaxis 8.6

Ahora se procede con la asignación de las características de los suelos. Para ello, se elige la opción propiedades del material. Se crea un nuevo tipo de suelo y se despliega una cuadro de diálogo en donde se habilita la pestaña general, que pide ingresar el nombre o identificación del suelo, el modelo para analizar el comportamiento del material, el tipo de comportamiento del material, el peso específico sobre y bajo el nivel freático y su permeabilidad, como se indica en la Figura 24.

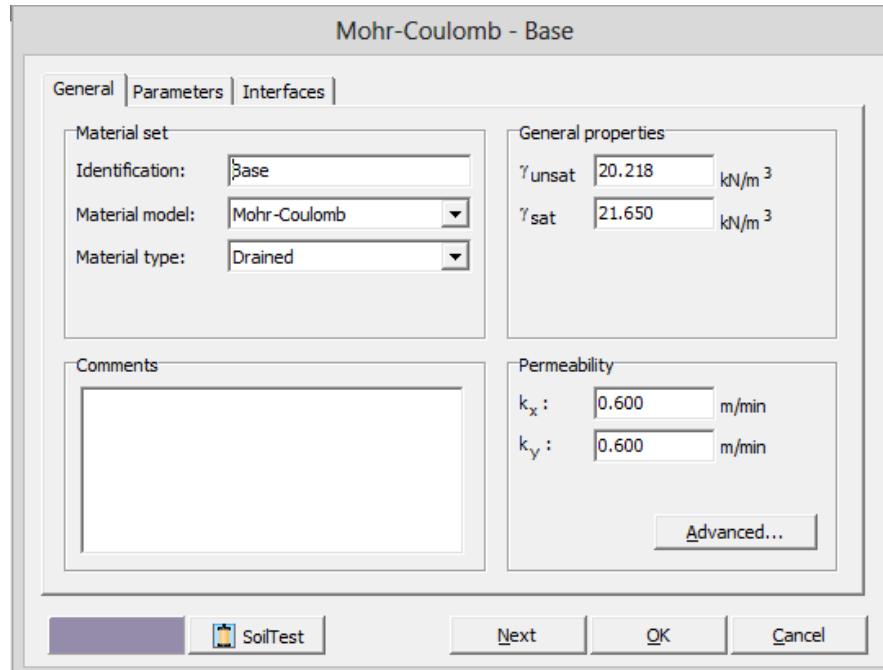


Figura 24. Propiedades generales del suelo

Fuente: Software Plaxis 8.6

Consecuentemente se abre la pestaña parámetros en donde se requiere ingresar el módulo de rigidez del suelo, el coeficiente de Poisson, la cohesión efectiva, el ángulo de fricción efectiva y el ángulo de dilatancia. Los parámetros restantes se generan por defecto o en función a los valores antes ingresados, como se demuestra en la Figura 25.



Mohr-Coulomb - Base

<input type="button" value="General"/> <input type="button" value="Parameters"/> <input type="button" value="Interfaces"/>
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> Stiffness E_{ref} : <input type="text" value="1.500E+05"/> kN/m² v (nu) : <input type="text" value="0.350"/> </div> <div style="width: 45%;"> Strength c_{ref} : <input type="text" value="1.000E-04"/> kN/m² ϕ (phi) : <input type="text" value="40.000"/> ° ψ (psi) : <input type="text" value="10.000"/> ° </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> Alternatives G_{ref} : <input type="text" value="5.556E+04"/> kN/m² E_{oed} : <input type="text" value="2.407E+05"/> kN/m² </div> <div style="width: 45%;"> Velocities V_s : <input type="text" value="164.100"/> m/s V_p : <input type="text" value="341.600"/> m/s </div> </div>
<input type="button" value="Advanced..."/>
<input type="button" value="SoilTest"/> <input type="button" value="Next"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>

Figura 25. Parámetros del suelo.

Fuente: Software Plaxis 8.6

En la pestaña interfaces, se define un valor para el factor de reducción de esfuerzos que afecta directamente a la zona de contacto de los dos materiales, sean los casos: subrasante-material granular, subrasante-geosintético y material granular-geosintético.

Mohr-Coulomb - Base

<input type="button" value="General"/> <input type="button" value="Parameters"/> <input type="button" value="Interfaces"/>
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> Strength <input type="radio"/> Rigid <input checked="" type="radio"/> Manual R_{inter} : <input type="text" value="0.500"/> </div> <div style="width: 45%;"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> Real interface thickness δ_{inter} : <input type="text" value="0.000"/> </div> <div style="width: 45%;"> </div> </div>
<input type="button" value="SoilTest"/> <input type="button" value="Next"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>

Figura 26. Interfaces del suelo

Fuente: Software Plaxis 8.6

El material geosintético no puede propiamente tomar en cuenta el mecanismo de anclaje del agregado sobre su contextura, para que se pueda proveer un incremento en la rigidez local del pavimento. De modo que para la modelación, se debe capturar los esfuerzos a través del ángulo de fricción efectiva en la interface, el cual será más bajo que la máxima fricción entre partículas en un medio homogéneo. El rol de esta interacción agregado-geosintético es determinado a través del factor de reducción de esfuerzos R_{inter} (Indraratna & Nimbalkar, 2013), que está en función de las propiedades físicas del material (como por ejemplo el ángulo de fricción y cohesión para un suelo) y se lo definió a través de la siguiente tabla:

INTERFACE	FACTOR DE REDUCCIÓN DE ESFUERZOS R_{inter}
Material granular-suelo subrasante	1/2
Geotextil-material granular	1/2
Geotextil-suelo subrasante	1/2
Geomalla-material granular	2/3
Geomalla-suelo subrasante	2/3

Tabla 17. Factor de reducción de esfuerzos para distintas interfaces

Fuente: Stress-strain degradation response of railway ballast stabilized with geosynthetics. (Indraratna & Nimbalkar, 2013)

Para definir las características mecánicas del pistón, el programa únicamente requiere de dos parámetros de importancia como son: la rigidez axial y la rigidez a flexión. No obstante, la rigidez a flexión se obtiene a partir del espesor del pistón y de la rigidez axial, tal como se presenta en la siguiente ecuación:

$$d_{eq} = \sqrt{12 \frac{EI}{EA}} \quad (\text{Plaxis Version 8, Reference Manual}) \quad (56)$$

donde:

d_{eq} = espesor del pistón.

EI = rigidez a flexión

EA = rigidez axial



La representación de los datos ingresados, correspondientes a las propiedades físicas y mecánicas del pistón, se detallan en la Figura 27.

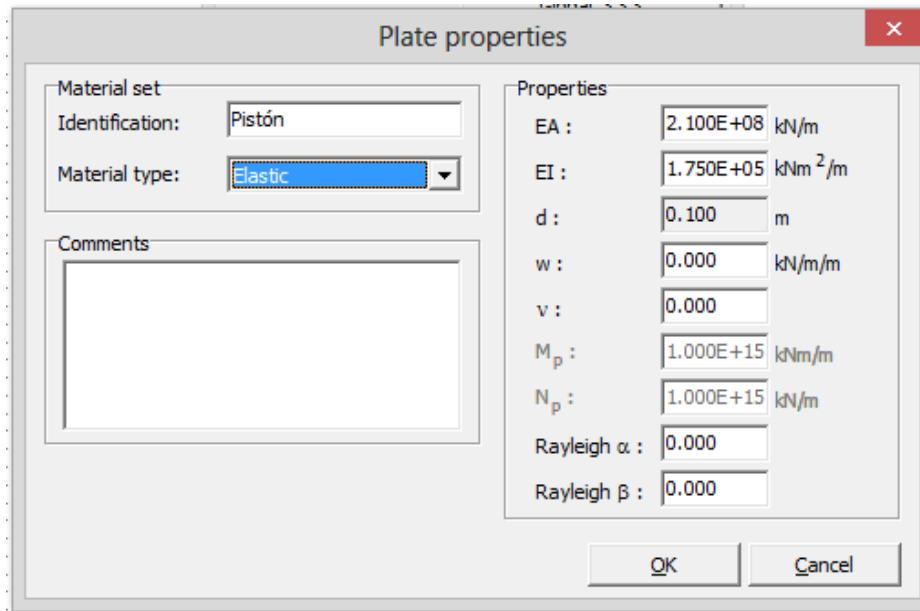


Figura 27. Parámetros del pistón

Fuente: Software Plaxis 8.6

Con relación a las condiciones de carga, se estableció un desplazamiento prescripto sobre la superficie de la muestra, es decir, se asignó el valor del asentamiento que la muestra alcanzó durante el ensayo, de tal manera que el programa establezca la carga aplicada que le correspondería a este desplazamiento. Los parámetros ingresados se detallan en la Figura 28.

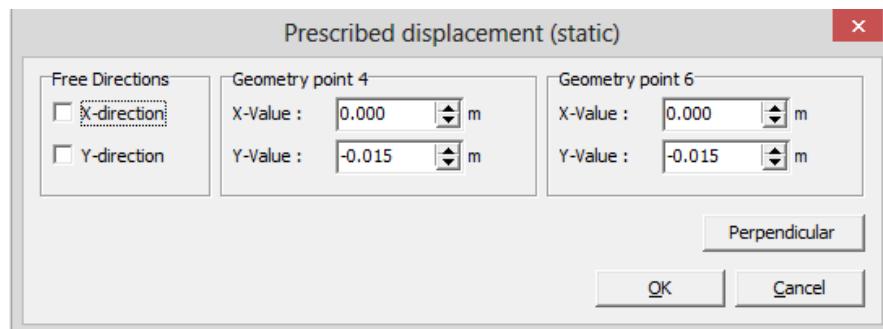


Figura 28. Desplazamiento prescripto

Fuente: Software Plaxis 8.6

Posteriormente, antes de ejecutar el programa, se definirán las condiciones de contorno o frontera que se asignará a la geometría del modelo. Aquí se indican los grados de libertad o restricción de los movimientos horizontales o verticales en los nodos externos de la muestra. Para este estudio, las condiciones de frontera son:

- Restricción en el eje x y libertad de movimiento en el eje y para el lado izquierdo y derecho de la muestra.
- El movimiento en la parte inferior se restringe tanto para el eje x como para el eje y (ver Figura 29).

No se tomará en cuenta la presencia del nivel freático pues no se está analizando la influencia de la presión de poros.

De este modo, el semiplano de la muestra de pavimento a ser analizada se la representa en la Figura 29.

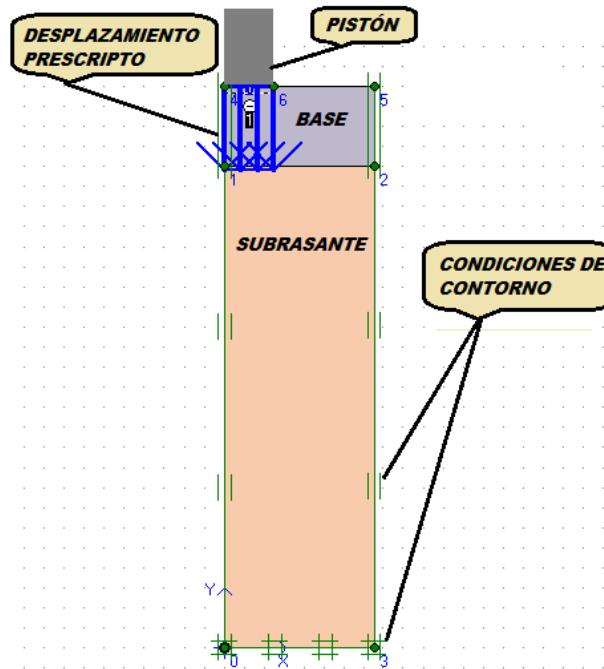


Figura 29. Semiplano de la muestra de pavimento
Fuente: Software Plaxis 8.6



El paso final antes de la modelación, corresponde a la etapa de cálculo. En la pestaña general, se puntualiza el número de fases y el tipo de cálculo que se efectuará. Se estableció una sola fase de cálculo en un régimen de análisis plástico (ver Figura 30).

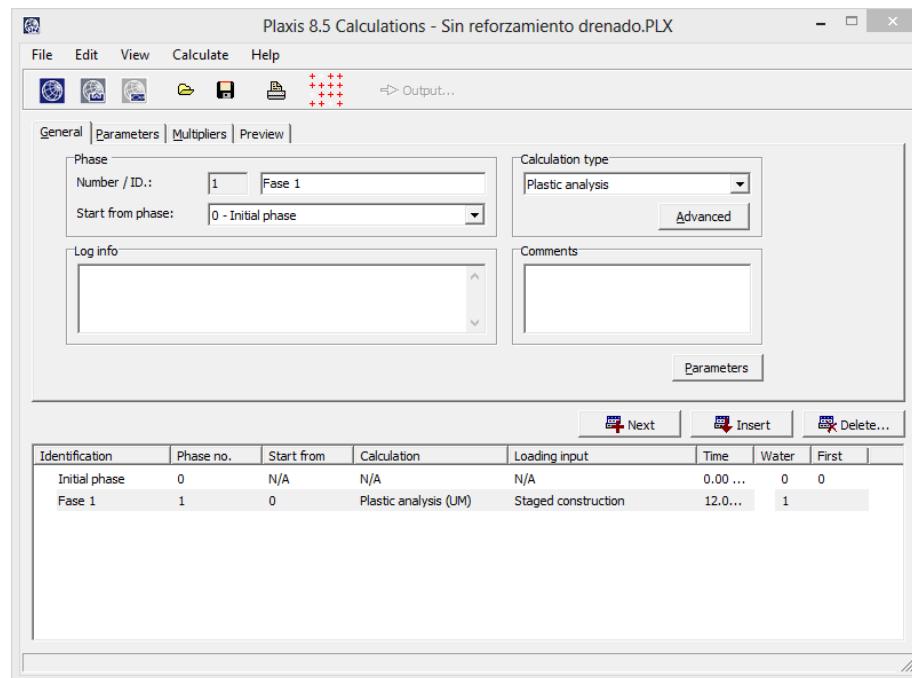
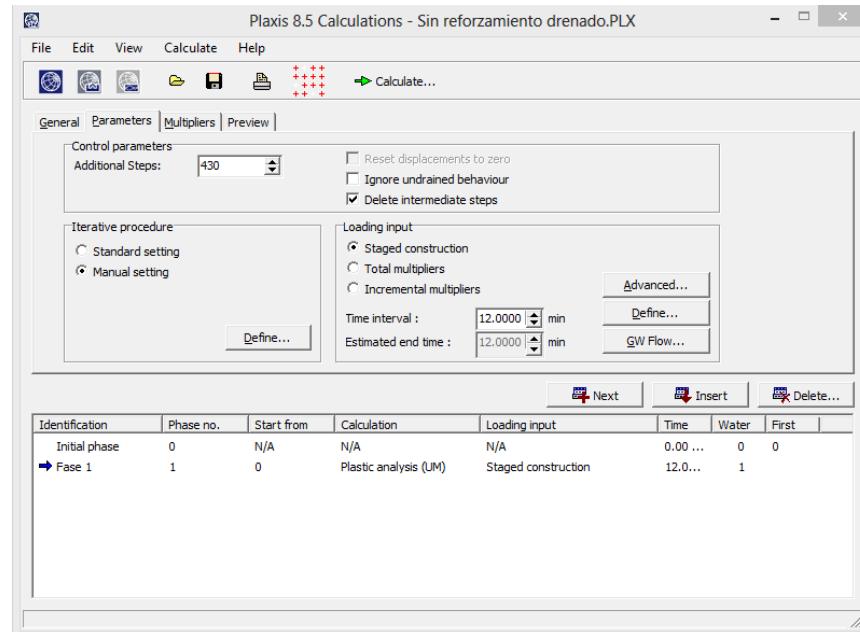


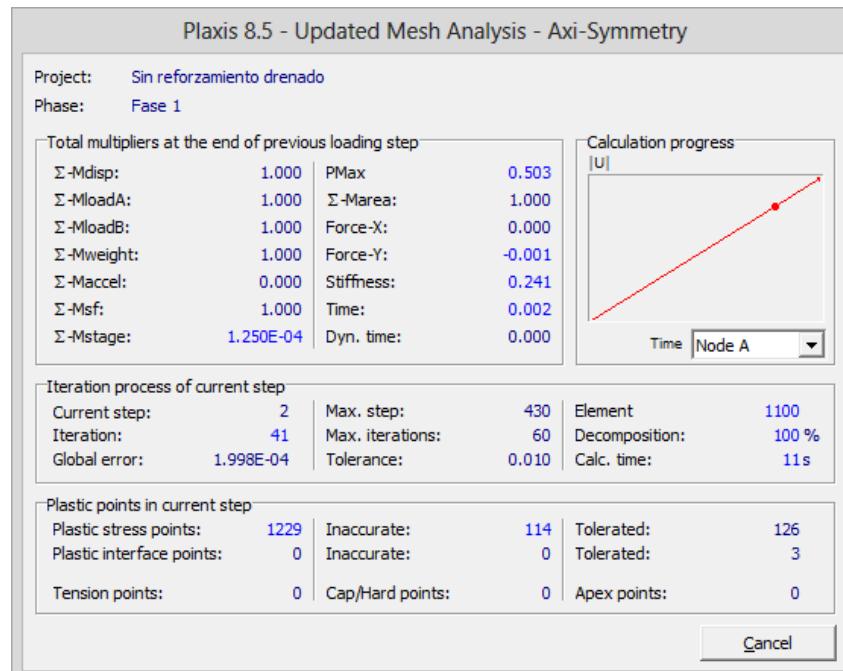
Figura 30. Etapa de cálculo, datos generales
Fuente: Software Plaxis 8.6

En la pestaña parámetros se especifica el número pasos que realizará el programa para el proceso de cálculo, el tiempo y la forma de aplicación de la carga (ver Figura 31).

**Figura 31.** Etapa de cálculo, parámetros

Fuente: Software Plaxis 8.6

Para finalizar, se ejecuta la etapa de cálculo (ver Figura 32) que lleva a cabo el programa Plaxis 8.6. Los resultados de la modelación se presentan en la siguiente sección de este capítulo.

**Figura 32.** Etapa de cálculo

Fuente: Software Plaxis 8.6

4.4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN.

Para la interpretación de los resultados, se analizaron los nodos de los elementos discretizados que se encuentran entre los puntos A-B a 24 cm desde el fondo de la muestra (interacción base-subrasante) y C-D en la superficie a 28 cm desde el fondo. Se evaluaron los puntos de tensión y las deformaciones que se produjeron entre los mencionados puntos y que se encuentran representados en la Figura 33.

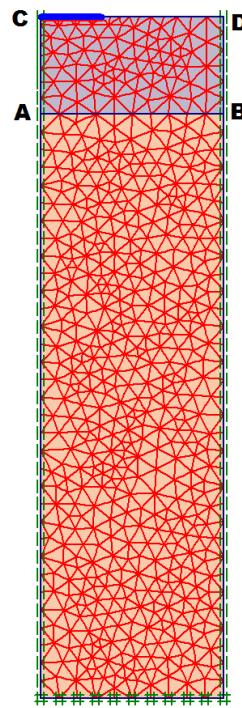


Figura 33. Nodos a analizar de la muestra
Fuente: Software Plaxis 8.6

4.4.1 DEFORMACIONES

Los resultados de deformaciones que proporciona el programa Plaxis 8.6, se los puede visualizar a través de gráficas ilustrativas, tal es el caso de: una malla deformada a la izquierda y de matices a la derecha, según se indica en la Figura 34. Además se puede generar los resultados numéricos de deformación en cada uno de los elementos del modelo discretizado. De esta manera, se pudo graficar el perfil deformado versus el no deformado de cada uno de los escenarios, a alturas de 24 y 28 cm desde la base del

modelo. Las tablas de valores numéricos se las anexa al final del estudio. (Anexos, resultados simulaciones)

Como punto de partida, se recopilaron los resultados para el escenario **sin reforzamiento**. Se puede observar el asentamiento sobre la estructura del pavimento como se indica en la Figura 34.

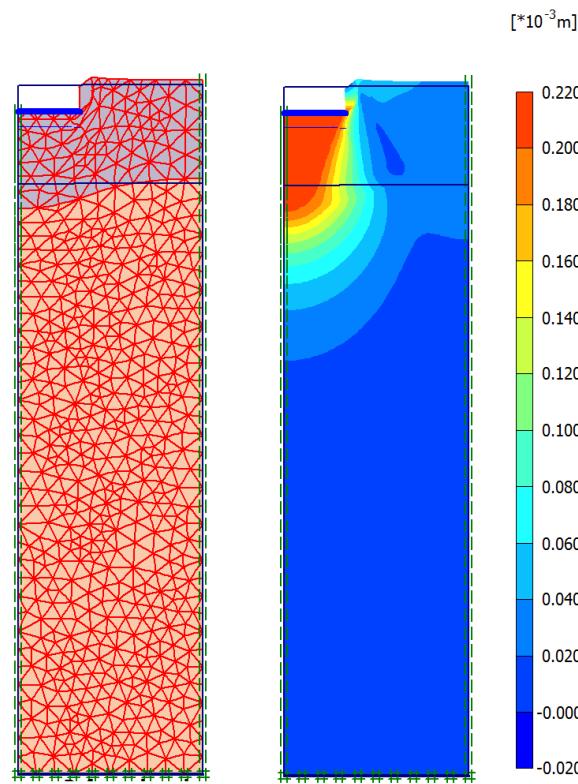


Figura 34. Muestra deformada (sin reforzamiento)
Fuente: Software Plaxis 8.6

Como se puede ver, las mayores deformaciones se dan en la capa de material granular que se encuentra directamente bajo el pistón. El desplazamiento máximo alcanzado es de 2.13×10^{-4} m y está diferenciado por el color rojo como se indica en la Figura 34.

En la Figura 35, se expone el perfil no deformado de la muestra ensayada de color azul y deformado de color naranja, a una altura de 0.28 m desde la base del molde. Se puede observar que el asentamiento prescrito toma la forma del pistón hasta un valor en el eje x de 0.0267 m. Desde este punto hasta la cara externa del molde, es decir, a 0.075 m, la

deformación aproximada se traslada unos 5×10^{-5} m sobre el perfil original de la muestra (no deformado).

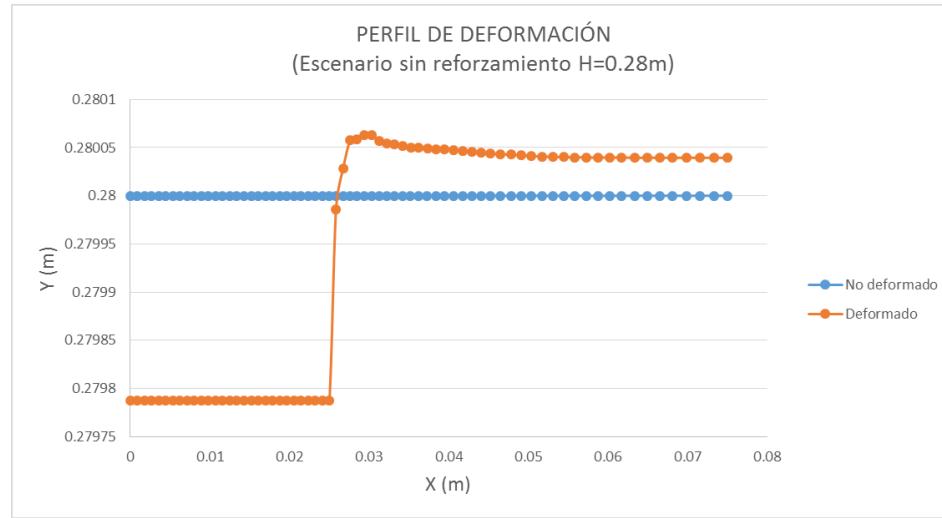
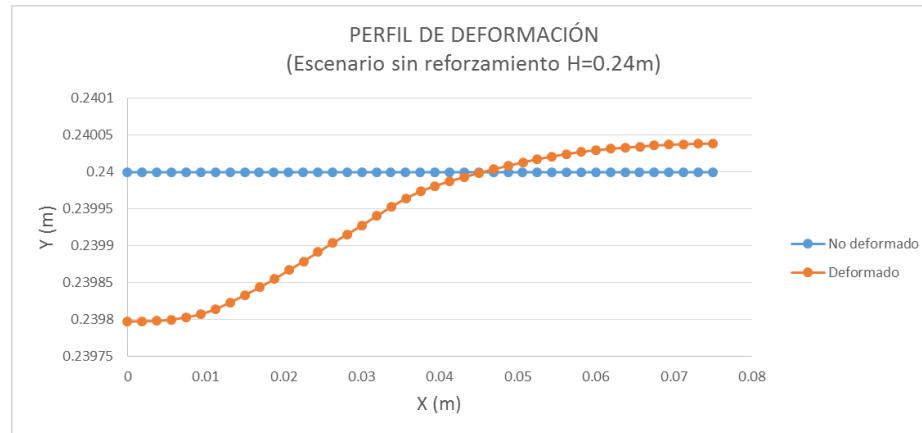


Figura 35. Perfil de deformación (sin reforzamiento $H=28$ cm)
Fuente: Software Plaxis 8.6

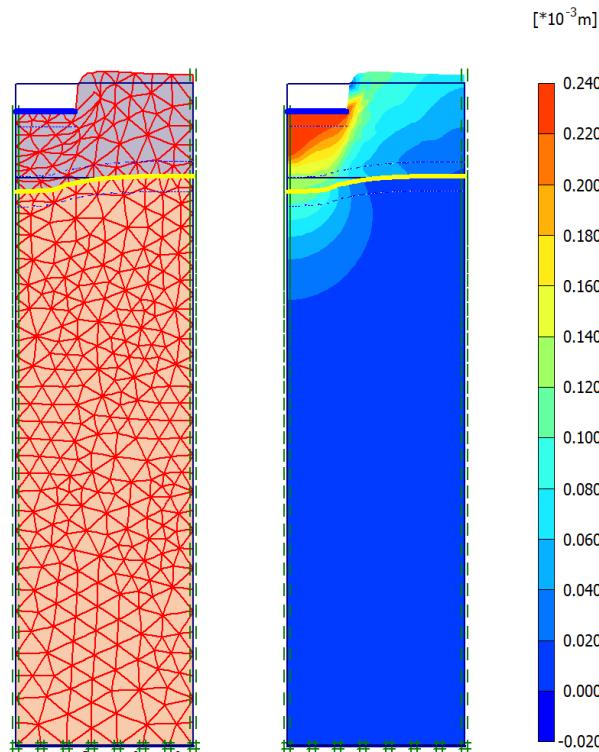
En la interface capa granular-subrasante, a 0.24 m desde la base del molde, la deformación alcanzada es de 2.02×10^{-4} m que se identifica con el color naranja según la Figura 34. Desde la base del molde hasta los 0.168 m, la deformación es cero.

En la Figura 36, se puede observar que el asentamiento toma la forma de una parábola desde el eje de la muestra hasta los 0.0469 m, en donde se intersecta con el perfil no deformado. A partir de este punto hasta la cara externa del molde, la deformación aproximada se traslada 4×10^{-5} m sobre el perfil original de la interface.

**Figura 36.** Perfil de deformación (sin reforzamiento $H=28$ cm)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Para el escenario **con geotextil** se puede visualizar que las deformaciones disminuyen en la interface capa granular-geotextil-subrasante, con relación al escenario anterior (ver Figura 37):

**Figura 37.** Muestra deformada (con geotextil)

Fuente: Software Plaxis 8.6



Al igual que para el caso sin reforzamiento, las mayores deformaciones se concentran en la capa de material granular que se encuentra directamente bajo el pistón. El desplazamiento máximo alcanzado es de 2.38×10^{-4} m, diferenciado por el color rojo en la Figura 37.

En la Figura 38, también el asentamiento prescrito toma la forma del pistón hasta alcanzar un valor en el eje x de 0.0274 m. Desde este punto hasta la cara externa del molde, la deformación aproximada se traslada 9.5×10^{-5} m sobre el perfil original de la muestra (no deformado).

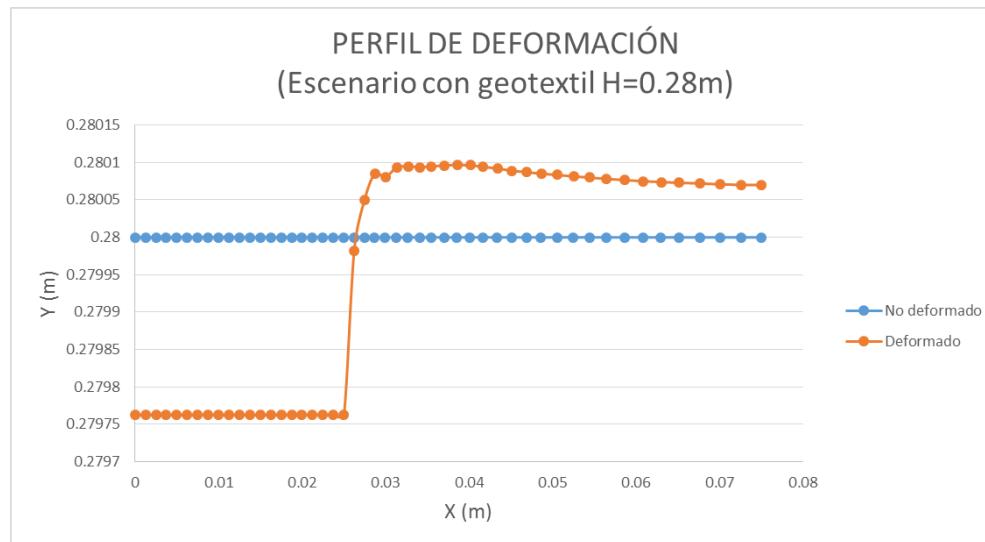


Figura 38. Perfil de deformación (con geotextil H=28 cm)
Fuente: Software Plaxis 8.6

En la interface capa granular-geotextil-subsistema, la deformación alcanzada es de 1.19×10^{-4} m que se identifica con el color verde claro según la Figura 37. Desde la base del molde hasta los 0.188 m, la deformación es cero.

En la Figura 39, al igual que para el caso sin reforzamiento, el asentamiento toma la forma de una parábola desde el eje de la muestra hasta los 0.04001 m en donde se intersecta con el perfil no deformado. A partir de este punto hasta la cara externa del molde, la deformación aproximada se traslada 1.6 E-5 m sobre el perfil original de la interface.

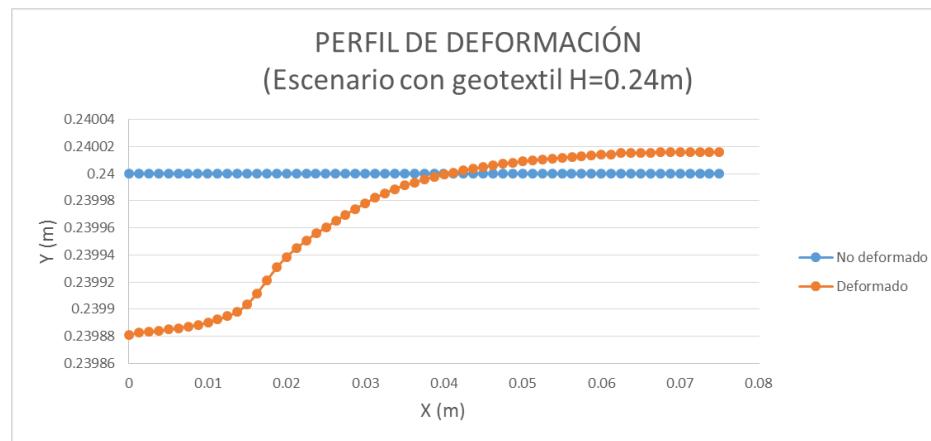


Figura 39. Perfil de deformación (con geotextil H=24 cm)

Fuente: Software Plaxis 8.6

De igual manera que para el caso anterior, en el escenario **con geotextil y geomalla** las deformaciones se reducen en la interface base granular-geomalla-geotextil-subrasante, según lo indica la Figura 40:

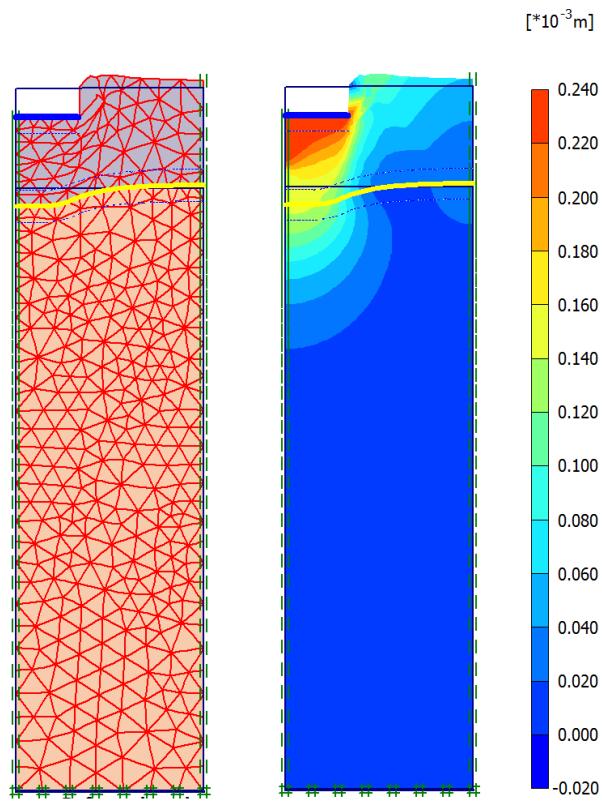
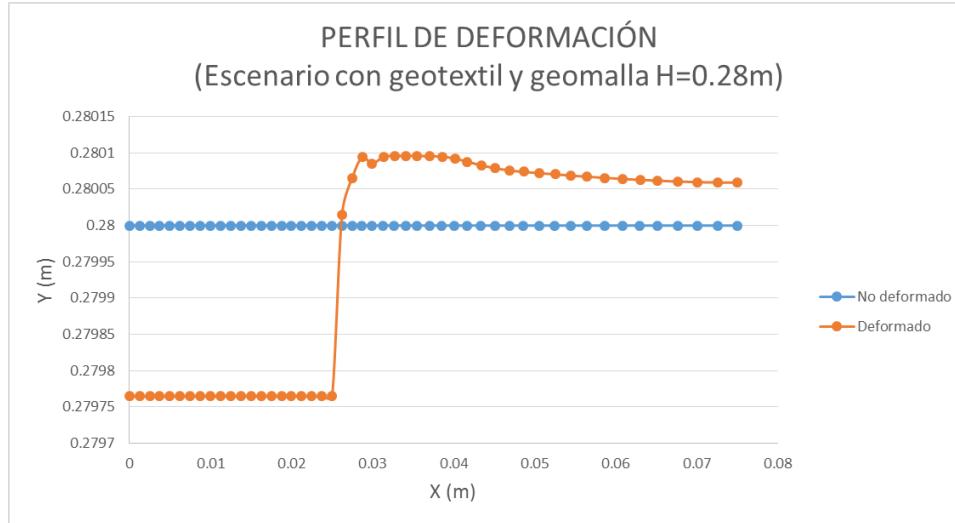


Figura 40. Muestra deformada (con geotextil y geomalla)
Fuente: Software Plaxis 8.6

El desplazamiento máximo alcanzado es de $2.36 \times 10^{-4} \text{ m}$, que se encuentra directamente bajo el pistón y se lo diferencia por el color rojo tal como indica la Figura 40.

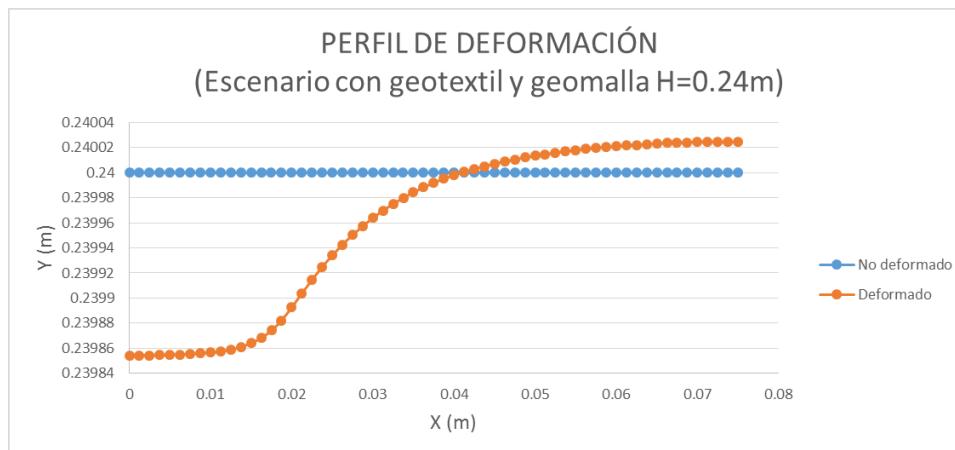
En la Figura 41, el asentamiento prescrito toma la forma del pistón hasta alcanzar un valor en el eje x de 0.0262 m . Desde este punto hasta la cara externa del molde, la deformación aproximada se traslada $9.6 \times 10^{-5} \text{ m}$ sobre el perfil original de la muestra (no deformado).

**Figura 41.** Perfil de deformación (con geotextil y geomalla H=28 cm)

Fuente: Software Plaxis 8.6

En la interface capa granular-geomalla-geotextil-subrasante, la deformación alcanzada es de 1.46×10^{-4} m que se identifica con el color verde claro según la Figura 40. Desde la base del molde hasta los 0.175 m, la deformación es cero.

En la Figura 42, el asentamiento se asemeja a la forma de una parábola desde el eje de la muestra hasta los 0.04125 m en donde se intersecta con el perfil no deformado. A partir de este punto hasta la cara externa del molde, la deformación aproximada se traslada 2.4×10^{-5} m sobre el perfil original de la interface.

**Figura 42.** Perfil de deformación (con geotextil y geomalla H=24 cm)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Para el escenario **con geomalla** las deformaciones aumentaron con relación al escenario 2 y 3 en la interface base granular-geomalla-subrasante, según lo indica la Figura 43:

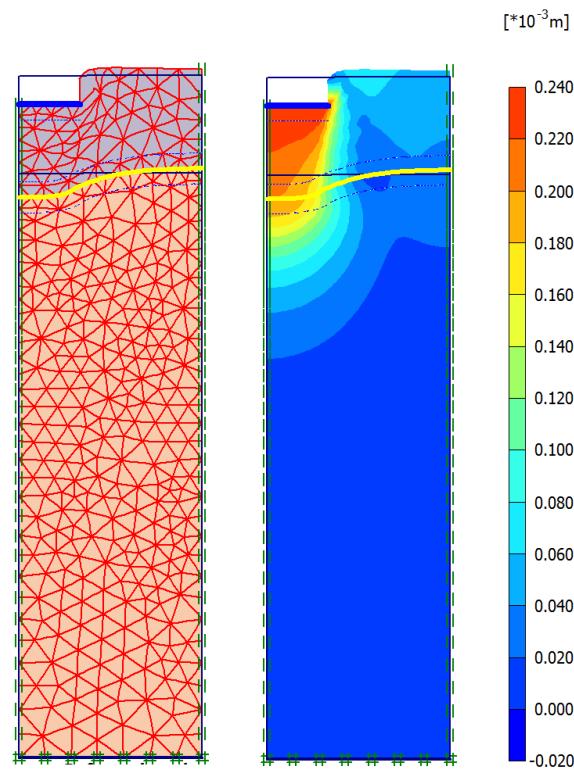
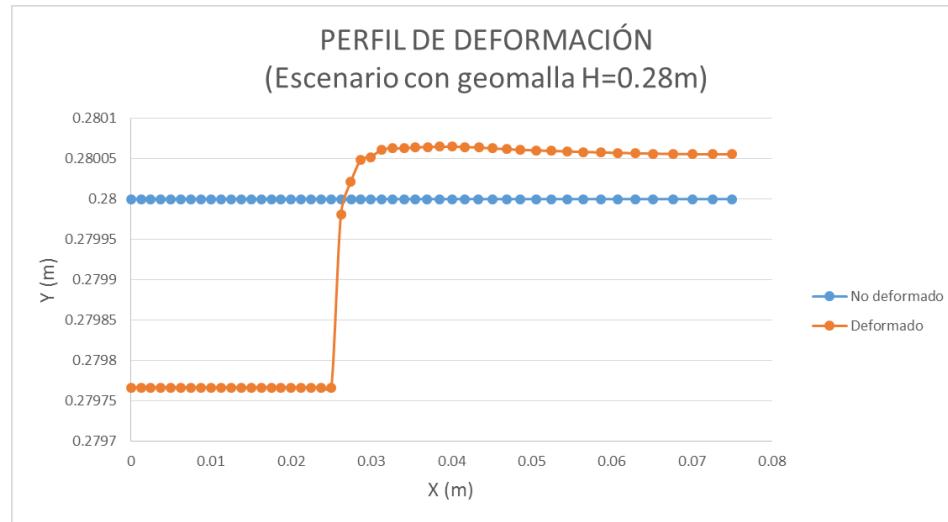


Figura 43. Muestra deformada (con geomalla)
Fuente: Software Plaxis 8.6

El desplazamiento máximo alcanzado es de $2.33 \times 10^{-4} \text{ m}$, que se encuentra ubicado bajo el pistón y se lo diferencia por el color rojo tal como indica la Figura 43.

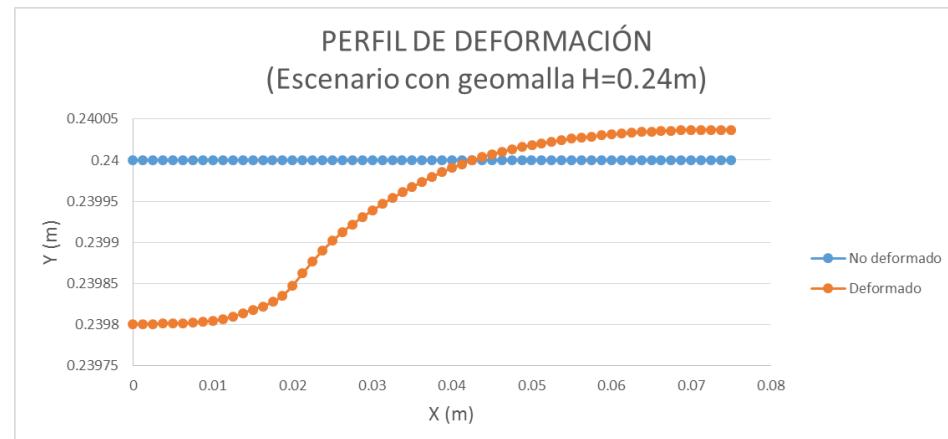
En la Figura 44, el asentamiento toma la forma del pistón hasta alcanzar un valor en el eje x de 0.0274 m . Desde este punto hasta la cara externa del molde, la deformación aproximada se traslada $6.4 \times 10^{-5} \text{ m}$ sobre el perfil original de la muestra (no deformado).

**Figura 44.** Perfil de deformación (con geomalla H=28 cm)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Para la interface de materiales, la deformación alcanzada es de 2 E-4 m que se identifica con el color naranja según la Figura 43. Desde la base del molde hasta los 0.164 m, la deformación es cero.

En la Figura 45, el asentamiento se asemeja a la forma de una parábola desde el eje de la muestra hasta los 0.0425 m en donde se intersecta con el perfil no deformado. A partir de este punto hasta la cara externa del molde, la deformación aproximada se traslada 3.7 E-5 m sobre el perfil original de la interface.

**Figura 45.** Perfil de deformación (con geomalla H=24 cm)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Finalmente, se presenta dos cuadros resumen de las deformaciones verticales alcanzadas en las simulaciones de las muestras ensayadas.

En la Tabla 18 se presenta la deformación máxima que se logró para cada uno de los escenarios; además se indica los puntos cartesianos en donde se ubican dichas deformaciones.

		DEFORMACIONES VERTICALES (EJE DE LA MUESTRA)					
		Descripción	Simbología	Sin reforzamiento	Con geotextil	Con geotextil y geomalla	Con geomalla
H=0.28m	Deformación máxima	ε_{\max} (m)		0.000213	0.000238	0.000236	0.000233
	Distancia horizontal	x(m)		0	0	0	0
	Distancia vertical	y(m)		0.279787	0.279762	0.279764	0.279767
H=0.24m	Deformación máxima	ε_{\max} (m)		0.000202	0.000119	0.000146	0.000199
	Distancia horizontal	x(m)		0	0	0	0
	Distancia vertical	y(m)		0.239798	0.239881	0.239854	0.239801

Tabla 18. Deformaciones verticales

Por otro lado, en la Tabla 19 se indican los puntos cartesianos donde se da la intersección del perfil deformado y no deformado de la interface entre la capa base, la subrasante y los materiales geosintéticos. De igual manera se presentan los puntos de intersección en la superficie de la muestra de pavimento.

		INTERSECCIÓN CURVA DEFORMADA / NO DEFORMADA					
		Descripción	Simbología	Sin reforzamiento	Con geotextil	Con geotextil y geomalla	Con geomalla
H=0.28 m	Distancia horizontal	x(m)		0.02673	0.02747	0.02622	0.02744
	Distancia vertical	y(m)		0.28	0.28	0.28	0.28
H=0.24 m	Distancia horizontal	x(m)		0.04690	0.04001	0.04126	0.04251
	Distancia vertical	y(m)		0.24	0.24	0.24	0.24

Tabla 19. Punto de intersección curva deformada/no deformada

4.4.2 ESFUERZOS EFECTIVOS

Los resultados para los esfuerzos efectivos se los puede visualizar a través de las gráficas de matices, según se indica en la figura 46. Además se puede generar los resultados numéricos de los esfuerzos horizontales y verticales de cada uno de los elementos del modelo discretizado. De esta manera, se graficaron los esfuerzos en la capa base y en la subrasante a una altura de 24 cm desde la base del molde. Las tablas de valores numéricos se las anexa al final del estudio. (Anexos, resultados simulaciones)

Como punto de partida, se recopilaron los resultados para el escenario **sin reforzamiento**. En la Figura 46, se puede observar los esfuerzos desarrollados sobre la estructura de pavimento.

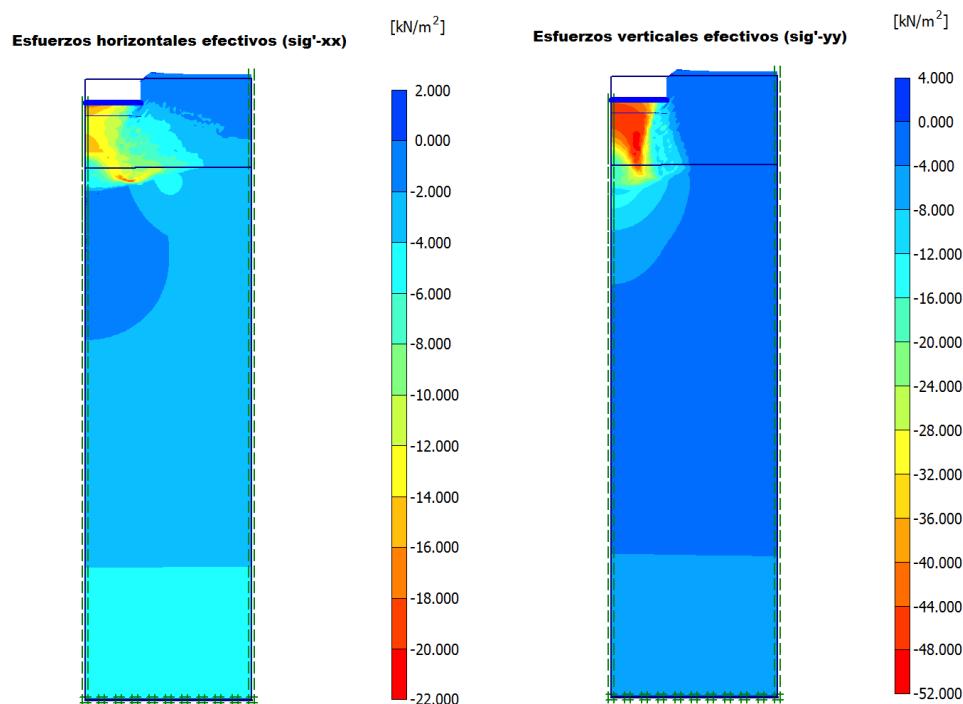


Figura 46. Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (sin reforzamiento)
Fuente: Software Plaxis 8.6

Se puede observar que los esfuerzos verticales son mayores a los horizontales y prácticamente el estrato de material granular absorbe todos los esfuerzos transmitidos por la carga axial. Es importante puntualizar que para este análisis, se evaluarán

únicamente los esfuerzos en la interface capa granular-subrasante pues es el punto de transición de ambos materiales y donde se desarrollan tensiones especiales por las propiedades particulares que tienen cada uno de los suelos.

En la Figura 47, se observa que los esfuerzos sobre la subrasante. Las tensiones horizontales son relativamente bajas y no presentan mayor influencia en la capacidad de soporte de la subrasante. Sin embargo, los esfuerzos verticales tienen un mayor efecto sobre la subrasante triplicando el valor de las horizontales y ponen a prueba la capacidad de resistencia de ésta. Los resultados numéricos se pueden ver en la Tabla 20.

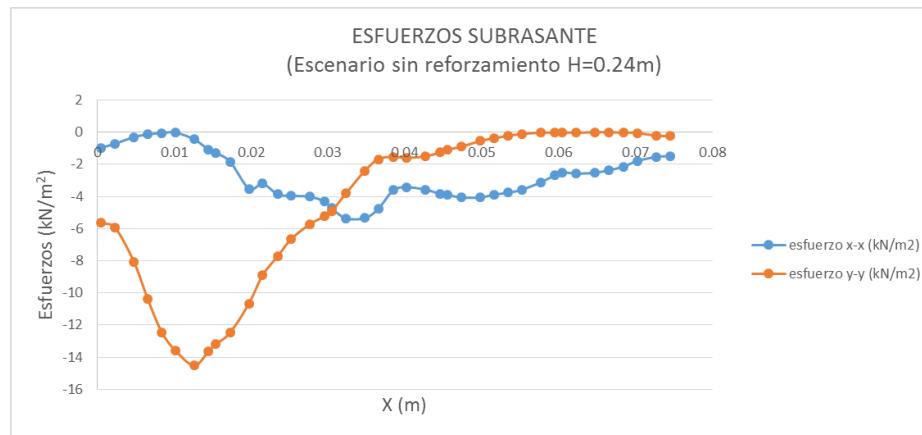
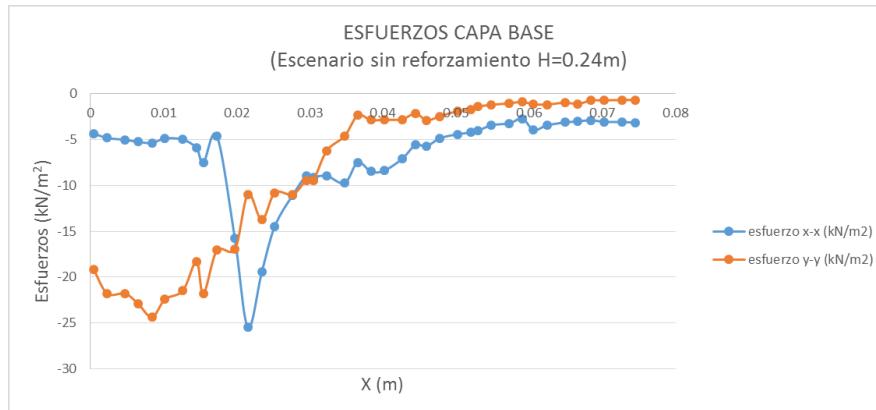


Figura 47. Esfuerzos efectivos en la subrasante (sin reforzamiento)

Fuente: Software Plaxis 8.6

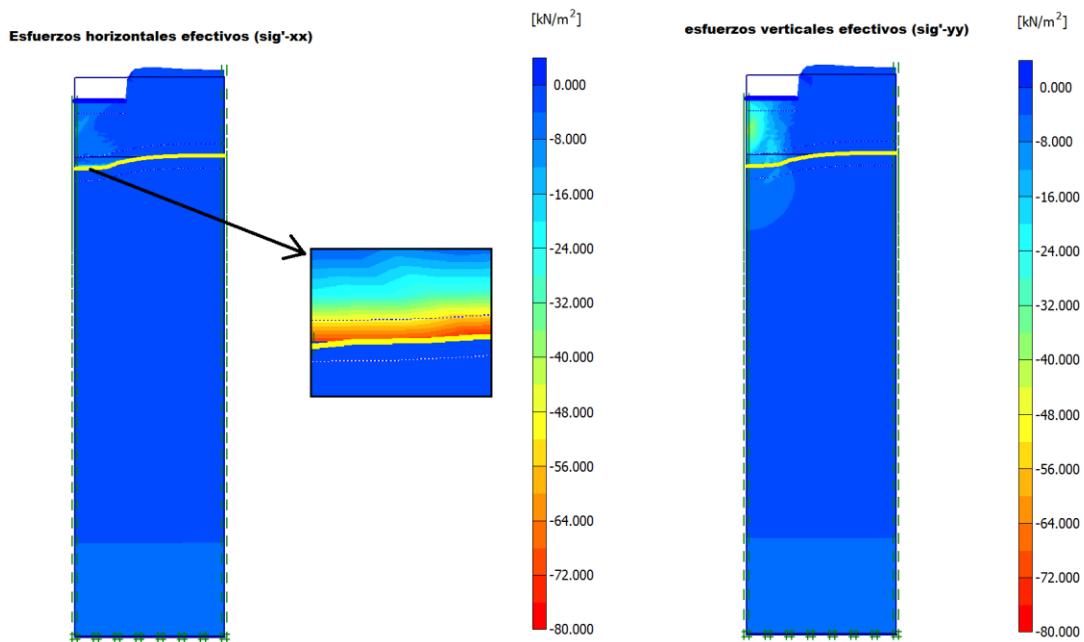
Comparando las figuras 47 y 48, se observa que los esfuerzos horizontales y verticales sobre la capa granular, son mayores a los que se desarrollan sobre subrasante.

Además, en la Figura 48, tanto las tensiones horizontales máximas como las verticales máximas tienen valores similares. Por tal razón, los esfuerzos horizontales como los verticales absorben la mitad de la carga axial respectivamente. Este efecto se debe al ángulo de fricción entre partículas. Los resultados numéricos se pueden ver en la Tabla 20.

**Figura 48.** Esfuerzos efectivos en la capa base (sin reforzamiento)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Para el escenario **con geotextil**, se puede observar los esfuerzos efectivos horizontales y verticales desarrollados sobre la muestra de pavimento, según se puede ver en la Figura 49.

**Figura 49.** Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (con geotextil)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Al contrario que para el escenario sin reforzamiento, para este caso los esfuerzos horizontales son mayores a los verticales y se concentran en la interface capa granular-geotextil. Los esfuerzos verticales en la capa base (bajo el pistón) se redujeron

significativamente a relación del caso sin reforzamiento. Lo mismo ocurre en la subrasante, donde los esfuerzos son mínimos y se redujeron con relación al caso anterior. Se podría decir que numéricamente son cercanos a cero.

En la Figura 50, se observa que los esfuerzos verticales sobre la subrasante son mayores a las horizontales, no obstante los valores numéricos de los esfuerzos son más bajos a comparación de los obtenidos para el caso sin reforzamiento (Tabla 20), es decir que se redujeron las tensiones sobre la subrasante con la presencia del geotextil.

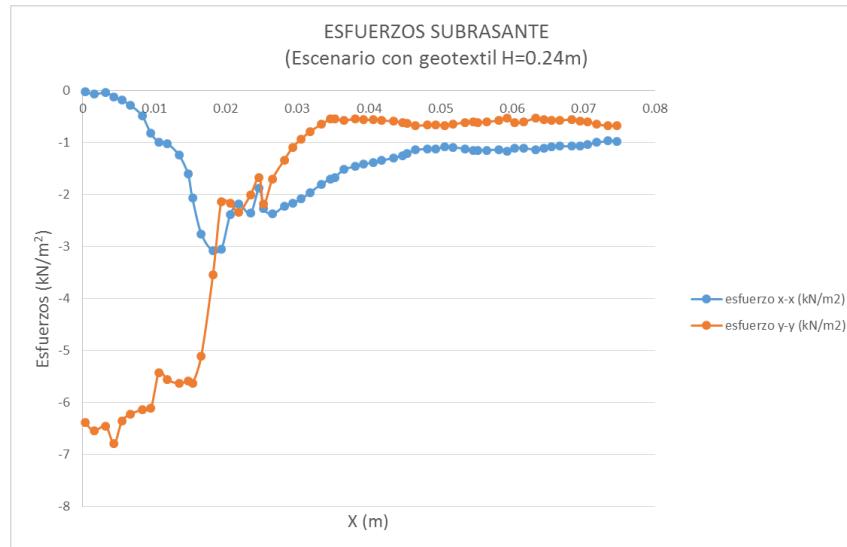
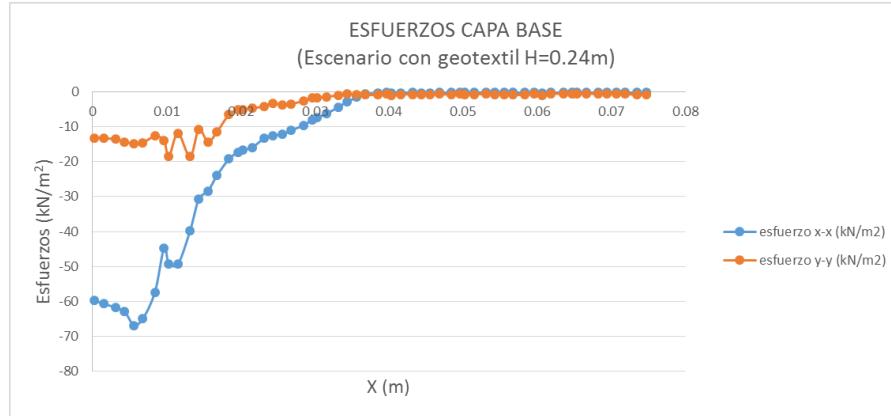


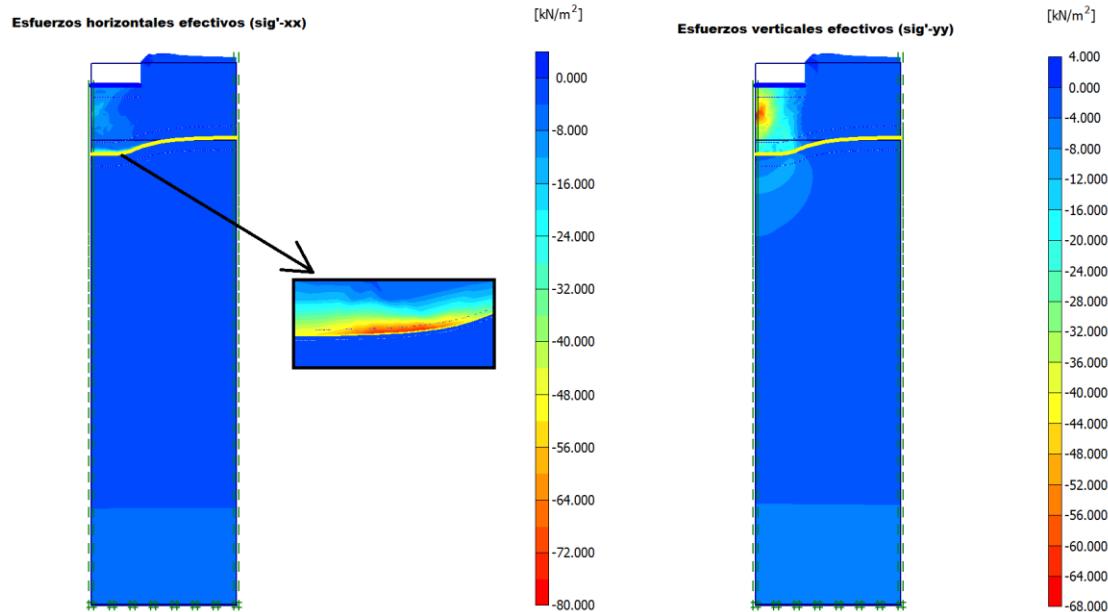
Figura 50. Esfuerzos efectivos en la subrasante (con geotextil)
Fuente: Software Plaxis 8.6

En la Figura 51, se observa que los esfuerzos horizontales sobre la capa base son mayores a los verticales. Como se mencionó anteriormente, en la interface capa granular-geotextil se concentran la mayor cantidad de esfuerzos provocados por la carga axial y esto se debe a la presencia del geotextil.

**Figura 51.** Esfuerzos efectivos en la capa base (con geotextil)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Para el escenario **con geotextil y geomalla** se puede observar los esfuerzos efectivos horizontales y verticales desarrollados sobre la muestra de pavimento, según la Figura 52:

**Figura 52.** Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (con geotextil y geomalla)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Al igual que para el escenario con geotextil, los esfuerzos horizontales son mayores a los verticales y se concentran en la interface capa granular-geomalla-geotextil. Los esfuerzos verticales en la capa base se redujeron significativamente, sin embargo se

desarrolló una pequeña zona de concentración de esfuerzos bajo el pistón y que se pueden observar en la Figura 52, lado derecho. En la subrasante, los esfuerzos horizontales y verticales son mínimos.

En la Figura 53, se observa que los esfuerzos verticales sobre la subrasante son mayores a los horizontales, no obstante los valores numéricos de los esfuerzos son más bajos a comparación de los obtenidos para el caso sin reforzamiento (Tabla 20), es decir que se redujeron las tensiones sobre la subrasante con la aplicación simultánea de la geomalla y el geotextil.

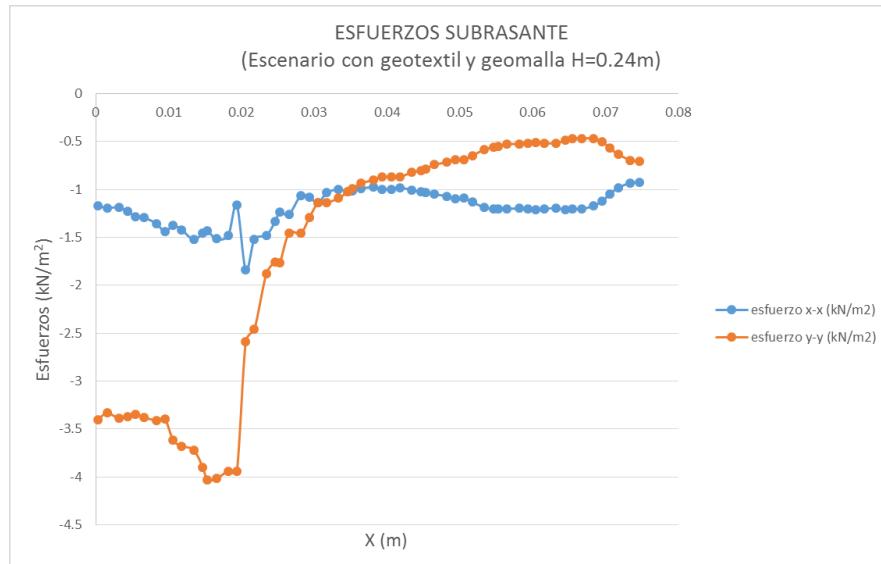


Figura 53. Esfuerzos efectivos en la subrasante (con geotextil y geomalla)
Fuente: Software Plaxis 8.6

En la Figura 54, se observa que los esfuerzos horizontales sobre la capa base son mayores a los verticales. En la interface capa granular-geomalla-geotextil se concentran la mayor cantidad de esfuerzos provocados por la carga axial y esto se debe a la presencia de los mencionados geocompuestos.

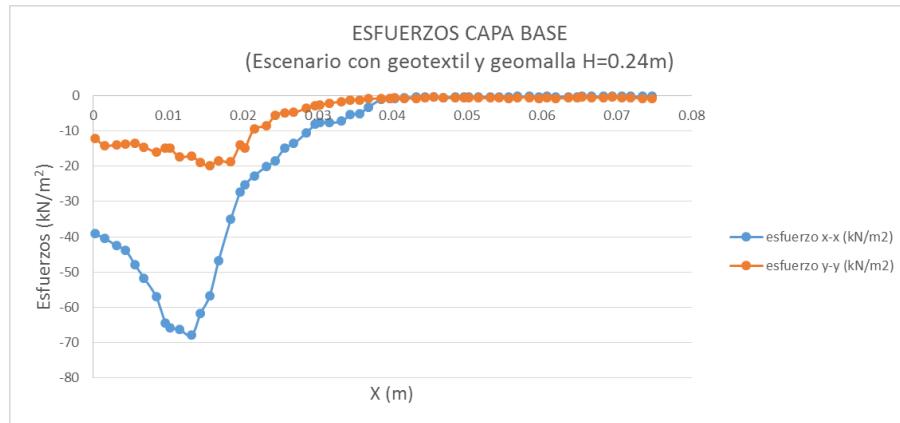


Figura 54. Esfuerzos efectivos en la capa base (con geotextil y geomalla)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Para el escenario **con geomalla** se puede observar los esfuerzos efectivos horizontales y verticales desarrollados sobre la muestra de pavimento, según los diagramas de matices de la Figura 55:

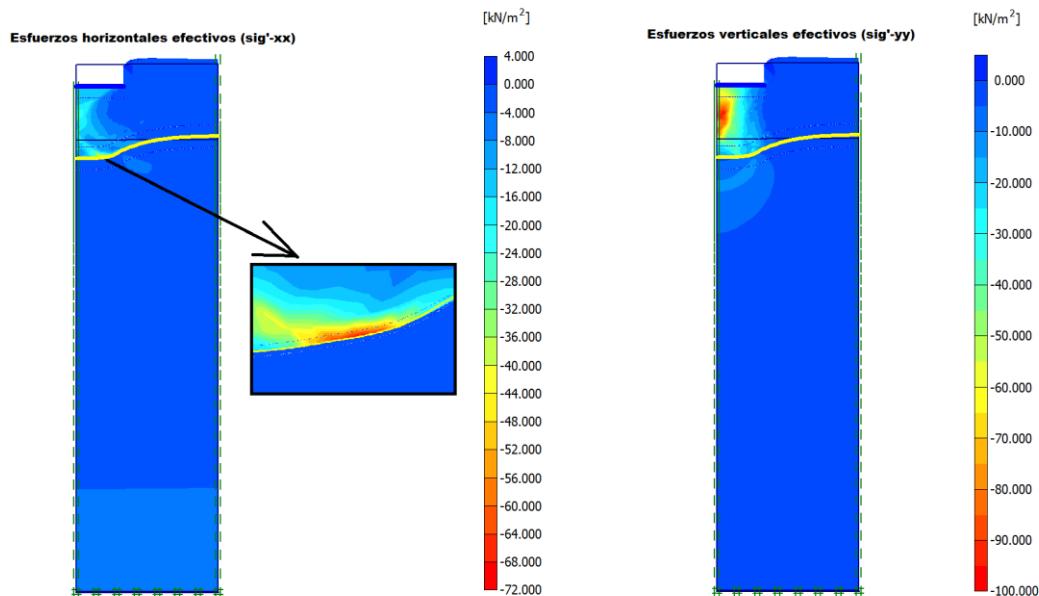


Figura 55. Graficas de esfuerzos efectivos horizontales y verticales (con geomalla)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Al igual que para los dos escenarios anteriores, los esfuerzos horizontales son mayores a los verticales y se concentran en la interface capa granular-geomalla. Los esfuerzos verticales en la capa base se redujeron significativamente, sin embargo se desarrolló una

pequeña zona de concentración de esfuerzos bajo el pistón y que se pueden observar en la Figura 55, lado derecho. En la subrasante, los esfuerzos horizontales y verticales son mínimos.

En la Figura 56, se observa que los esfuerzos verticales sobre la subrasante son mayores a los horizontales, no obstante los valores numéricos son más bajos a los obtenidos para el caso sin reforzamiento (Tabla 20), es decir que se redujeron las tensiones sobre la subrasante con la aplicación de la geomalla.

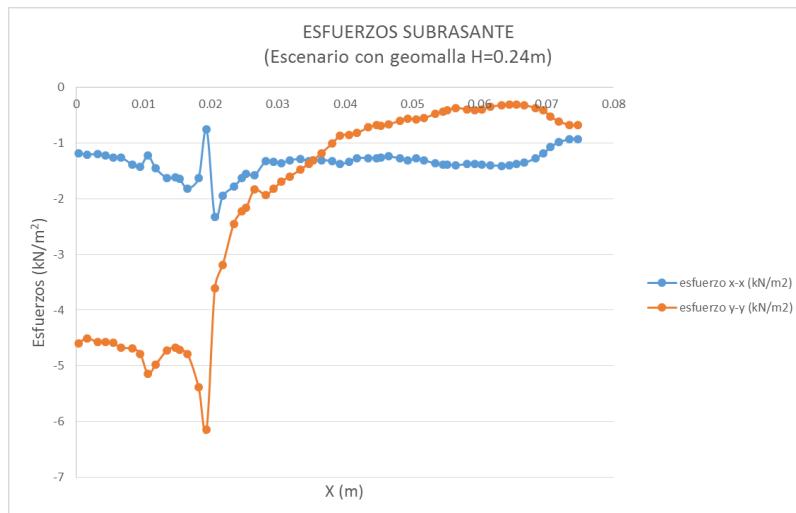


Figura 56. Esfuerzos efectivos en la subrasante (con geomalla)

Fuente: Software Plaxis 8.6

En la Figura 57, se observa que los esfuerzos horizontales sobre la capa base son mayores a los verticales. En la interface capa granular-geomalla se concentran la mayor cantidad de esfuerzos provocados por la carga axial, a una distancia de 0.015 m desde el eje de la muestra y esto se debe a la presencia de la geomalla.

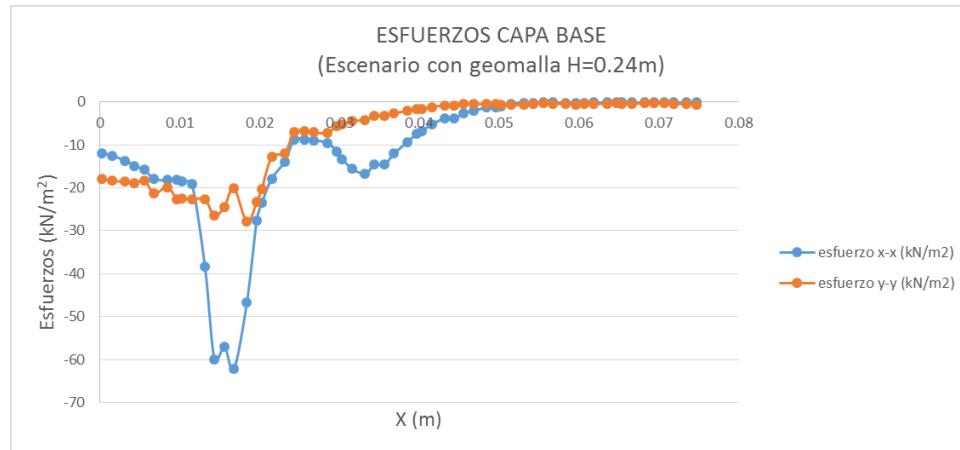


Figura 57. Esfuerzos efectivos en la capa base (con geomalla)

Fuente: Software Plaxis 8.6

Finalmente, se presenta una tabla resumen (ver Tabla 20), de los esfuerzos efectivos horizontales y verticales máximos de la capa base y de la subrasante para las interfaces en los diferentes escenarios:

ESFUERZOS EFECTIVOS MÁXIMOS (H=0.24 m)						
	Descripción	Simbología	Sin reforzamiento	Con geotextil	Con geotextil y geomalla	Con geomalla
CAPA BASE	<i>Esfuerzo efectivo horizontal</i>	$\sigma_{x-x} \text{ max (kN/m}^2\text{)}$	-25.4792	-66.8817	-67.9852	-62.2077
	<i>Esfuerzo efectivo vertical</i>	$\sigma_{y-y} \text{ max (kN/m}^2\text{)}$	-24.3521	-18.5598	-19.7624	-27.9387
SUBRASANTE	<i>Esfuerzo efectivo horizontal</i>	$\sigma_{x-x} \text{ max (kN/m}^2\text{)}$	-5.3544	-3.0863	-1.8398	-2.3221
	<i>Esfuerzo efectivo vertical</i>	$\sigma_{y-y} \text{ max (kN/m}^2\text{)}$	-14.5245	-6.7872	-4.0296	-6.1429

Tabla 20. Esfuerzos efectivos máximos

4.4.3 COEFICIENTE DE REFORZAMIENTO

Teóricamente se ha definido la existencia de un efecto de membrana, que sería generado por la deformación de la base, cuando ésta se encuentra bajo la acción de la carga axial aplicada y hace que los compuestos geosintéticos en los diferentes escenarios se estiren lo cual da como resultado una componente vertical producto de esta tensión (Leiva Padilla & Loría Salazar, 2012, p.2).



Se lo conoce como relación del coeficiente de capa (LCR-Layer coefficient ratio), de los geosintéticos, el cual cuantifica la contribución estructural de este material al pavimento a través de métodos experimentales (Geosistemas PAVCO, 2012).

En este análisis, se parte de los esfuerzos máximos alcanzados en la interface capa base-subrasante de las simulaciones realizadas en Plaxis 8.6. El propósito es cuantificar el aumento en el valor de CBR cuando la subrasante se refuerza con un elemento geosintético. Además que, el CBR se lo obtiene de un análisis de esfuerzos, de tal manera que el factor de reforzamiento estaría correctamente utilizado para incrementar el valor de CBR de la subrasante.

$$CBR (\%) = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100 \quad (\text{Universidad Católica de Valparaíso, s.f.}) \quad (57)$$

El factor de reforzamiento se lo determina restando el valor del esfuerzo normal sobre la subrasante con un material reforzado (geotextil, geotextil y geomalla, geomalla) del esfuerzo normal sobre la subrasante sin reforzamiento y esto dividido para el mismo valor de esfuerzo normal sobre la subrasante sin reforzamiento. A este cociente se le suma la unidad para dar a entender que existe un aumento en la capacidad de soporte.

$$FR = \frac{\sigma_{y-y} \text{max sin reforzamiento} - \sigma_{y-y} \text{max con reforzamiento}}{\sigma_{y-y} \text{max sin reforzamiento}} + 1 \quad (58)$$

Los valores alcanzados se los resume en la siguiente tabla:

ESCENARIO	σ_{yy} max subrasante (kN/m ²)	Factor de reforzamiento
Sin reforzamiento	-14.52456	1
Con geotextil	-6.7871769	1.54
Con geotextil y geomalla	-4.0295695	1.73
Con geomalla	-6.1428746	1.58

Tabla 21. Factores de reforzamiento



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ensayos de laboratorio:

- En el escenario con geomalla, la estructura alcanzó la mayor rigidez con respecto al resto de escenarios y cuyo valor está dado por el Módulo de Young. No obstante, al llegar a la carga máxima, se produjo la falla inmediata. Se considera que esto fue producto de que la geomalla cuenta con aberturas continuas, lo que provocó que los materiales de la subrasante y de la base se llegaran a mezclar según se pudo apreciar en la muestra ensayada. El efecto de la geomalla no fue suficiente para separar ambos materiales, producto de esto llegó antes a la falla (ver Anexos, anexo fotográfico, 3. Ensayos a compresión simple sobre la estructura de pavimento).
- Haciendo una comparación de los diagramas carga/deformación en los escenarios: reforzado con geotextil y reforzado con geotextil y geomalla (ver Figura 19), se observa que no existe mayor diferencia entre ambas curvas y que llegan a tener un comportamiento similar, exceptuando que en la curva de reforzamiento con geotextil y geomalla se nota un pequeño régimen plástico. Se considera que colocar una geomalla yuxtapuesta a un geotextil, no aumenta significativamente la capacidad de soporte o reforzamiento en la estructura del pavimento, pues se debería evidenciar un mayor incremento en la rigidez. Se estima que la colocación de la geomalla sobre el geotextil representa un gasto innecesario para el proyecto en análisis.
- El uso de materiales geosintético en la interface capa base-subrasante, le da un comportamiento elástico a la estructura del pavimento, permitiendo un alto grado de deformación, pero recuperando su forma original (ver Figura 19). Es decir, no se producen deformaciones permanentes como es el caso del escenario sin reforzamiento (régimen plástico). Esto se traduce en el módulo resiliente de la



subrasante, considerando que el esfuerzo desviador, función de éste, se reduce en un gran margen por el uso de los geosintéticos.

- El esfuerzo de confinamiento del geotextil no produjo un mayor efecto en la resistencia de la estructura del pavimento. Incluso puede representar un plano de falla si se trata de un material que tiene un ángulo de fricción bajo. Más bien, se visualizó un pequeño efecto de anclaje de las partículas granulares de la base, que indujeron a que actúen los esfuerzos de tensión del geotextil. Esto impidió su deslizamiento a través de la interface. Solo se pudo apreciar el efecto de confinamiento en el escenario con geomalla, donde los esfuerzos fueron mayores (ver Anexos, anexo fotográfico, 3. Ensayos a compresión simple sobre la estructura de pavimento).

Simulaciones:

- Diagnosticando los resultados de las deformaciones que proporciona el programa Plaxis 8.6. (ver Figura 34), se puede observar que el tipo de asentamiento resultante, se asemeja al alcanzado en los ensayos de laboratorio (ver Anexos, anexo fotográfico, 3. Ensayos a compresión simple sobre la estructura de pavimento). Es decir, el material de base se asentó únicamente en la zona donde se aplicó la carga a través del pistón.
- En las Tablas 18 y 19, se puede evidenciar que las deformaciones sobre la subrasante disminuyen significativamente en los tres escenarios que presentan un geocompuesto de reforzamiento a comparación del escenario sin reforzamiento.
- En la Tabla 20 se observa que los valores de los esfuerzos verticales sobre la subrasante, disminuyen para los tres escenarios que presentan un geocompuesto de reforzamiento. Mientras que los esfuerzos horizontales en la capa base,



aumentan en los escenarios antes mencionados. Esto se debe al efecto de refuerzo que genera el geocompuesto en la interface con la capa base, lo que ocasiona una disminución en los esfuerzos y deformaciones verticales sobre la subrasante.

- El criterio planteado por Giroud y Noray con relación a que el tipo de falla de una estructura de pavimento cambia de una falla local (sin reforzamiento) a una falla de tipo general (con reforzamiento), se confirmaría a través de las simulaciones efectuadas sobre las muestras de pavimento. Se considera que los esfuerzos en el escenario sin reforzamiento se concentran justo debajo del pistón, en el material granular (ver Figura 46). Mientras que para el caso de los escenarios reforzados, los esfuerzos se distribuyen a lo largo de la interface capa granular-geocompuesto-subrasante (ver Figura 49), evitando de esta manera una falla por capacidad portante (falla local) causada por el ahuellamiento efectivo que transmite el pistón a la subrasante.

Rediseño del paquete estructural:

Se realizó la evaluación de los espesores del proyecto en análisis (Vía Sigsig- Matanga-Gualaquiza) y se efectuó un rediseño mediante el método AASHTO para obtener los nuevos espesores que el material de mejoramiento tendría con la contribución que ofrecen los geosintéticos (Ver Anexos, anexo cálculos, 4. Diseño por el método AASHTO 93). A continuación se presentan los resultados:

Sin reforzamiento

CAPAS	Espesor		Módulo E	ai*mi*Di	SNi(PROG.)	Di		SNi*
	(cm)	(plg)				Ajustados (pulg)	Ajustados (cm)	
SUPERFICIE	10	3.94	370000	1.57	2.31	6	15	2.40
BASE	15	5.91	28438	0.79	2.97	6	15	0.80
MEJORAMIENTO	40	15.75	15586	1.81	4.31	10	25	1.15
								SN 4.35



Con geotextil

CAPAS	Espesor		Módulo E	ai*mi*Di	SNI(PROG.)	Di		SNI*
	(cm)	(plg)				Ajustados (pulg)	Ajustados (cm)	
SUPERFICIE	10	3.94	370000	1.57	2.31	6	15	2.40
BASE	15	5.91	28438	0.79	2.97	6	15	0.80
MEJORAMIENTO	40	15.75	15586	1.81	3.65	4	10	0.46
								SN 3.66

Con geotextil y geomalla

CAPAS	Espesor		Módulo E	ai*mi*Di	SNI(PROG.)	Di		SNI*
	(cm)	(plg)				Ajustados (pulg)	Ajustados (cm)	
SUPERFICIE	10	3.94	370000	1.57	2.31	6	15	2.40
BASE	15	5.91	28438	0.79	2.97	6	15	0.80
MEJORAMIENTO	40	15.75	15586	1.81	3.49	3	8	0.35
								SN 3.55

Con geomalla

CAPAS	Espesor		Módulo E	ai*mi*Di	SNI(PROG.)	Di		SNI*
	(cm)	(plg)				Ajustados (pulg)	Ajustados (cm)	
SUPERFICIE	10	3.94	370000	1.57	2.31	6	15	2.40
BASE	15	5.91	28438	0.79	2.97	6	15	0.80
MEJORAMIENTO	40	15.75	15586	1.81	3.62	4	10	0.46
								SN 3.66

Tabla 22. Rediseño estructura de pavimento proyecto Sigsig-Gualaquiza

Como se puede observar, en los valores ajustados (fondo color amarillo), el espesor de la capa de mejoramiento se reduce en un 60% aproximadamente, lo que representa 15 cm menos de material mejoramiento para los tres escenarios reforzados, comparado con el escenario sin reforzamiento. Por lo tanto, disminuirán los costos de construcción de este proyecto, colocando un geotextil que suministraría el suficiente reforzamiento a la estructura de pavimento.

Recomendaciones:

- Hausmann (1987, p.206), menciona que la geomalla puede ser colocada dentro de la capa base con la finalidad de proporcionarle restricción al agregado. Esto mejora las características esfuerzo-deformación de la capa base y ayuda en la distribución de cargas sobre la superficie de la subrasante. Acogiéndose a este



criterio, efectivamente se obtendría un mejor desempeño de la geomalla si se la colocara en la capa base. Esto se debe a que este material, al contar con aberturas continuas, generaría un efecto de anclaje entre las partículas granulares del material y los eslabones de la malla, lo que aumentaría los esfuerzos laterales restringiendo los movimientos en la zona de contacto y por ende disminuirían las deformaciones.

- Se considera que emplear un geotextil en la interface material granular-subrasante, sería suficiente para brindar el reforzamiento esperado en la estructura de pavimento. Además, este elemento evita el ascenso de partículas finas de la subrasante hacia el material base. Así cumpliría la función de separación y/o reforzamiento.
- Se recomienda el método de cálculo propuesto por Giroud y Noray únicamente cuando se refuerza la estructura del pavimento con un geotextil. Además, esta metodología es aplicada exclusivamente para caminos de lastre sin asfalto.

Futuras Líneas de Investigación:

- El método de cálculo desarrollado por Giroud y Noray para determinar el espesor de la capa granular considerando el tráfico, presenta ciertas limitaciones. Una de ellas es, que no esclarece si el tráfico que se debe asumir es el proyectado para cierto horizonte de años o es un tráfico actual. Dentro de este estudio se analizó un tráfico actual.
- Realizar un análisis del posible incremento en la vida útil de la estructura del pavimento, considerando el uso de estos materiales. Es decir, un análisis de su comportamiento a largo plazo.



- Realizar un análisis de costos para determinar si es viable económicamente el uso combinado de un geotextil y una geomalla como estructura de reforzamiento para un determinado proyecto.
- La entidad pública competente, encargada de elaborar la normativa ecuatoriana de diseño vial, debería incluir un método de diseño que respalde y garantice el uso soberano de los geocompuestos para cualquier obra vial.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Consorcio Vial Oriental. (2012). *Estudios de Factibilidad, Impacto Ambiental e Ingeniería Definitivos para la rectificación y/o mejoramiento de la Carretera SigSig-Gualaquiza, Tramo Matanga-Gualaquiza, en la Provincia de Morona Santiago*. Quito.
- Geosistemas PAVCO. (2012). *Manual de Diseño con Geosintéticos*. Mexichem, Departamento de Ingeniería. Bogotá D.C.: Norte Gráfico.
- Hausmann, M. (1987). *Geotextiles for Unpaved Roads-A Review of Design Procedures*. New South Wales Institute of Technology, Australia, School of Civil Engineering.
- Indraratna, B., & Nimbalkar, S. (2013). Stress-strain degradation response of railway ballast stabilized with geosynthetics. *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*.
- Leiva Padilla, P., & Loría Salazar, L. G. (2012). Observaciones a la metodología de diseño tradicional de pavimentos reforzados con geosintéticos.
- M. Das, B. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México D.F.: Thomson Learning.
- M. Das, B. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (Cuarta Edición ed.). Sacramento, California, Estados Unidos: International Thomson Editores.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones del Ecuador. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Quito.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 101:98. (1998). *Neumáticos. Neumáticos para vehículos. Dimensiones, Cargas y Presiones. Requisitos*. Quito.
- Plaxis Version 8. (n.d.). *Reference Manual*.
- Subaida, E., Chandrakaran, S., & Sankar, N. (2009). Laboratory performance of unpaved roads reinforced with woven coir geotextiles.
- Tingle, J., & Webster, S. (2002). *Review of Corps of Engineers Design of Geosynthetic Reinforced Unpaved Roads*. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg.



Tsai, W.-S. (1995). *Evaluation of Geotextiles as Separators in Roadways*. University of Washington. Washington D.C.: UMI.

Universidad Católica de Valparaíso. (s.f.).

http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/cbr.pdf



ANEXOS

ANEXO FOTOGRÁFICO

1. TOMA DE MUESTRAS



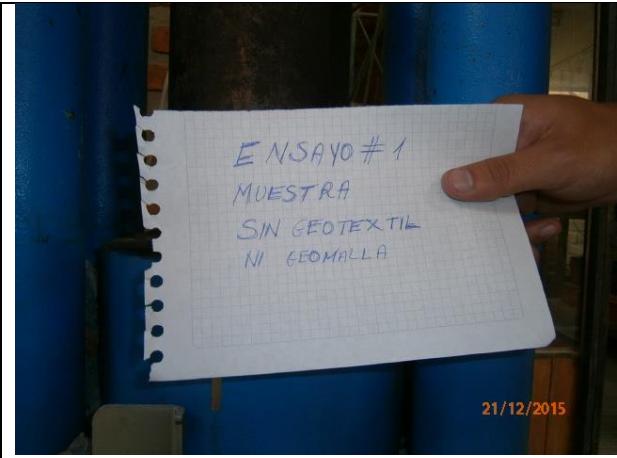
2. ENSAYOS DEL SUELO DE SUBRASANTE





3. ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO









**ANEXO
RESULTADOS
ENsayos
DE LABORATORIO**

1. ENSAYOS SUBRASANTE



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

Teléfono: 405-1000 Ext.2354

PROYECTO:	"Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante, con el Uso Combinado de una Geom.y un Geot."				
UBICACIÓN:	Vía Tramo La Pradera-Gualaquiza km 62+115				
SOLICITADO POR:					
PERFORACIÓN:	km 62+115 carril izquierdo				
FECHA:	viernes, 18 de septiembre de 2015				
	PROF:	1 m	A:	m	
GRANULOMETRIA					
TAMIZ		Peso retido parcial	Peso retido acumulado	Peso que pasa acumulado	PORCENTAJE
No.	Pulgadas	Retenido acumulado	Pasante acumulado	ESPECIF. TECNICA	
4					
3					
2 1/2					
2					
1 1/2					
1					
3/4					
1/2					
9/8					
4	0.187	1.95	1.95	366.4	0.5% 99.5%
8	0.0937				
10	0.0787	3.85	5.80	362.5	1.6% 98.4%
40	0.0165	7.97	13.77	354.6	3.7% 96.3%
60	0.0117				
100	0.0059	8.48	22.25	346.1	6.0% 94.0%
200	0.0029	6.67	28.92	339.4	7.9% 92.1%
FONDO	0.30	29.22	339.1	7.9%	92.1%
MATERIAL FINO (LAVADO)	339.11	368.33	0.0	100.0%	0.0%
TOTAL	368.33				
PESO TOTAL MATERIAL CUARTEADO : 500 gr					
PESO SECO MATERIAL CUARTEADO : 368.38 gr					
PESO SECO RETENIDO SOBRE T#200 (LAVADO) : 29.27 gr					
PESO DESPUES DEL ENSAYO : 368.33 gr					
MATERIAL PASANTE TAMIZ No. 200 : 92 %					
ERROR (PAT - PDT) / PAT *100 = 0.17 %					

CLASIFICACIÓN	Humedad Natural:	35.73%
SUCS	Límite Líquido:	52.56%
AASHTO	Índice Plástico	15.78%

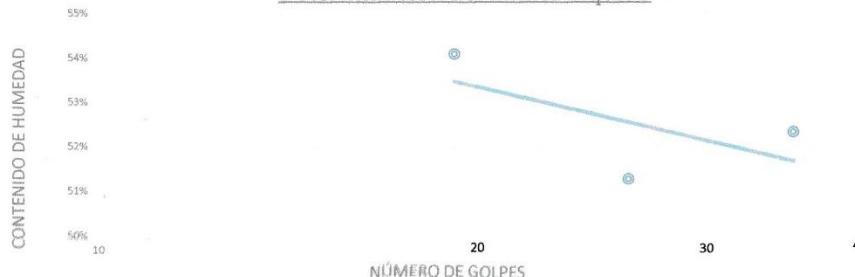
Indice de Grupo 19

GRUPO:							
#:							

LIMITE LIQUIDO							
Capsula No	Peso de la capsula	Peso cap.+ suelo húmedo	Peso cap.+ suelo seco	Peso del agua	Peso del suelo seco	Contenido de Humedad %	% Promedio
26	40.48	56.20	50.80	5.40	10.32	52.33%	52.56%
54	41.92	55.64	50.99	4.65	9.07	51.27%	
45	44.78	63.47	56.91	6.56	12.13	54.08%	

LIMITE PLASTICO							
172	50.25	55.33	54.07	1.26	3.82	32.98%	36.78%
130	40.25	45.10	43.78	1.32	3.53	37.39%	
189	50.56	56.97	55.14	1.83	4.58	39.96%	

CONTENIDO DE HUMEDAD							
130	40.24	55.06	51.17	3.89	10.93	35.59%	35.73%
117	38.99	55.43	51.09	4.34	12.10	35.87%	

Determinación del Límite Líquido

ING. ANDRES BUSTAMANTE
Estudiante de la Maestría en Vialidad y Transportes





UNIVERSIDAD
DE CUENCA

A petición de la parte interesada,
Nº 010147

CUARENTA
CENTAVOS

CERTIFICO:

Que, el Ing. Andrés Sebastián Bustamante Noboa con cédula de identidad 010415200-4, realizó los siguientes ensayos en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería:

- **Un ensayo de clasificación de suelos** que se llevó a cabo el día martes 29 de septiembre de 2015.
- **Cuatro ensayos de resistencia a la compresión simple** que se llevaron a cabo los días lunes 21 y martes 22 de diciembre de 2015.

Los ensayos antes mencionados son un componente importante para la elaboración de su tesis de Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transportes, que lleva por título “Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante, con el Uso Combinado de una Geomalla y un Geotextil”.

Cuenca, 17 de junio de 2016

Atentamente,

Ing. Gerardo Arboito.

Jefe del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería
Universidad de Cuenca





PROYECTO: MAESTRIA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE

SOLICITA: ING. ANDRES BUSTAMANTE

MATERIAL: DE SITIO

ENSAYO: AASHTO T-180 (METODO D)

MUESTRA DEPOSITADA EN LABORATORIO

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DEL 2015

NORMA: ASTM D 1557 -02

PROCEDENCIA : VIA SIGSIG - CHIGÚINDA - GUALAQUIZA

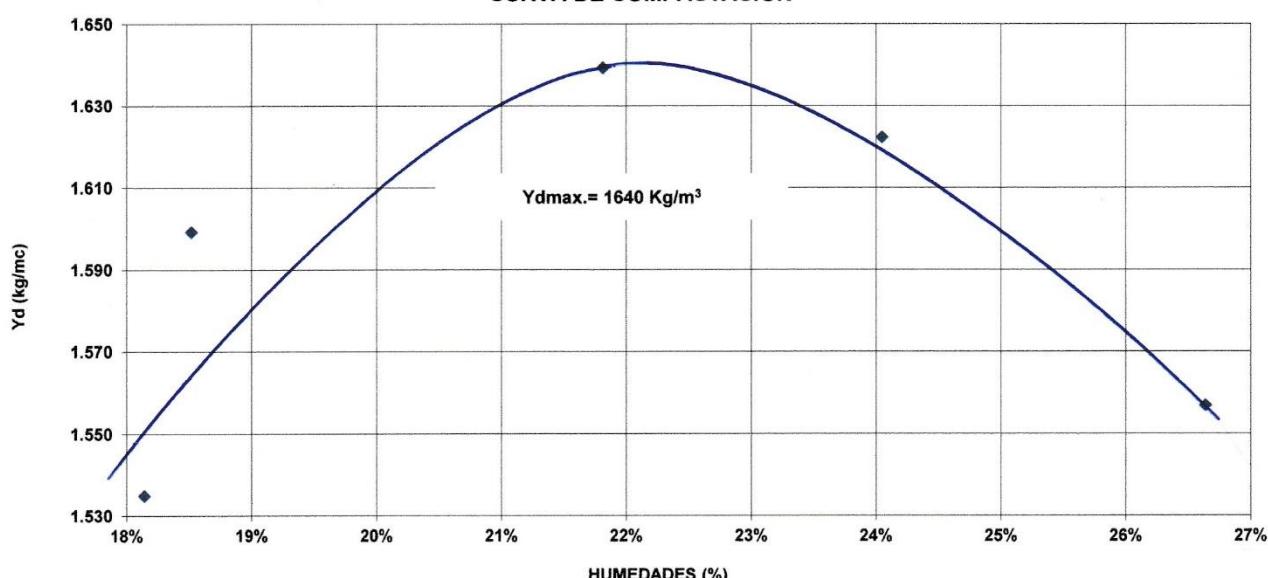
RELACION DENSIDADES HUMEDA

MUESTRA N°	1	2	3	4	5
AGUA INCREMENTADA (cc)	0	100	200	300	400
PESO MOLDE + SUELLO HUMEDO (gr)	12.877	13.056	13.277	13.311	13.222
PESO MOLDE SIN COLLAR (gr)	8.926	8.926	8.926	8.926	8.926
PESO SUELLO HUMEDO (gr)	3.951	4.130	4.351	4.385	4.296
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2.179	2.179	2.179	2.179	2.179
DENSIDAD HUMEDA (kg/m ³)	1.813	1.895	1.997	2.012	1.972

HUMEDAD

MUESTRAS PARA PROMEDIAR	1	2	3	4	5
NUMERO DE TARRO	100	224	85	74	42
PESO TARRO+MUESTRA HUMEDA (gr)	102,10	107,01	132,76	133,28	140,77
PESO TARRO + MUESTRA SECA (gr)	94,16	98,18	119,34	120,53	124,68
PESO DEL AGUA (gr)	7,94	8,83	13,42	12,75	16,09
PESO DEL TARRO (gr)	50,60	49,26	47,92	50,62	50,29
PESO SUELTO SECO (gr)	43,56	48,92	71,42	69,91	74,39
HUMEDAD (%)	18,23	18,05	18,79	18,24	21,63
HUMEDAD PROMEDIO (%)	18,14%	18,51%	21,81%	24,04%	26,64%
DENSIDAD SECA (kg/m ³)	1.535	1.599	1.639	1.622	1.557

CURVA DE COMPACTACION



Manuel Davila 1-52 y Av. Remigio Crespo / Telefono 07 2 884-121 Telefax: 07 2 812-970
Cuenca - Ecuador / Email: labscon@outlook.com



PROYECTO: MAESTRIA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE

SOLICITA: ING. ANDRES BUSTAMANTE

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DEL 2015

MATERIAL: DE SITIO

MUESTRA DEPOSITADA EN LABORATORIO

PROCEDENCIA : VIA SIGSIG - CHIGUINDA - GUALAQUIZA

**ENSAYO C.B.R. NORMA: ASTM D 1883-99
MUESTRA REMOLDEADA**

MOLDE Nº	1	2	3			
NUMERO DE CAPAS	5	5	5			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	55	25	12			
	ANTES DE SATURACION	DESPUES DE SATURACION	ANTES DE SATURACION	DESPUES DE SATURACION	ANTES DE SATURACION	DESPUES DE SATURACION
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	13.108	13.538	12.757	13.135	12.470	12.973
PESO DEL MOLDE (g)	8.528	8.528	8.457	8.457	8.556	8.556
PESO MUESTRA HUMEDA (g)	4.580	5.010	4.300	4.678	3.914	4.417
VOLUMEN DE LA MUESTRA (c.c)	2.292	2.512	2.274	2.468	2.274	2.452
PESO VOL. HUMEDO (kg/m^3)	1.998	1.994	1.891	1.896	1.721	1.801
PESO VOL. SECO (kg/m^3)	1.634	1.619	1.540	1.524	1.404	1.439

CONTENIDO DE AGUA (Antes de saturación)

TARRO Nº	22	60	13	77	228	17
P.TARRO + MUESTRA HUMEDA	132,15	131,15	155,29	133,95	131,11	133,78
P. TARRO + MUESTRA SECA	117,12	116,37	135,49	118,34	116,07	118,55
PESO DEL AGUA	15,03	14,78	19,80	15,61	15,04	15,23
PESO DEL TARRO	50,28	49,64	48,47	49,73	50,42	50,00
PESO MUESTRA SECA	66,84	66,73	87,02	68,61	65,65	68,55
CONTENIDO DE HUMEDAD	22,49	22,15	22,75	22,75	22,91	22,22
HUMEDAD PROMEDIO	22,32		22,75		22,56	

CONTENIDO DE AGUA (Después de saturación)

TARRO Nº	73	201	11	91	75	19
P.TARRO + MUESTRA HUMEDA	110,36	115,14	119,21	116,60	87,58	86,52
P. TARRO + MUESTRA SECA	99,06	102,80	105,80	103,66	80,12	79,22
PESO DEL AGUA	11,30	12,34	13,41	12,94	7,46	7,30
PESO DEL TARRO	50,17	49,82	50,82	50,56	50,42	50,28
PESO MUESTRA SECA	48,89	52,98	54,98	53,10	29,70	28,94
CONTENIDO DE HUMEDAD	23,11	23,29	24,39	24,37	25,12	25,22
HUMEDAD PROMEDIO	23,20		24,38		25,17	


LABS CON
 Laboratorio de Suelos y Concretos
 Diseño Control de Calidad y Fiscalización
 Ing. Pablo Esteban Vélez Dávila



PROYECTO: MAESTRIA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE MUESTRA DEPOSITADA EN LABORATORIO

SOLICITA: ING. ANDRES BUSTAMANTE

ALTURA DEL MOLDE : 7 pulg.

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DEL 2015

AREA DEL PISTON : 20 cm²

MATERIAL: DE SITIO

PROCEDENCIA : VIA SIGSIG - CHIGUINDA - GUALAQUIZA

ENSAYO C.B.R. (DATOS DE ESPONJAMIENTO Y PENETRACION) NORMA: ASTM D 1883-99

MOLDE N° 1 (55 GOLPES) SATURADO

TIEMPO SATURAC. (dias)	LECTURA DIAL 10^{-2} mm.	ALTURA MUESTRA mm.	ESPONJAMIENTO		PENETRAC pulg.	CARGA kg	PRESIONES kg/cm ²	PRESIONES CORREGI. kg/cm ²	PRESIONES STANDARD kg/cm ²	VALORES C.B.R
			mm.	%						
0	0	128,00	0,00	0,00	0,000	2	0,08			
1	430	132,30	4,30	3,39	0,025	17	0,85			
2	635	138,65	6,35	5,00	0,049	25	1,23			
3	820	146,85	8,20	6,46	0,074	34	1,69			
4	942	156,27	9,42	7,42	0,099	42	2,08		70	3,0
5	1230	168,57	12,30	9,69	0,149	54	2,70			
					0,198	63	3,17		105	3,0
					0,248	71	3,57			
					0,298	81	4,05			
					0,398	94	4,68			
					0,497	110	5,52			

MOLDE N° 2 (25 GOLPES) SATURADO

TIEMPO SATURAC. (dias)	LECTURA DIAL 10^{-2} mm.	ALTURA MUESTRA mm.	ESPONJAMIENTO		PENETRAC pulg.	CARGA kg	PRESIONES kg/cm ²	PRESIONES CORREGI. kg/cm ²	PRESIONES STANDARD kg/cm ²	VALORES C.B.R
			mm.	%						
0	0	127,00	0,00	0,00	0,000	2	0,08			
1	560	132,60	5,60	4,41	0,025	6	0,31			
2	756	140,16	7,56	5,95	0,050	9	0,46			
3	1062	150,78	10,62	8,36	0,075	14	0,69			
4	1076	161,54	10,76	8,47	0,100	18	0,92		70	1,3
5	1079	172,33	10,79	8,50	0,149	25	1,23			
					0,199	34	1,69		105	1,6
					0,249	40	2,00			
					0,299	48	2,38			
					0,499	70	3,49			

MOLDE N° 3 (12 GOLPES) SATURADO

TIEMPO SATURAC. (dias)	LECTURA DIAL 10^{-2} mm.	ALTURA MUESTRA mm.	ESPONJAMIENTO		PENETRAC pulg.	CARGA kg	PRESIONES kg/cm ²	PRESIONES CORREGI. kg/cm ²	PRESIONES STANDARD kg/cm ²	VALORES C.B.R
			mm.	%						
0	0	127,00	0,00	0,00	0,000	2	0,08			
1	380	130,80	3,80	2,99	0,025	6	0,31			
2	602	136,82	6,02	4,74	0,050	11	0,54			
3	982	146,64	9,82	7,73	0,075	15	0,77			
4	990	156,54	9,90	7,80	0,100	17	0,85		70	1,2
5	992	166,46	9,92	7,81	0,149	22	1,08			
					0,199	26	1,31		105	1,2
					0,249	29	1,46			
					0,299	32	1,62			
					0,399	38	1,92			
					0,499	45	2,23			



PROYECTO: MAESTRIA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE

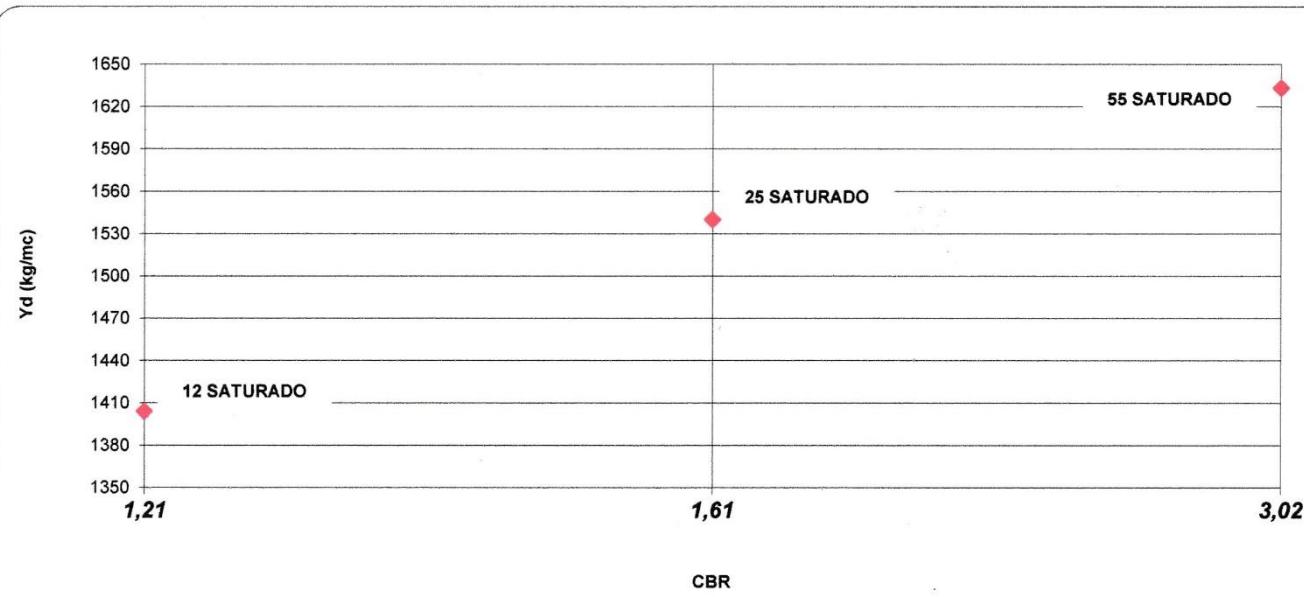
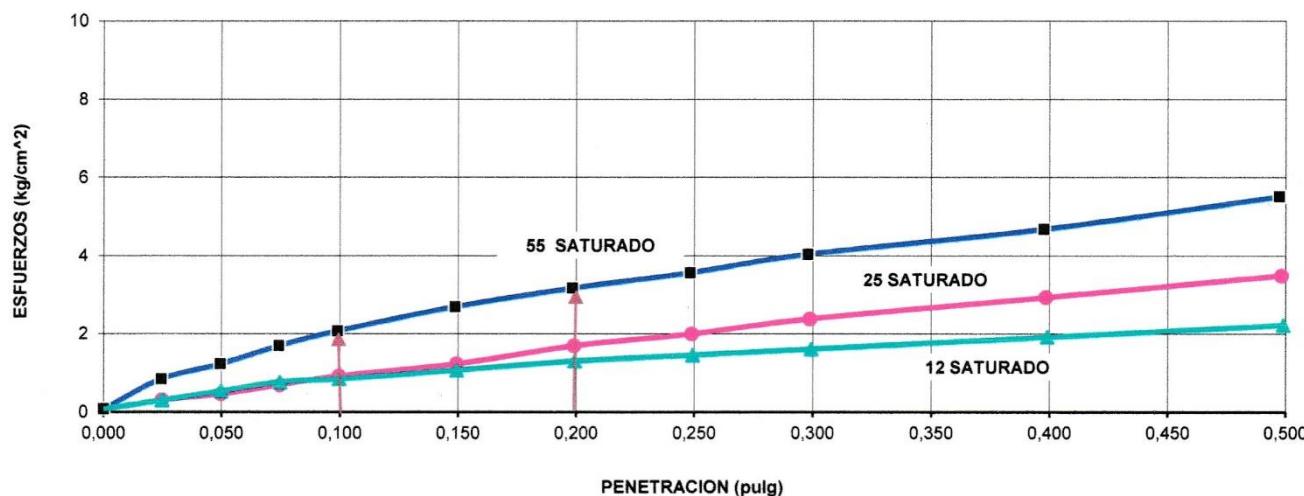
SOLICITA: ING. ANDRES BUSTAMANTE

MATERIAL: DE SITIO

MUESTRA DEPOSITADA EN LABORATORIO

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DEL 2015

PROCEDENCIA : VIA SIGSIG , CHIGUINDA - GUALAQUIZA



2. ENSAYOS BASE

PROYECTO: MAESTRIA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE
SOLICITADO POR: ING. ANDRES BUSTAMANTE

MUESTRA DEPOSITADA EN EL LABORATORIO

MATERIAL: BASE

FECHA: 28 DE DICIEMBRE DEL 2015

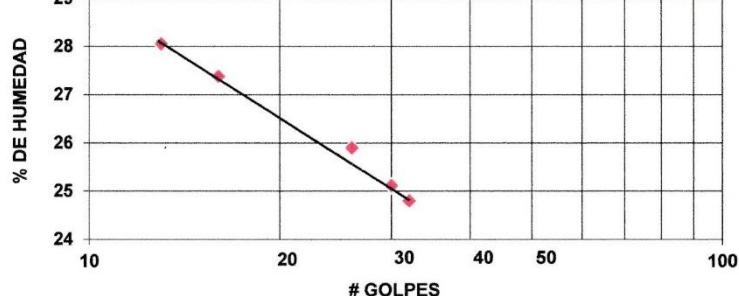
PROCEDENCIA: VIPESA

LIMITE PLASTICO INEN 692

TARRO #	30	71	29	2
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (gr)	50,35	52,67	50,88	53,46
PESO DEL TARRO + MAT.SECA (gr)	49,98	52,27	50,45	53,02
PESO DEL TARRO (gr)	48,12	50,2	48,25	50,79
%HUMEDAD	19,89	19,32	19,55	19,73

LIMITE LIQUIDO INEN 691

Nº DE ENSAYOS	1	2	3	4	5
Nº DE GOLPES	32	30	26	16	13
TARRO Nº	40	25	93	249	74
PESO TARRO + M. HUMEDA (gr)	57,72	56,19	57,66	58,79	59,02
PESO TARRO + M. SECA (gr)	56,22	54,47	56,15	56,83	57,18
PESO TARRO (gr)	50,17	47,62	50,32	49,67	50,62
%HUMEDAD	24,79	25,11	25,90	27,37	28,05



LIMITE LIQUIDO 25,98%
LIMITE PLASTICO 19,62%
INDICE DE PLASTICIDAD 6,35%

HUMEDADES INEN 690 **GRANULOMETRIA** **NATURAL**

TARRO #	38	229	
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (gr)	138,25	144,52	
PESO DEL TARRO + MAT.SECA (gr)	135,48	141,42	
PESO DEL TARRO (gr)	51,03	47,53	
%HUMEDAD	3,28	3,30	

GRANULOMETRIA INEN 696

TAMIZ N°	PESOS RETENID PARCIALES (gr)	PESOS RETENID. ACUMULADOS (gr)	PORCENTAJES RETENIDOS	PORCENTAJES QUE PASAN
3"	0	0	0	100
2"	0	0	0	100
1 1/2"	86	86	0	100
1"	4.897	4.983	26	74
3/4"	3.282	8.265	44	56
3/8"	1.155	9.420	50	50
Nº4	391	9.811	52	48
PASA Nº4	9.307	9.010	-	-
Nº10	86,80	86,80	61	39
Nº40	149,70	236,50	76	24
Nº200	119,80	356,30	87	13
PASA Nº200	0,60	127,77	-	-
TOTAL		484,07	-	-

PESO HUMEDO ANTES DEL ENSAYO (gr) 19.126
PESO HUMEDO DESPUES DEL ENSAYO (gr) 19.118
% DE HUMEDAD 3,29%
PESO SECO ANTES DEL ENSAYO (gr) 18.821
PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO (gr) 500,00
PESO SECO ANTES DEL LAVADO (gr) 484,07
PESO SECO DESPUES DEL LAVADO (gr) 356,90

CLASIFICACION POR EL SUCS
CLASIFICACION POR LA AASHTO

GC-GM
A-2-4

% DE GRAVA	52
% DE ARENA	25
%DE FINOS	13



LABS CON
Laboratorio de Suelos y Concretos
Diseño Control de Calidad y Fiscalización
Ing. Pablo Esteban Vélez Dávila

PROYECTO: MAESTRIA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE

MUESTRA DEPOSITADA EN EL LABORATORIO

SOLICITADO POR: ING. ANDRES BUSTAMANTE

FECHA: 28 DE DICIEMBRE DEL 2015

MATERIAL: BASE

PROCEDENCIA: VIPESA

ANALISIS GRANULOMETRICO

TAMIZ N°	PESOS RETENIDOS PARCIALES	PESOS RETENIDOS ACUMULADOS	PORCENTAJES RETENIDOS	PORCENTAJES QUE PASAN	PORCENTAJES ESPECIFICADOS
3"	0	0	0	100	
2"	0	0	0	100	100 - 100
1 1/2"	86	86	0	100	70 - 100
1"	4.897	4.983	26	74	55 - 85
3/4"	3.282	8.265	44	56	50 - 80
3/8"	1.155	9.420	50	50	35 - 60
Nº4	391	9.811	52	48	25 - 50
PASA N°4	9.307	9.010	-	-	
N°10	86,80	86,80	61	39	20 - 40
N°40	149,70	236,50	76	24	10 - 25
N°200	119,80	356,30	87	13	2 - 12
PASA N°200	0,60	127,77	-	-	
TOTAL	484,07	484,07	-	-	

PESO HUMEDO ANTES DEL ENSAYO

19.126

PESO HUMEDO DESPUES DEL ENSAYO

19.118

% DE HUMEDAD

3,29%

PESO SECO ANTES DEL ENSAYO

18.821

PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO

500,00

PESO SECO ANTES DEL LAVADO

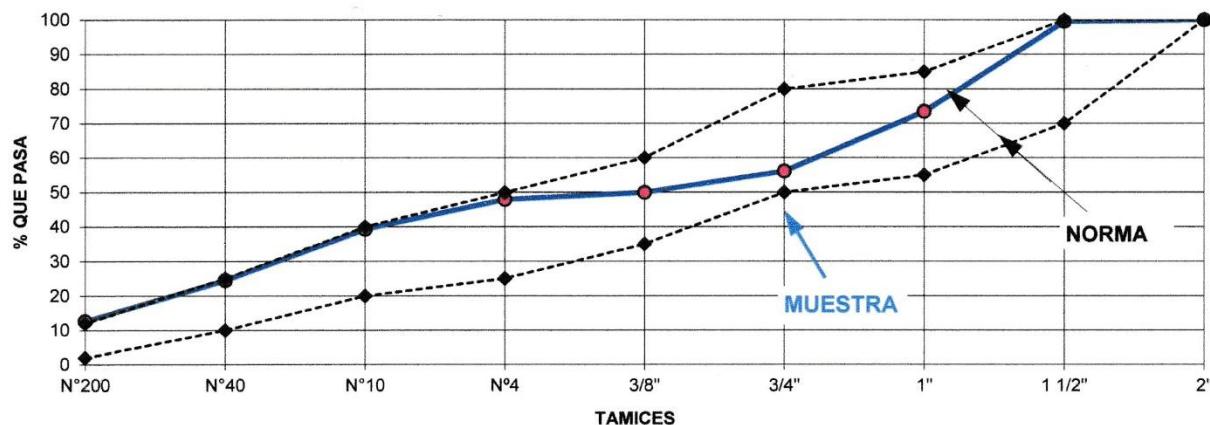
484,07

PESO SECO DESPUES DEL LAVADO

356,90

VALORES INDICE	NORMA MOP	MATERIAL
L.L	25	25,98%
I.P	6	6,35%

CURVA GRANULOMETRICA



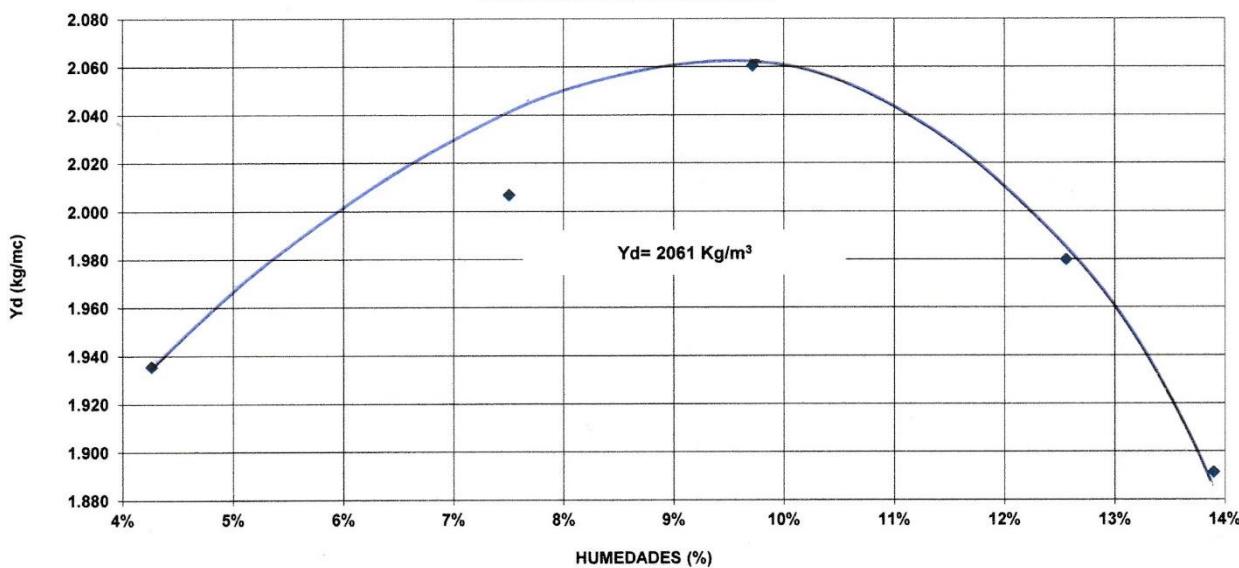
NORMA GRANULOMETRICA BASE TIPO 1A


PROYECTO: MAESTRIA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE
SOLICITA: ING. ANDRES BUSTAMANTE
MATERIAL: BASE
ENSAYO: AASHTO T-180 (METODO D)
PROCEDENCIA: VIPESA
FECHA: 29 DE DICIEMBRE DEL 2015
MUESTRA DEPOSITADA EN LABORATORIO
NORMA: ASTM D 1557 -02
RELACION DENSIDADES HUMEDA

MUESTRA N°	1	2	3	4	5
AGUA INCREMENTADA (cm ³)	100	200	300	400	500
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	13.320	13.624	13.849	13.779	13.617
PESO MOLDE SIN COLLAR (gr)	8.923	8.923	8.923	8.923	8.923
PESO SUELO HUMEDO (gr)	4.397	4.701	4.926	4.856	4.694
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2.179	2.179	2.179	2.179	2.179
DENSIDAD HUMEDA (kg/m ³)	2.018	2.157	2.261	2.229	2.154

HUMEDAD

MUESTRAS PARA PROMEDIAR	1	2	3	4	5
NUMERO DE TARRO	236	38	240	229	209
PESO TARRO+MUESTRA HUMEDA (gr)	137,37	132,69	126,44	124,58	119,48
PESO TARRO + MUESTRA SECA (gr)	133,70	129,37	121,14	119,18	113,43
PESO DEL AGUA (gr)	3,67	3,32	5,30	5,40	6,05
PESO DEL TARRO (gr)	47,82	51,03	50,18	47,53	50,61
PESO SUELO SECO (gr)	85,88	78,34	70,96	71,65	62,82
HUMEDAD (%)	4,27	4,24	7,47	7,54	9,63
HUMEDAD PROMEDIO (%)	4,26%	7,50%	9,71%	12,56%	13,89%
DENSIDAD SECA (kg/mc)	1.936	2.007	2.061	1.980	1.891

CURVA DE COMPACTACION


Manuel Davila 1-52 y Av. Remigio Crespo / Telefono 07 2 884-121 Telefax: 07 2 814-070
Cuenca - Ecuador / Email: labscon@outlook.com

3. ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE



Fundada en 1867
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

ING. ANDRES BUSTAMANTE
Estudiante de la Maestría en Vialidad y Transportes



4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GEOTEXTIL Y GEOMALLA

GEOTEXTILES NO TEJIDOS

ESPECIFICACIÓN INTERNACIONAL GEOTEXTIL PAVCO NT 1800



Es un Geotextil No Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas. Este Geotextil se produce en una de las plantas de PAVCO S.A., bajo un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo con los requerimientos de la Norma de Calidad ISO 9001:2000. Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación¹ son obtenidos en el Laboratorio de Control de Calidad de Geosistemas PAVCO S.A.

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO ²
PROPIEDADES	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D 4632	N (lb) %	530 (120) >50
	Método Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	ASTM D 4595	kN/m %	8.8 >50
	Sentido Transversal Elongación	ASTM D 4595	kN/m %	9.6 >50
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	310 (70)
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D 6241	kN	1.6
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	260 (59)
	Método Bullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	Kpa (psi)	1587 (230)
HIDRÁULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm (No Tamiz)	0.180 (80)
	Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	40 x 10 ⁻⁴
	Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	2.4
	Tasa de flujo	ASTM D 4491	L/min/m ²	6860
FÍSICAS	Espesor	ASTM D 5199	mm	1.7
	Resistencia UV (% retenido @ 500 hr)	ASTM D 4355	%	>70
	Rollo Ancho	Medido	m	3.5 - 3.8 - 4.0
	Rollo Largo	Medido	m	150
	Rollo Área	Calculado	m ²	525 - 570 - 600
	Rollo Ancho Máximo	Medido	m	4.1

NOTAS

- Los valores de las propiedades de esta especificación son vigentes a partir de Octubre 08 y están sujetas a modificaciones sin previo aviso.
- Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del Geotextil. Los Valores típicos corresponden al promedio de todos los datos históricos.

PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos. La información aquí contenida se ofrece gratis y es, a nuestro mejor saber y entender, clara y exacta; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control.

Oficina Principal: Autopista Sur No. 71 – 75 Bogotá D.C., Colombia. Tel: (57-1) 702 5100 Fax: (57-1) 702 5013

Servicio al Cliente Bogotá: (57-1) 7025100 Ext. 3301- 3302 - 3303 -3305 Todo el País: 01 800 09 12300 ó 01 800 09 5742982006

Medellín: (57-4) 333 1717/3122 Cel: (57-2) 442 3443/44 Barranquilla: (57-6) 375 8100

Planta Perú: Av Separadores Industriales 2557, Alto Lima - Perú

E-mail: servicio_geotextiles@pavco.com.co - www.pavco.com.co





ACE Geosynthetics QC Laboratory

Geosynthetics Test Report

Product name : Glassfiber Geogrid
Coated with Bitumen
Item No. : GA100-II
Material : Glassfiber
Width : 3.9M
Roll No. : -
Lot No. : PIVALTEC-091118-SA-02
Note : -

Invoice No. : PIVALTEC-091118-SA-02
Date of Report : 2009/12/10
L/C No. : -
Container No. : -
P.O. No. : -

Test	Unit	Test Method	P/O Specification	Mean
MD Tensile Strength	kN/m	ASTM D6637	≥ 100	121.54
MD Elongation	%	ASTM D6637	≤ 4	2.09
CD Tensile Strength	kN/m	ASTM D6637	≥ 100	128.72
CD Elongation	%	ASTM D6637	≤ 4	2.13
Mesh size	mm		18*18±10%	19.03*16.62

ANEXO CÁLCULOS

1. FACTOR CAMIÓN PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

DATOS		
SN impuesto=	3.00	
po=	4.00	
pt=	2.50	
ΔPSI=	1.5	
n=	20 años	
Eje Estándar=	18 kips 18000 lb 8.2 Ton	

$$\log \left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right) = 0.4 + \left(\frac{0.081(L_x + L_{2x})^{3.23}}{(SN+1)^{2.19} L_{2x}^{3.23}} \right)$$

$$\frac{W}{W_{18}} = \left[\frac{L_{18} + L_{2x}}{L_x + L_{2x}} \right]^{4.79} \left[\frac{10^{\frac{G}{\beta_x}}}{10^{\frac{G}{\beta_{18}}}} \right] [L_{2x}]^{3.23}$$

Tipo Vehiculo	Ejes de Carga (ton)	Ejes de Carga (kips)	G	L2	βx	β18	Wx/W18	Factor Equivalencia	FACTOR CAMIÓN
Liviano	1	2.20kips	S	-0.2009	1	0.4026	1.2207	2334.2226	0.0004
	1	2.20kips	S	-0.2009	1	0.4026	1.2207	2334.2226	0.0004
 2DB	7	15.43kips	S	-0.2009	1	0.9134	1.2207	1.7648	0.5666
	11	24.25kips	S	-0.2009	1	2.4565	1.2207	0.3099	3.2274
 3A	7	15.43kips	S	-0.2009	1	0.9134	1.2207	1.7648	0.5666
	20	44.09kips	T	-0.2009	2	1.9310	1.2207	0.3315	3.0167
 2S2	7	15.43kips	S	-0.2009	1	0.9134	1.2207	1.7648	0.5666
	11	24.25kips	S	-0.2009	1	2.4565	1.2207	0.3099	3.2274
	20	44.09kips	T	-0.2009	2	1.9310	1.2207	0.3315	3.0167

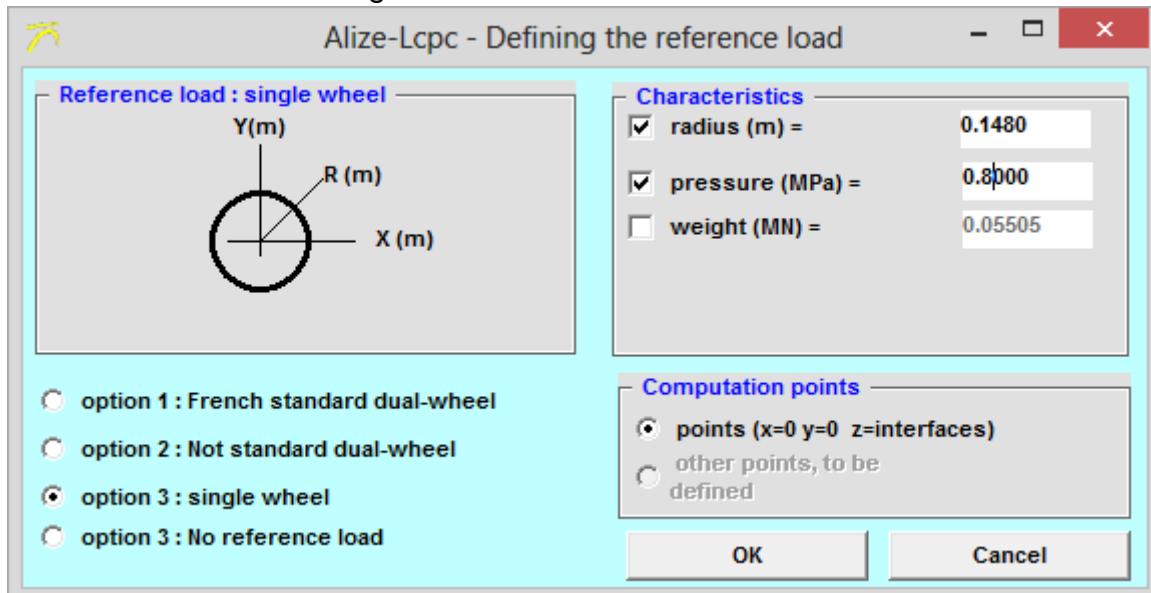
2. DETERMINACIÓN DE ALTURA DE LA SUBRASANTE

- Datos de entrada:

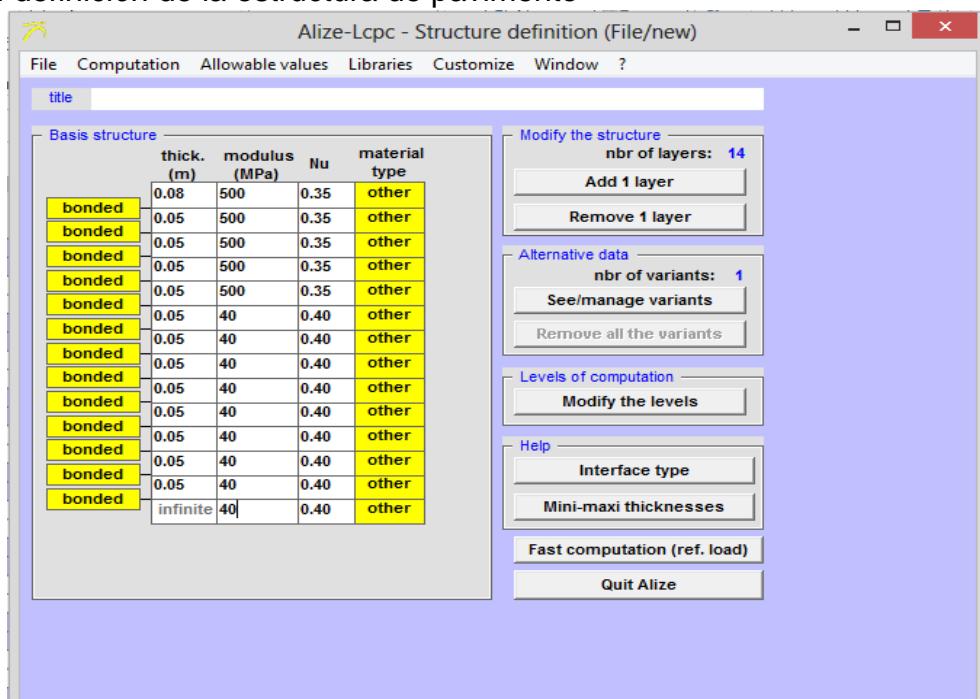
p (presión de inflado)	0.8 Mpa	
D (diámetro placa)=	30 cm	
	Mód. Elasticidad (Mpa)	Mód. de Poisson
CAPA BASE	E1	500
SUBRASANTE	E2	40

Para el módulo de elasticidad y poisson, los valores son supuestos.

- Paso 1: condiciones de carga



- Paso 2: definición de la estructura de pavimento



- Paso 3: resultados después de correr el programa

Alize-Lcpc - Results (Structure: data shown on the Structure screen - cf. C:\...\...\Tesi...)

C:\...\...\Tesis de geotextil y geomallas\Calculos\alize.dat

variant no 1: Duration 00:01sec

Results shown on screen

thick.	modulus	Poisson coefficient	Zcalcul	EpsT	SigmaT	EpsZ	SigmaZ
(m)	(MPa)		(m)	(μ def)	(MPa)	(μ def)	(MPa)
0.080	500.0	0.350	0.000	750.9	1.008	188.3	0.800
		bonded		-55.8	0.321	901.3	0.675
0.050	500.0	0.350	0.080	-55.8	0.321	901.3	0.675
		bonded		-238.3	0.078	860.6	0.485
0.050	500.0	0.350	0.130	-238.3	0.078	860.6	0.485
		bonded		-336.6	-0.099	732.2	0.297
0.050	500.0	0.350	0.180	-336.6	-0.099	732.2	0.297
		bonded		-469.8	-0.279	696.9	0.153
0.050	500.0	0.350	0.230	-469.8	-0.279	696.9	0.153
		bonded		-739.4	-0.524	900.8	0.084
0.050	40.0	0.400	0.280	-739.4	0.007	1965.0	0.084
		bonded		-621.4	0.005	1646.2	0.070
0.050	40.0	0.400	0.330	-621.4	0.005	1646.2	0.070
		bonded		-533.1	0.004	1407.4	0.060
0.050	40.0	0.400	0.380	-533.1	0.004	1407.4	0.060
		bonded		-465.2	0.003	1223.2	0.052
0.050	40.0	0.400	0.430	-465.2	0.003	1223.2	0.052
		bonded		-411.4	0.003	1077.2	0.045
0.050	40.0	0.400	0.480	-411.4	0.003	1077.2	0.045
		bonded		-367.7	0.002	958.6	0.040
0.050	40.0	0.400	0.530	-367.7	0.002	958.6	0.040
		bonded		-331.4	0.002	860.4	0.036
0.050	40.0	0.400	0.580	-331.4	0.002	860.4	0.036
		bonded		-300.8	0.001	777.8	0.032
0.050	40.0	0.400	0.630	-300.8	0.001	707.2	0.029
		bonded		-274.6	0.001	707.2	0.029
infinite	40.0	0.400	0.680	-274.6	0.001	707.2	0.029

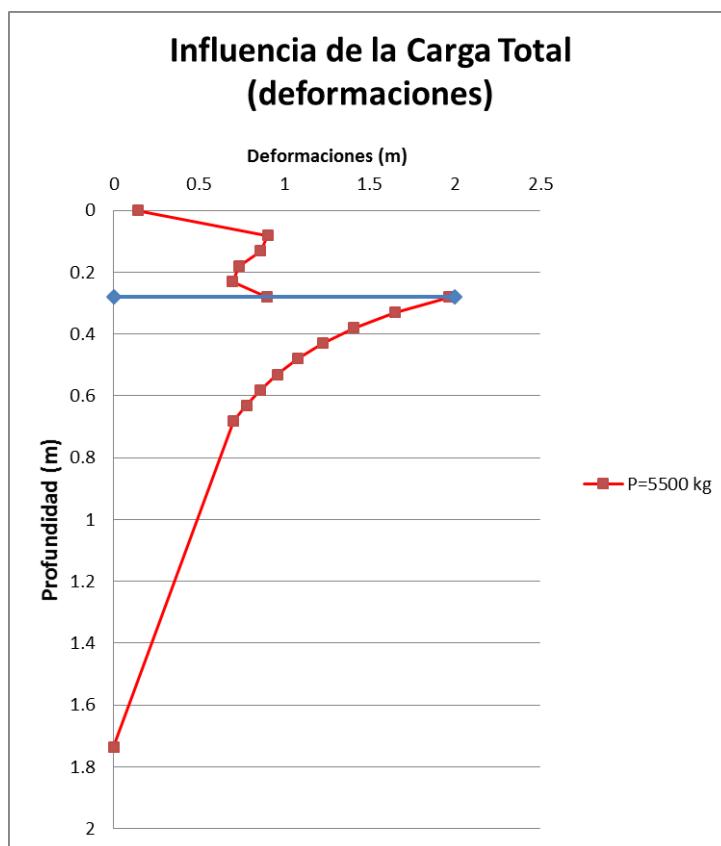
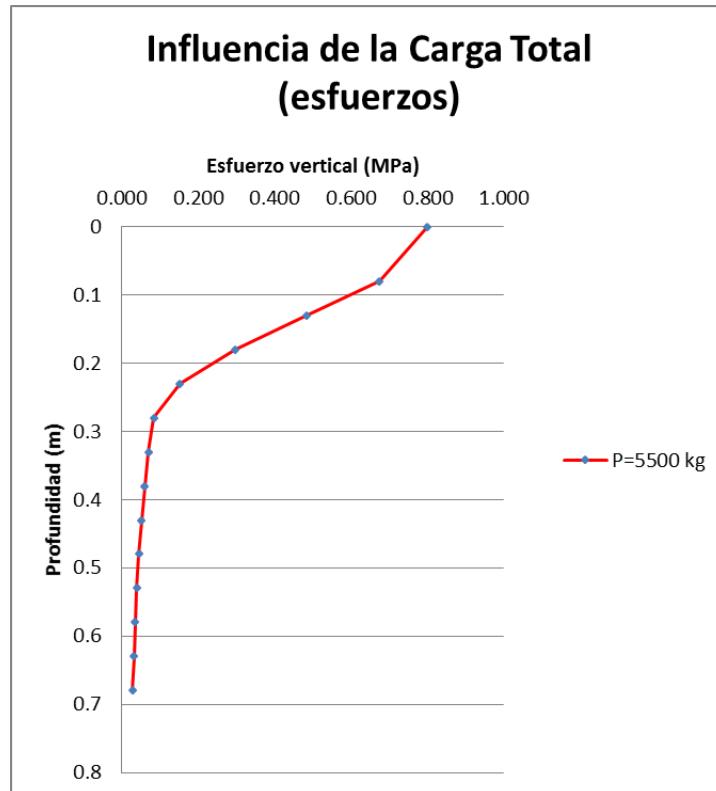
Deflection =140.4 mm/100
wheel center
Rdc = 79.5 m

Print Save
See loading Exit

- Tabla de valores alcanzados:

	ΔZ	Profundidad	αz	Def
	(m)	(m)	(Mpa)	(m)
CAPA BASE	0	0	0.8	0.1404
	0.08	0.08	0.675	0.9013
	0.05	0.13	0.485	0.8606
	0.05	0.18	0.297	0.7322
	0.05	0.23	0.153	0.6969
	0.05	0.28	0.084	0.9008
				1.965
	0.05	0.33	0.07	1.6462
	0.05	0.38	0.06	1.4074
	0.05	0.43	0.052	1.2232
	0.05	0.48	0.045	1.0772
	0.05	0.53	0.04	0.9586
	0.05	0.58	0.036	0.8604
	0.05	0.63	0.032	0.7778
	0.05	0.68	0.029	0.7022
SUBRASANTE				

- Gráficos:



- Determinación de altura de la subrasante:

$$h_{sub} = 1.73 - 0.28 = 1.45 \text{ m}$$

3. Cálculo del tránsito proyectado

TPDA DEL AÑO 2001 AL 2014

	TPDA	Motos	Livianos	Buses, busetas, buses medianos y	camiones 2 ejes liviano	camiones 2 ejes grande	camiones grandes, 3 ejes, eje posterior	TOTAL
Nº	AÑO	A1	A2	B	2DB	3A	2S2	
0	2011		128	37	27	22	2	216
1	2012		134	38	27.9	22.7	2	224.6
2	2013		140	38	28.9	23.5	2	232.4
3	2014		146	39	29.8	24.3	2	241.1
4	2015		153	40	30.8	25.1	2	250.9
5	2016		159	40	31.8	25.9	2	258.7
6	2017		165	41	32.8	26.7	2	267.5
7	2018		171	41	33.8	27.5	3	276.3
8	2019		178	42	34.8	28.4	3	286.2
9	2020		185	43	35.9	29.2	3	296.1
10	2021		191	43	36.9	30	3	303.9
11	2022		198	44	37.9	30.9	3	313.8
12	2023		205	44	39	31.7	3	322.7
13	2024		212	45	40	32.6	3	332.6
14	2025		219	46	41.1	33.5	3	342.6
15	2026		226	46	42.2	34.4	3	351.6
16	2027		232	47	43.3	35.3	3	360.6
17	2028		239	47	44.5	36.2	3	369.7
18	2029		247	48	45.6	37.2	3	380.8
19	2030		254	48	46.8	38.2	3	390
20	2031		262	49	48.1	39.2	4	402.3
21	2032		270	50	49.3	40.2	4	413.5
22	2033		278	50	50.6	41.2	4	423.8

Motos (A1)

Livianos, agrupados en automóvil, camioneta y vehículos utilitarios 4x4 (A2)

Buses, agrupados en busetas o buses medianos y buses grandes (B)

Camiones, agrupados en camiones de 2 ejes (C1), de 3 ejes (C2), y camiones grandes y tráilers de 4, 5 y 6 ejes (C3)

Obtenemos la tasa de crecimiento del parque automotor (r):

	ri		
Livianos (A2)=	3.54%		
Buses (B)=	1.37%		
Camiones 2 ejes (C1)=	2.87%		
Camiones 3 ejes (C2)=	2.87%		
C. y T. 4,5 y 6 ejes (C3)=	3.14%		
Total vehículos=	3.08%		

Estimamos el tráfico futuro en los próximos 20 años:

Para la clasificación por tipo de vehículo, asumimos un vehículo modelo según las normas ecuatorianas de vialidad y lo acoplamos a los datos del problema

AÑO 2014				
Tipo Vehiculo	Frecuencias			
	A2		% Livianos=	60.24%
Liviano	140		% Buses y camiones=	39.76%
	B			
3A	38			
	C1			

2DB	28.9
C2	
3A	23.5
C3	
2S3	2
TPDA (inicial)	232.4

A continuación, se realiza la clasificación funcional de las vías de acuerdo al TPDA

TPDA (inicial) = 232.4

Tabla 2A.202- 01 Clasificación funcional de las vías en base al TPDA_d

Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA _d) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

* TPDA = Tráfico Promedio Diario Anual

** TPDA_d = TPDA correspondiente al año horizonte o de diseño

Por lo tanto se la clasificaría como una Carretera de 2 carriles (0 < TPDA < 232)

Se determina el factor de distribución por dirección (FD)

Consideramos que nuestra carretera tiene 1 carril en ambas direcciones

Número de carriles en ambas direcciones	% de vehículos pesados en el carril de diseño	Factor asumido
2	50	FD= 50.00%
4	45	
6 o más	40	

Se determina el factor de distribución por carril (FL)

Consideramos que nuestra carretera tiene 1 carril en ambas direcciones

Número de carriles en cada dirección	% de ESAL en el carril de diseño	Factor asumido
1	100	FL= 100.00%
2	80 - 100	
3	60 - 80	
4	50 - 75	

Se determina el factor camión global (FCg)

$$FCg = \sum Ci * Fi / \sum Ci$$

Tipo Vehículo	FC
Automóviles	
Liviano	0
Buses	
Buses	3.583
2DB	
2DB	3.794
C2	

3A	3.583
C3	
2S2	6.811
FCg	3.719

Calculamos el factor de Proyección (FP)

$$FP = \frac{(1 + ri)^n - 1}{\ln(1 + ri)}$$

$$FP = 27.49$$

Obtenemos el número de ejes equivalentes del número total de vehículos

$$N = TPD \times A\% \times F_D \times F_L \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \times FCg$$

$$\%A = 39.76\%$$

$$FD = 50\%$$

$$FL = 100\%$$

$$Fproy = 27.49$$

$$Dias/año = 365$$

$$FCg = 3.719$$

$$TPDA (\text{inic.}) = 232$$

$$N = 1724159$$

TPD= Tránsito promedio diario inicial

A= Porcentaje estimado de vehículos comerciales (camiones y buses)

F_D = Factor de distribución direccional

F_L = Factor de distribución de carril

r = tasa anual de crecimiento del tránsito

n = periodo de diseño

FCg = Factor camión de la vía

Corrección de tránsito proyectado

$$N' = 10^{\sigma \cdot Zr} \times N$$

Para una confiabilidad del 80%

$$Zr = 0.841621234$$

$$W18(N) = 1724159$$

$$N' = 1899583$$

Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras (AASHTO)

Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interprovinciales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras de tránsito	80 – 95	75 – 95
Carreteras locales	50 – 80	50 – 80

4. DISEÑO POR EL MÉTODO AASHTO 93

Datos de entrada:

T. de diseño 20 años=	1899583
MR (subrasante) psf=	1500*CBR
PSI=	2.5
PSI=	4
ΔPSI=	1.5
S _o =	0.45
Probabilidad=	90.00%
Escenario	F. reforzam.
Sin reforz.	FR1= 1
	CBR1= 4%
Con geotex.	FR2= 1.54
	CBR2= 6.16%
Con gt. y gm.	FR3= 1.73
	CBR3= 6.92%
Con geom.	FR4= 1.58
	CBR4= 6.32%

* Nota: Los datos de entrada fueron tomados los Estudios de Factibilidad, Impacto Ambiental e Ingeniería Definitivos para la rectificación y/o mejoramiento de la Carretera SigSig-Gualاقua, Tramo Matanga-Gualاقua, en la Provincia de Morona Santiago, Quito. Consorcio Vial.

PARA CBR 4% (SIN REFORZAMIENTO)

CAPAS	Espesor		mi	ai	Módulo E	ai*mi*Di	SNI(PROG.)	Di*		Di	SNI*
	(cm)	(plg)						Calculados (puig)	Calculados (cm)	Ajustados (puig)	Ajustados (cm)
SUPERFICIE	10	3.94		0.4	370000	1.57	2.31	5.78	14.67	6	15
BASE	15	5.91	1	0.134	28438	0.79	2.97	4.25	10.80	6	15
MEJORAMIENTO	40	15.75	1	0.115	15586	1.81	4.31	9.62	24.43	10	25
						6032	4.31			SN	4.35

SN=	4.31
	6.277237661
	Dif
log (W18)=	6.278658274 -0.0014

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

$$\log_{10} \frac{W}{18} = z_R S_o + 9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

PARA CBR 6.16% (CON GEOTEXTIL)

CAPAS	Espesor		mi	ai	Módulo E	ai*mi*Di	SNI(PROG.)	Di*		Di	SNI*
	(cm)	(plg)						Calculados (puig)	Calculados (cm)	Ajustados (puig)	Ajustados (cm)
SUPERFICIE	10	3.94		0.4	370000	1.57	2.31	5.78	14.67	6	15
BASE	15	5.91	1	0.134	28438	0.79	2.97	4.25	10.80	6	15
MEJORAMIENTO	40	15.75	1	0.115	15586	1.81	3.65	3.88	9.85	4	10
						92.4	3.65			SN	3.66

SN=	3.65
	1.631968746
	Dif
log (W18)=	6.278658274 -4.6467

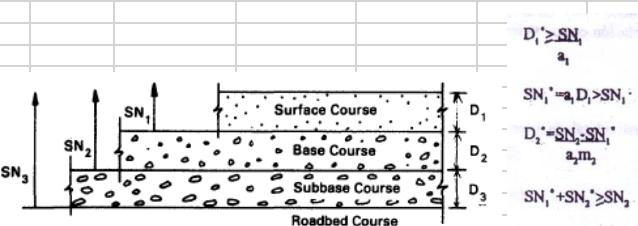
$$\log_{10} \frac{W}{18} = z_R S_o + 9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

PARA CBR 6.92% (CON GEOTEXTIL Y GEOMALLA)

CAPAS	Espesor		mi	ai	Módulo E	ai*mi*Di	SNI(PROG.)	Di*		Di	SNI*
	(cm)	(plg)						Calculados (puig)	Calculados (cm)	Ajustados (puig)	Ajustados (cm)
SUPERFICIE	10	3.94		0.4	370000	1.57	2.31	5.78	14.67	6	15
BASE	15	5.91	1	0.134	28438	0.79	2.97	4.25	10.80	6	15
MEJORAMIENTO	40	15.75	1	0.115	15586	1.81	3.49	2.49	6.32	3	8
						103.8	3.49			SN	3.55

SN=	3.49
	1.63582141
	Dif
log (W18)=	6.278658274 -4.6428

$$\log_{10} \frac{W}{18} = z_R S_o + 9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$



$$D_i \geq SN_i$$

$$a_1$$

$$SN_i = a_1 D_i > SN_i$$

$$D_1 = SN_1, SN_2$$

$$a_2, m_2$$

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_2$$

$$D_1 \geq SN_1, (SN_1 + SN_2)$$

$$a_2, m_2$$

PARA CBR 6.32% (CON GEOMALLA)

CAPAS	Espesor		mi	ai	Módulo E	ai*mi*Di	SNI(PROG.)	Di*		Di	SNI*
	(cm)	(pulg)						Calculados (pulg)	Calculados (cm)	Ajustados (pulg)	Ajustados (cm)
SUPERFICIE	10	3.94		0.4	370000	1.57	2.31	5.78	14.67	6	15
BASE	15	5.91	1	0.134	28438	0.79	2.97	4.25	10.80	6	15
MEJORAMIENTO	40	15.75	1	0.115	15586	1.81	3.62	3.62	9.19	4	10
						94.8	3.62				SN 3.66

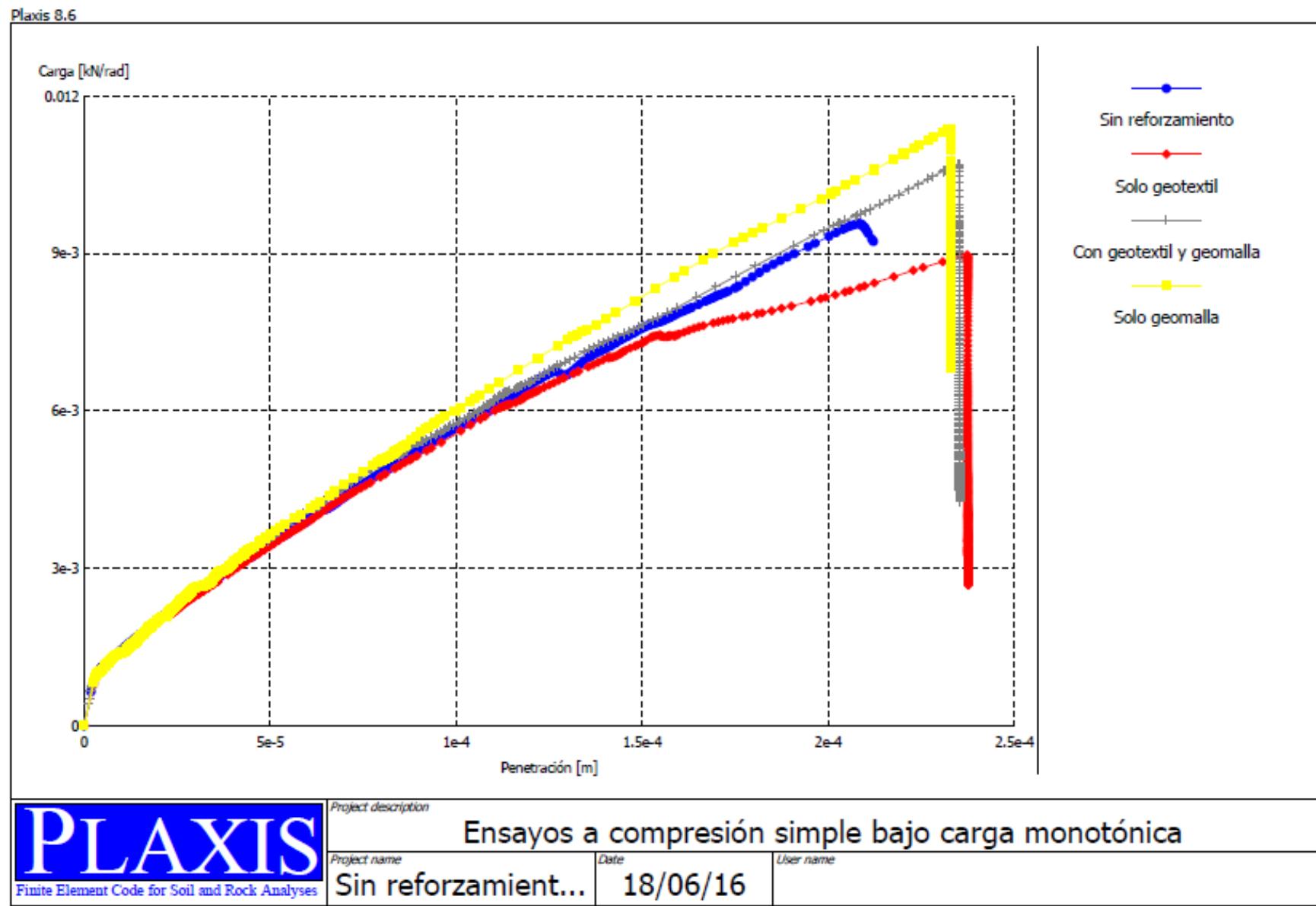
SN=	3.62
	1.636850952
	Dif

log (W18)= 6.278658274 -4.6418

$$\log_{10} \frac{W}{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

ANEXO RESULTADOS SIMULACIONES

1. ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE



2. DEFORMACIÓN SIN REFORZAMIENTO

SIN REFORZAMIENTO (H= 0.24m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
1256	A	0	0.24	0	-0.000202	0.0000	0.2398
1257		0.001875	0.24	1.07E-06	-0.000202	0.0019	0.2398
1258		0.00375	0.24	2.749E-06	-0.000202	0.0038	0.2398
1259		0.005625	0.24	5.596E-06	-0.0002	0.0056	0.2398
1394		0.0075	0.24	9.957E-06	-0.000197	0.0075	0.2398
1298		0.009375	0.24	1.56E-05	-0.000193	0.0094	0.2398
1299		0.01125	0.24	2.198E-05	-0.000186	0.0113	0.2398
1300		0.013125	0.24	2.859E-05	-0.000177	0.0132	0.2398
1304		0.015	0.24	3.446E-05	-0.000166	0.0150	0.2398
1305		0.016875	0.24	3.931E-05	-0.000156	0.0169	0.2398
1306		0.01875	0.24	4.323E-05	-0.000145	0.0188	0.2399
1307		0.020625	0.24	4.55E-05	-0.000133	0.0207	0.2399
1442		0.0225	0.24	4.662E-05	-0.000121	0.0225	0.2399
1273		0.024375	0.24	4.7E-05	-0.000108	0.0244	0.2399
1274		0.02625	0.24	4.678E-05	-9.59E-05	0.0263	0.2399
1275		0.028125	0.24	4.622E-05	-8.4E-05	0.0282	0.2399
1272		0.03	0.24	4.531E-05	-7.2E-05	0.0300	0.2399
1266		0.031875	0.24	4.368E-05	-5.93E-05	0.0319	0.2399
1267		0.03375	0.24	4.122E-05	-4.7E-05	0.0338	0.2400
1268		0.035625	0.24	3.833E-05	-3.57E-05	0.0357	0.2400
1496		0.0375	0.24	3.554E-05	-2.61E-05	0.0375	0.2400
1350		0.039375	0.24	3.371E-05	-1.87E-05	0.0394	0.2400
1351		0.04125	0.24	3.201E-05	-1.22E-05	0.0413	0.2400
1352		0.043125	0.24	3.023E-05	-6.45E-06	0.0432	0.2400
1362		0.045	0.24	2.816E-05	-1.08E-06	0.0450	0.2400
1363		0.046875	0.24	2.582E-05	3.942E-06	0.0469	0.2400
1364		0.04875	0.24	2.331E-05	8.818E-06	0.0488	0.2400
1365		0.050625	0.24	2.072E-05	1.338E-05	0.0506	0.2400
1534		0.0525	0.24	1.817E-05	1.763E-05	0.0525	0.2400
1528		0.054375	0.24	1.572E-05	2.145E-05	0.0544	0.2400
1529		0.05625	0.24	1.341E-05	2.482E-05	0.0563	0.2400
1530		0.058125	0.24	1.135E-05	2.764E-05	0.0581	0.2400
1550		0.06	0.24	9.623E-06	2.987E-05	0.0600	0.2400
1554		0.061875	0.24	8.098E-06	3.168E-05	0.0619	0.2400
1555		0.06375	0.24	6.495E-06	3.334E-05	0.0638	0.2400
1556		0.065625	0.24	4.912E-06	3.486E-05	0.0656	0.2400
1840		0.0675	0.24	3.452E-06	3.62E-05	0.0675	0.2400
1825		0.069375	0.24	2.214E-06	3.73E-05	0.0694	0.2400
1826		0.07125	0.24	1.273E-06	3.808E-05	0.0713	0.2400
1827		0.073125	0.24	5.686E-07	3.857E-05	0.0731	0.2400
1824	B	0.075	0.24	0	3.875E-05	0.0750	0.2400

SIN REFORZAMIENTO (H= 0.28m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
29	C	0	0.28	0	-0.000213	0.0000	0.2798
28		0.0008929	0.28	0	-0.000213	0.0009	0.2798
27		0.0017857	0.28	0	-0.000213	0.0018	0.2798
26		0.0026786	0.28	0	-0.000213	0.0027	0.2798
25		0.0035714	0.28	0	-0.000213	0.0036	0.2798
24		0.0044643	0.28	0	-0.000213	0.0045	0.2798
23		0.0053571	0.28	0	-0.000213	0.0054	0.2798
22		0.00625	0.28	0	-0.000213	0.0063	0.2798
21		0.0071429	0.28	0	-0.000213	0.0071	0.2798
20		0.0080357	0.28	0	-0.000213	0.0080	0.2798
19		0.0089286	0.28	0	-0.000213	0.0089	0.2798
18		0.0098214	0.28	0	-0.000213	0.0098	0.2798
17		0.0107143	0.28	0	-0.000213	0.0107	0.2798
16		0.0116071	0.28	0	-0.000213	0.0116	0.2798
15		0.0125	0.28	0	-0.000213	0.0125	0.2798
14		0.0133929	0.28	0	-0.000213	0.0134	0.2798
13		0.0142857	0.28	0	-0.000213	0.0143	0.2798
12		0.0151786	0.28	0	-0.000213	0.0152	0.2798
11		0.0160714	0.28	0	-0.000213	0.0161	0.2798
10		0.0169643	0.28	0	-0.000213	0.0170	0.2798
9		0.0178571	0.28	0	-0.000213	0.0179	0.2798
7		0.01875	0.28	0	-0.000213	0.0188	0.2798
6		0.0196429	0.28	0	-0.000213	0.0196	0.2798
5		0.0205357	0.28	0	-0.000213	0.0205	0.2798
8		0.0214286	0.28	0	-0.000213	0.0214	0.2798
4		0.0223214	0.28	0	-0.000213	0.0223	0.2798
3		0.0232143	0.28	0	-0.000213	0.0232	0.2798
2		0.0241071	0.28	0	-0.000213	0.0241	0.2798
1		0.025	0.28	0	-0.000213	0.0250	0.2798
54		0.0258626	0.28	-2.59E-05	-1.39E-05	0.0258	0.2800
53		0.0267252	0.28	1.016E-05	2.859E-05	0.0267	0.2800
52		0.0275879	0.28	3.505E-05	5.761E-05	0.0276	0.2801
62		0.0284505	0.28	2.538E-05	5.904E-05	0.0285	0.2801
68		0.0293822	0.28	2.3E-05	6.272E-05	0.0294	0.2801
67		0.0303139	0.28	2.219E-05	6.291E-05	0.0303	0.2801
66		0.0312456	0.28	1.756E-05	5.723E-05	0.0313	0.2801
150		0.0321772	0.28	1.518E-05	5.424E-05	0.0322	0.2801
156		0.0331835	0.28	1.344E-05	5.33E-05	0.0332	0.2801
155		0.0341898	0.28	1.123E-05	5.159E-05	0.0342	0.2801
154		0.0351961	0.28	9.81E-06	5.039E-05	0.0352	0.2801
256		0.0362023	0.28	9.197E-06	4.976E-05	0.0362	0.2800
262		0.0372892	0.28	8.524E-06	4.919E-05	0.0373	0.2800
261		0.038376	0.28	7.676E-06	4.843E-05	0.0384	0.2800
260		0.0394629	0.28	7.083E-06	4.786E-05	0.0395	0.2800
276		0.0405497	0.28	6.789E-06	4.753E-05	0.0406	0.2800
282		0.0417235	0.28	6.241E-06	4.686E-05	0.0417	0.2800
281		0.0428974	0.28	5.225E-06	4.56E-05	0.0429	0.2800
280		0.0440712	0.28	4.115E-06	4.437E-05	0.0441	0.2800
410		0.0452451	0.28	3.245E-06	4.355E-05	0.0452	0.2800
413		0.0465129	0.28	3.083E-06	4.334E-05	0.0465	0.2800
412		0.0477807	0.28	2.576E-06	4.269E-05	0.0478	0.2800
411		0.0490486	0.28	1.979E-06	4.192E-05	0.0491	0.2800
526		0.0503164	0.28	1.426E-06	4.129E-05	0.0503	0.2800
532		0.0516857	0.28	8.888E-07	4.073E-05	0.0517	0.2800
531		0.0530551	0.28	5.339E-07	4.038E-05	0.0531	0.2800
530		0.0544244	0.28	3.612E-07	4.018E-05	0.0544	0.2800
724		0.0557937	0.28	2.14E-07	3.998E-05	0.0558	0.2800
727		0.0572727	0.28	1.303E-07	3.985E-05	0.0573	0.2800
726		0.0587516	0.28	6.14E-08	3.975E-05	0.0588	0.2800
725		0.0602306	0.28	1.047E-08	3.967E-05	0.0602	0.2800
798		0.0617096	0.28	-2.2E-08	3.962E-05	0.0617	0.2800
804		0.0633069	0.28	-3.82E-08	3.959E-05	0.0633	0.2800
803		0.0649043	0.28	-4.27E-08	3.957E-05	0.0649	0.2800
802		0.0665016	0.28	-4.14E-08	3.956E-05	0.0665	0.2800
1058		0.068099	0.28	-3.52E-08	3.956E-05	0.0681	0.2800
1054		0.0698243	0.28	-1.69E-08	3.957E-05	0.0698	0.2800
1053		0.0715495	0.28	-6E-09	3.957E-05	0.0715	0.2800
1052		0.0732748	0.28	-8.79E-10	3.957E-05	0.0733	0.2800
1051	D	0.075	0.28	0	3.957E-05	0.0750	0.2800

3. ESFUERZOS SIN REFORZAMIENTO

BASE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
12183	A	0.0004732	0.2404348	-4.339683	-19.19299
12191		0.0023276	0.2403663	-4.823985	-21.79765
12192		0.0047738	0.2403663	-5.024784	-21.78841
12181		0.0065537	0.2404348	-5.243642	-22.90592
12542		0.0084416	0.2403148	-5.362474	-24.35206
12549		0.0102222	0.2402652	-4.875659	-22.41459
12550		0.0126683	0.2402652	-5.005843	-21.46826
12543		0.0145221	0.2403148	-5.91704	-18.29772
12602		0.0154684	0.2403148	-7.531647	-21.83042
12609		0.0173236	0.2402652	-4.604788	-17.0612
12610		0.0197697	0.2402652	-15.7966	-16.99071
12603		0.0215489	0.2403148	-25.4792	-10.96679
12590		0.0234555	0.2404483	-19.4449	-13.75054
12597		0.025234	0.2403776	-14.44703	-10.79706
12598		0.0276801	0.2403776	-11.05074	-10.9834
12591		0.029536	0.2404483	-8.967033	-9.437505
12518		0.0304824	0.2404483	-9.092597	-9.471995
12525		0.0323354	0.2403776	-8.950126	-6.215801
12526		0.0347815	0.2403776	-9.740842	-4.60851
12519		0.0365629	0.2404483	-7.482198	-2.361299
12566		0.0383792	0.2403536	-8.490941	-2.878095
12573		0.0401697	0.2402979	-8.39499	-2.839804
12574		0.0426158	0.2402979	-7.115586	-2.799674
12567		0.0444597	0.2403536	-5.595185	-2.137778
12577		0.0459756	0.2404655	-5.740792	-2.903352
12583		0.0477508	0.2403921	-4.868479	-2.474286
12584		0.050197	0.2403921	-4.416678	-1.903985
12578		0.0520561	0.2404655	-4.228945	-1.734499
12446		0.0530024	0.2404655	-4.05037	-1.404385
12453		0.0548523	0.2403921	-3.433633	-1.210022
12454		0.0572984	0.2403921	-3.221755	-1.039879
12447		0.0590829	0.2404655	-2.712926	-0.893472
12674		0.0605953	0.2403784	-3.953322	-1.150314
12681		0.0624305	0.2403187	-3.453106	-1.179978
12682		0.0648767	0.2403187	-3.130368	-0.973105
12675		0.0666758	0.2403784	-3.016652	-1.118489
12025		0.0684463	0.2404206	-2.887905	-0.736638
12031		0.0702262	0.2403543	-3.063801	-0.723406
12032		0.0726724	0.2403543	-3.088592	-0.683818
12026	B	0.0745268	0.2404206	-3.148783	-0.684961

SUBRASANTE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
338	A	0.0004732	0.2395412	-0.973687	-5.655509
344		0.0023276	0.2396135	-0.710769	-5.948813
343		0.0047738	0.2396135	-0.305972	-8.05632
337		0.0065537	0.2395412	-0.133951	-10.36029
843		0.0083984	0.2397847	-0.051169	-12.44697
850		0.0101858	0.2398186	-0.023341	-13.58956
849		0.0126319	0.2398186	-0.449588	-14.52456
842		0.0144789	0.2397847	-1.086212	-13.62604
1035		0.0154252	0.2397847	-1.296193	-13.19263
1042		0.0172872	0.2398186	-1.833825	-12.47385
1041		0.0197334	0.2398186	-3.515209	-10.66047
1034		0.0215057	0.2397847	-3.205979	-8.900939
999		0.0234631	0.239661	-3.864011	-7.721115
1006		0.0252403	0.2397144	-3.955465	-6.645517
1005		0.0276864	0.2397144	-4.017379	-5.715288
998		0.0295436	0.239661	-4.318873	-5.245652
939		0.0304899	0.239661	-4.731481	-4.920519
946		0.0323417	0.2397144	-5.354389	-3.815412
945		0.0347879	0.2397144	-5.346747	-2.407726
938		0.0365704	0.239661	-4.764844	-1.677533
927		0.0384972	0.2395863	-3.613304	-1.530267
934		0.0402691	0.2396515	-3.426889	-1.590766
933		0.0427152	0.2396515	-3.573327	-1.498397
926		0.0445777	0.2395863	-3.837299	-1.255275
1023		0.045524	0.2395863	-3.894205	-1.094462
1030		0.0473705	0.2396515	-4.064606	-0.891258
1029		0.0498166	0.2396515	-4.056131	-0.550738
1022		0.0516045	0.2395863	-3.889641	-0.372658
975		0.0534256	0.2397147	-3.764466	-0.220101
982		0.0552088	0.2397596	-3.580047	-0.109464
981		0.0576549	0.2397596	-3.122653	-0.035898
974		0.0595061	0.2397147	-2.680713	-0.027101
1047		0.0604524	0.2397147	-2.494073	-0.017378
1054		0.0623102	0.2397596	-2.572643	-0.026555
1053		0.0647563	0.2397596	-2.518813	-0.004878
1046		0.0665329	0.2397147	-2.362057	-0.008164
325		0.0684463	0.2395412	-2.141551	-0.025451
336		0.0702262	0.2396135	-1.791915	-0.04544
335		0.0726724	0.2396135	-1.542128	-0.209695
327	B	0.0745268	0.2395412	-1.480175	-0.244334

4. DEFORMACIÓN CON GEOTEXTIL

CON GEOTEXTIL (H= 0.24m)

CON GEOTEXTIL (H= 0.24m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
860	A	0	0.24	0	-0.000119	0.0000	0.2399
861		0.00125	0.24	2.487E-06	-0.000117	0.0013	0.2399
862		0.0025	0.24	5.146E-06	-0.000117	0.0025	0.2399
863		0.00375	0.24	8.034E-06	-0.000116	0.0038	0.2399
892		0.005	0.24	1.113E-05	-0.000115	0.0050	0.2399
893		0.00625	0.24	1.429E-05	-0.000114	0.0063	0.2399
894		0.0075	0.24	1.726E-05	-0.000113	0.0075	0.2399
895		0.00875	0.24	1.987E-05	-0.000112	0.0088	0.2399
891		0.01	0.24	2.203E-05	-0.000111	0.0100	0.2399
873		0.01125	0.24	2.379E-05	-0.000108	0.0113	0.2399
874		0.0125	0.24	2.521E-05	-0.000105	0.0125	0.2399
875		0.01375	0.24	2.624E-05	-0.000103	0.0138	0.2399
906		0.015	0.24	2.688E-05	-9.65E-05	0.0150	0.2399
907		0.01625	0.24	2.737E-05	-8.83E-05	0.0163	0.2399
908		0.0175	0.24	2.657E-05	-7.87E-05	0.0175	0.2399
909		0.01875	0.24	2.412E-05	-6.93E-05	0.0188	0.2399
924		0.02	0.24	2.208E-05	-6.14E-05	0.0200	0.2399
925		0.02125	0.24	2.095E-05	-5.55E-05	0.0213	0.2399
926		0.0225	0.24	2.042E-05	-4.94E-05	0.0225	0.2400
927		0.02375	0.24	1.996E-05	-4.45E-05	0.0238	0.2400
955		0.025	0.24	1.982E-05	-3.97E-05	0.0250	0.2400
956		0.02625	0.24	1.869E-05	-3.48E-05	0.0263	0.2400
957		0.0275	0.24	1.764E-05	-3.03E-05	0.0275	0.2400
958		0.02875	0.24	1.625E-05	-2.59E-05	0.0288	0.2400
959		0.03	0.24	1.464E-05	-2.18E-05	0.0300	0.2400
937		0.03125	0.24	1.343E-05	-1.79E-05	0.0313	0.2400
938		0.0325	0.24	1.236E-05	-1.44E-05	0.0325	0.2400
939		0.03375	0.24	1.127E-05	-1.13E-05	0.0338	0.2400
970		0.035	0.24	1.046E-05	-8.65E-06	0.0350	0.2400
971		0.03625	0.24	9.653E-06	-6.38E-06	0.0363	0.2400
972		0.0375	0.24	8.908E-06	-4.27E-06	0.0375	0.2400
973		0.03875	0.24	8.275E-06	-2.38E-06	0.0388	0.2400
988		0.04	0.24	7.658E-06	-6.64E-07	0.0400	0.2400
989		0.04125	0.24	7.061E-06	-5.997E-07	0.0413	0.2400
990		0.0425	0.24	6.55E-06	-2.347E-06	0.0425	0.2400
991		0.04375	0.24	5.936E-06	-3.681E-06	0.0438	0.2400
1002		0.045	0.24	5.186E-06	4.942E-06	0.0450	0.2400
1003		0.04625	0.24	5.192E-06	6.093E-06	0.0463	0.2400
1004		0.0475	0.24	5.128E-06	7.2E-06	0.0475	0.2400
1005		0.04875	0.24	5.021E-06	8.194E-06	0.0488	0.2400
1021		0.05	0.24	4.876E-06	9.095E-06	0.0500	0.2400
1022		0.05125	0.24	4.761E-06	9.905E-06	0.0513	0.2400
1023		0.0525	0.24	4.64E-06	1.065E-05	0.0525	0.2400
1024		0.05375	0.24	4.455E-06	1.13E-05	0.0538	0.2400
1025		0.055	0.24	4.121E-06	1.182E-05	0.0550	0.2400
813		0.05625	0.24	3.594E-06	1.237E-05	0.0563	0.2400
814		0.0575	0.24	3.223E-06	1.291E-05	0.0575	0.2400
815		0.05875	0.24	2.94E-06	1.346E-05	0.0588	0.2400
1036		0.06	0.24	2.632E-06	1.397E-05	0.0600	0.2400
1037		0.06125	0.24	2.241E-06	1.421E-05	0.0613	0.2400
1038		0.0625	0.24	1.952E-06	1.516E-05	0.0625	0.2400
1039		0.06375	0.24	1.646E-06	1.511E-05	0.0638	0.2400
1055		0.065	0.24	1.335E-06	1.539E-05	0.0650	0.2400
1056		0.06625	0.24	1.098E-06	1.559E-05	0.0663	0.2400
1057		0.0675	0.24	9.109E-07	1.578E-05	0.0675	0.2400
1058		0.06875	0.24	6.606E-07	1.581E-05	0.0688	0.2400
1059		0.07	0.24	2.14E-07	1.578E-05	0.0700	0.2400
836		0.07125	0.24	1.226E-07	1.58E-05	0.0713	0.2400
837		0.0725	0.24	7.825E-08	1.575E-05	0.0725	0.2400
838		0.07375	0.24	-2.79E-08	1.572E-05	0.0737	0.2400
839	B	0.075	0.24	0	1.574E-05	0.0750	0.2400

CON GEOTEXTIL (H= 0.28m)

CON GEOTEXTIL (H= 0.28m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
15	C	0	0.28	0	-0.000238	0.0000	0.2798
14		0.00125	0.28	0	-0.000238	0.0013	0.2798
13		0.0025	0.28	0	-0.000238	0.0025	0.2798
12		0.00375	0.28	0	-0.000238	0.0038	0.2798
16		0.005	0.28	0	-0.000238	0.0050	0.2798
3		0.00625	0.28	0	-0.000238	0.0063	0.2798
2		0.0075	0.28	0	-0.000238	0.0075	0.2798
1		0.00875	0.28	0	-0.000238	0.0088	0.2798
7		0.01	0.28	0	-0.000238	0.0100	0.2798
6		0.01125	0.28	0	-0.000238	0.0113	0.2798
5		0.0125	0.28	0	-0.000238	0.0125	0.2798
4		0.01375	0.28	0	-0.000238	0.0138	0.2798
8		0.015	0.28	0	-0.000238	0.0150	0.2798
11		0.01625	0.28	0	-0.000238	0.0163	0.2798
10		0.0175	0.28	0	-0.000238	0.0175	0.2798
9		0.01875	0.28	0	-0.000238	0.0188	0.2798
17		0.02	0.28	0	-0.000238	0.0200	0.2798
21		0.02125	0.28	0	-0.000238	0.0213	0.2798
20		0.0225	0.28	0	-0.000238	0.0225	0.2798
19		0.02375	0.28	0	-0.000238	0.0238	0.2798
18		0.025	0.28	0	-0.000238	0.0250	0.2798
125		0.0262296	0.28	2.262E-06	-1.85E-05	0.0262	0.2800
124		0.0274592	0.28	1.457E-05	4.975E-05	0.0275	0.2800
123		0.0286888	0.28	2.535E-05	8.505E-05	0.0287	0.2801
148		0.0299185	0.28	4.403E-05	8.025E-05	0.0300	0.2801
154		0.0312986	0.28	5.03E-05	9.367E-05	0.0313	0.2801
153		0.0326788	0.28	4.857E-05	9.474E-05	0.0327	0.2801
152		0.0340593	0.28	4.554E-05	9.382E-05	0.0341	0.2801
202		0.0354392	0.28	4.316E-05	9.483E-05	0.0355	0.2801
198		0.0369884	0.28	4.451E-05	9.601E-05	0.0370	0.2801
197		0.0385377	0.28	4.483E-05	9.688E-05	0.0386	0.2801
196		0.0400869	0.28	4.42E-05	9.625E-05	0.0401	0.2801
206		0.0416361	0.28	4.303E-05	9.433E-05	0.0417	0.2801
212		0.043375	0.28	4.084E-05	9.181E-05	0.0434	0.2801
211		0.045114	0.28	3.845E-05	8.909E-05	0.0452	0.2801
210		0.0468529	0.28	3.638E-05	8.698E-05	0.0469	0.2801
244		0.0485918	0.28	3.445E-05	8.513E-05	0.0486	0.2801
247		0.0505437	0.28	3.239E-05	8.332E-05	0.0506	0.2801
246		0.0524956	0.28	3.023E-05	8.153E-05	0.0525	0.2801
245		0.0544475	0.28	2.801E-05	7.985E-05	0.0545	0.2801
254		0.0563994	0.28	2.574E-05	7.816E-05	0.0564	0.2801
260		0.0585903	0.28	2.311E-05	7.651E-05	0.0586	0.2801
259		0.0607812	0.28	2.042E-05	7.506E-05	0.0608	0.2801
258		0.0629722	0.28	1.767E-05	7.387E-05	0.0630	0.2801
276		0.0651631	0.28	1.478E-05	7.295E-05	0.0652	0.2801
280		0.0676223	0.28	1.135E-05	7.197E-05	0.0676	0.2801
279		0.0700815	0.28	7.652E-06	7.088E-05	0.0701	0.2801
278		0.0725408	0.28	3.855E-06	7.006E-05	0.0725	0.2801
277	D	0.075	0.28	0	6.982E-05	0.0750	0.2801

5. ESFUERZOS CON GEOTEXTIL

SUBRASANTE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
99	A	0.0003154	0.2396824	-0.016811	-6.390166
106		0.0015518	0.2397324	-0.070814	-6.541867
105		0.0031825	0.2397324	-0.037733	-6.456545
98		0.0043691	0.2396824	-0.119889	-6.787177
87		0.0054553	0.2397127	-0.186014	-6.358297
94		0.0066696	0.2397579	-0.281649	-6.226201
93		0.0083003	0.2397579	-0.488263	-6.133373
86		0.009509	0.2397127	-0.825433	-6.105998
75		0.0106367	0.2395907	-0.987644	-5.420178
82		0.0118224	0.2396552	-1.019092	-5.564388
81		0.0134531	0.2396552	-1.244524	-5.632783
74		0.0146904	0.2395907	-1.601894	-5.589051
123		0.0153213	0.2395907	-2.072132	-5.631721
130		0.0165567	0.2396552	-2.754551	-5.104326
129		0.0181874	0.2396552	-3.086343	-3.543797
122		0.0193749	0.2395907	-3.048555	-2.131508
63		0.0206099	0.2397024	-2.384279	-2.164255
70		0.0217998	0.2397493	-2.176004	-2.335163
69		0.0234306	0.2397493	-2.360951	-2.010232
62		0.0246636	0.2397024	-1.869517	-1.666683
111		0.0252945	0.2397024	-2.269031	-2.18717
118		0.0265341	0.2397493	-2.373676	-1.696503
117		0.0281649	0.2397493	-2.221364	-1.334953
110		0.0293482	0.2397024	-2.160932	-1.090426
51		0.0305427	0.2395987	-2.086372	-0.932542
58		0.0317432	0.239662	-1.962269	-0.791644
57		0.033374	0.239662	-1.800521	-0.647148
50		0.0345964	0.2395987	-1.699517	-0.547307
171		0.0352273	0.2395987	-1.672843	-0.539982
178		0.0364775	0.239662	-1.520295	-0.579182
177		0.0381082	0.239662	-1.457776	-0.538232
170		0.0392809	0.2395987	-1.412478	-0.559825
39		0.0406318	0.2395131	-1.383632	-0.563104
46		0.0418182	0.2395898	-1.345613	-0.570579
45		0.043449	0.2395898	-1.293844	-0.593867
38		0.0446854	0.2395131	-1.2547	-0.611635
27		0.0453163	0.2395131	-1.213204	-0.630919
34		0.0465525	0.2395898	-1.144294	-0.670398
33		0.0481833	0.2395898	-1.120576	-0.664327
26		0.04937	0.2395131	-1.121058	-0.655464
15		0.0505913	0.239705	-1.086672	-0.669366
22		0.0517842	0.2397515	-1.089997	-0.65105
21		0.0534149	0.2397515	-1.119602	-0.608674
14		0.054645	0.239705	-1.148753	-0.594576
159		0.0552759	0.239705	-1.147542	-0.609539
166		0.0565184	0.2397515	-1.145632	-0.596463
165		0.0581492	0.2397515	-1.139342	-0.578044
158		0.0593295	0.239705	-1.16655	-0.535481
147		0.0604381	0.2395429	-1.106322	-0.621708
154		0.0616551	0.239615	-1.106355	-0.604635
153		0.0632859	0.239615	-1.134065	-0.531543
146		0.0644918	0.2395429	-1.106607	-0.552035
3		0.0655236	0.2396998	-1.078627	-0.569554
10		0.0667271	0.2397471	-1.069546	-0.568383
9		0.0683578	0.2397471	-1.068517	-0.564412
2		0.0695772	0.2396998	-1.059018	-0.589265
135		0.0706309	0.2396824	-1.037358	-0.605539
142		0.0718175	0.2397324	-0.999891	-0.642911
141		0.0734482	0.2397324	-0.970846	-0.679578
134	B	0.0746846	0.2396824	-0.971635	-0.672463

BASE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
6818	A	0.0003154	0.2403155	-59.78612	-13.14498
6825		0.0015518	0.2402657	-60.66619	-13.2207
6826		0.0031825	0.2402657	-61.83985	-13.55487
6819		0.0043691	0.2403155	-62.95787	-14.31265
6830		0.0056163	0.2403035	-66.8817	-14.71064
6837		0.0068052	0.2402557	-64.96121	-14.53092
6838		0.0084359	0.2402557	-57.38887	-12.65437
6831		0.0096699	0.2403035	-44.67804	-13.89908
6806		0.0103008	0.2403035	-49.18904	-18.55983
6813		0.0115394	0.2402557	-49.38274	-11.81266
6814		0.0131702	0.2402557	-39.84194	-18.54811
6807		0.0143545	0.2403035	-30.70959	-10.75809
6854		0.0155975	0.2403355	-28.38265	-14.26663
6861		0.0167893	0.2402826	-23.98981	-11.50178
6862		0.0184201	0.2402826	-19.21104	-6.467858
6855		0.0196511	0.2403355	-17.23208	-5.144054
6710		0.020282	0.2403355	-16.5817	-5.024204
6717		0.0215236	0.2402826	-15.95091	-4.73197
6718		0.0231543	0.2402826	-13.29118	-4.063615
6711		0.0243357	0.2403355	-12.46331	-3.303503
6842		0.0256636	0.24043	-12.17258	-3.618179
6849		0.026845	0.2403622	-10.99844	-3.390829
6850		0.0284758	0.2403622	-9.512265	-2.575421
6843		0.0297172	0.24043	-7.989158	-1.756684
6722		0.0303481	0.24043	-7.387213	-1.607974
6729		0.0315793	0.2403622	-6.21625	-1.363639
6730		0.03321	0.2403622	-4.292486	-0.961769
6723		0.0344018	0.24043	-2.765428	-0.619443
6902		0.0356412	0.2402746	-1.520395	-0.786248
6909		0.0368262	0.2402313	-0.555002	-0.863218
6910		0.0384569	0.2402313	-0.415755	-0.769416
6903		0.0396949	0.2402746	-0.182771	-0.539919
6734		0.0403258	0.2402746	-0.281203	-1.025177
6741		0.0415604	0.2402313	-0.209374	-0.662757
6742		0.0431912	0.2402313	-0.192891	-0.768715
6735		0.0443794	0.2402746	-0.21559	-0.850303
6758		0.0455818	0.2403638	-0.213834	-0.781228
6765		0.0467761	0.2403065	-0.144838	-0.587259
6766		0.0484069	0.2403065	-0.172365	-0.767303
6759		0.0496354	0.2403638	-0.108068	-0.44628
6770		0.0502663	0.2403638	-0.178432	-0.769761
6777		0.0515104	0.2403065	-0.166949	-0.665812
6778		0.0531411	0.2403065	-0.151037	-0.572025
6771		0.05432	0.2403638	-0.177487	-0.663291
6890		0.0555423	0.2403981	-0.17115	-0.73861
6897		0.0567429	0.2403353	-0.181465	-0.819949
6898		0.0583736	0.2403353	-0.178703	-0.784341
6891		0.059596	0.2403981	-0.145541	-0.590961
6926		0.0606885	0.2402498	-0.220622	-0.961551
6933		0.061866	0.2402104	-0.141518	-0.6039
6934		0.0634968	0.2402104	-0.10567	-0.480516
6927		0.0647422	0.2402498	-0.121494	-0.479596
6698		0.0653731	0.2402498	-0.158887	-0.569956
6705		0.0666003	0.2402104	-0.11584	-0.445746
6706		0.0682311	0.2402104	-0.140673	-0.548778
6699		0.0694267	0.2402498	-0.128493	-0.527343
6938		0.0706309	0.2403464	-0.145805	-0.633675
6945		0.0718175	0.2402918	-0.149447	-0.632693
6946		0.0734482	0.2402918	-0.168222	-0.752633
6939	B	0.0746846	0.2403464	-0.160667	-0.739055

6. DEFORMACIÓN CON GEOTEXTIL Y GEOMALLA

CON GEOTEXTIL Y GEOMALLA (H= 0.24m)

CON GEOTEXTIL Y GEOMALLA (H= 0.24m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
860	A	0	0.24	0	-0.000146	0.0000	0.2399
861		0.00125	0.24	7.105E-07	-0.000146	0.0013	0.2399
862		0.0025	0.24	1.424E-06	-0.000146	0.0025	0.2399
863		0.00375	0.24	2.128E-06	-0.000145	0.0038	0.2399
892		0.005	0.24	2.821E-06	-0.000145	0.0050	0.2399
893		0.00625	0.24	3.498E-06	-0.000145	0.0063	0.2399
894		0.0075	0.24	4.162E-06	-0.000145	0.0075	0.2399
895		0.00875	0.24	4.809E-06	-0.000144	0.0088	0.2399
891		0.01	0.24	5.437E-06	-0.000143	0.0100	0.2399
873		0.01125	0.24	6.034E-06	-0.000143	0.0113	0.2399
874		0.0125	0.24	6.576E-06	-0.000141	0.0125	0.2399
875		0.01375	0.24	7.059E-06	-0.000139	0.0138	0.2399
906		0.015	0.24	7.483E-06	-0.000136	0.0150	0.2399
907		0.01625	0.24	7.83E-06	-0.000132	0.0163	0.2399
908		0.0175	0.24	8.092E-06	-0.000126	0.0175	0.2399
909		0.01875	0.24	8.269E-06	-0.000118	0.0188	0.2399
924		0.02	0.24	8.363E-06	-0.000107	0.0200	0.2399
925		0.02125	0.24	8.397E-06	-9.61E-05	0.0213	0.2399
926		0.0225	0.24	8.407E-06	-8.55E-05	0.0225	0.2399
927		0.02375	0.24	8.397E-06	-7.51E-05	0.0238	0.2399
955		0.025	0.24	8.385E-06	-6.61E-05	0.0250	0.2399
956		0.02625	0.24	8.37E-06	-5.74E-05	0.0263	0.2399
957		0.0275	0.24	8.36E-06	-4.97E-05	0.0275	0.2400
958		0.02875	0.24	8.354E-06	-4.26E-05	0.0288	0.2400
959		0.03	0.24	8.353E-06	-3.65E-05	0.0300	0.2400
937		0.03125	0.24	8.363E-06	-3.02E-05	0.0313	0.2400
938		0.0325	0.24	8.369E-06	-2.49E-05	0.0325	0.2400
939		0.03375	0.24	8.342E-06	-2.01E-05	0.0338	0.2400
970		0.035	0.24	8.243E-06	-1.57E-05	0.0350	0.2400
971		0.03625	0.24	8.164E-06	-1.17E-05	0.0363	0.2400
972		0.0375	0.24	8.1E-06	-8.07E-06	0.0375	0.2400
973		0.03875	0.24	7.971E-06	-4.89E-06	0.0388	0.2400
988		0.04	0.24	7.913E-06	-2.06E-06	0.0400	0.2400
989		0.04125	0.24	7.899E-06	5.02E-07	0.0413	0.2400
990		0.0425	0.24	7.805E-06	2.852E-06	0.0425	0.2400
991		0.04375	0.24	7.693E-06	5.044E-06	0.0438	0.2400
1002		0.045	0.24	7.615E-06	7.016E-06	0.0450	0.2400
1003		0.04625	0.24	7.436E-06	8.888E-06	0.0463	0.2400
1004		0.0475	0.24	7.257E-06	1.054E-05	0.0475	0.2400
1005		0.04875	0.24	7.063E-06	1.203E-05	0.0488	0.2400
1021		0.05	0.24	6.847E-06	1.339E-05	0.0500	0.2400
1022		0.05125	0.24	6.66E-06	1.462E-05	0.0513	0.2400
1023		0.0525	0.24	6.355E-06	1.579E-05	0.0525	0.2400
1024		0.05375	0.24	5.789E-06	1.689E-05	0.0538	0.2400
1025		0.055	0.24	5.2E-06	1.795E-05	0.0550	0.2400
813		0.05625	0.24	4.718E-06	1.885E-05	0.0563	0.2400
814		0.0575	0.24	4.342E-06	1.967E-05	0.0575	0.2400
815		0.05875	0.24	3.987E-06	2.038E-05	0.0588	0.2400
1036		0.06	0.24	3.56E-06	2.102E-05	0.0600	0.2400
1037		0.06125	0.24	3.078E-06	2.161E-05	0.0613	0.2400
1038		0.0625	0.24	2.716E-06	2.212E-05	0.0625	0.2400
1039		0.06375	0.24	2.353E-06	2.266E-05	0.0638	0.2400
1055		0.065	0.24	1.874E-06	2.317E-05	0.0650	0.2400
1056		0.06625	0.24	1.39E-06	2.357E-05	0.0663	0.2400
1057		0.0675	0.24	8.22E-07	2.391E-05	0.0675	0.2400
1058		0.06875	0.24	1.69E-07	2.421E-05	0.0688	0.2400
1059		0.07	0.24	-3.22E-07	2.437E-05	0.0700	0.2400
836		0.07125	0.24	-3.58E-07	2.442E-05	0.0712	0.2400
837		0.0725	0.24	-2.78E-07	2.445E-05	0.0725	0.2400
838		0.07375	0.24	-1.45E-07	2.436E-05	0.0737	0.2400
839	B	0.075	0.24	0	2.433E-05	0.0750	0.2400

CON GEOTEXTIL Y GEOMALLA (H= 0.28m)

CON GEOTEXTIL Y GEOMALLA (H= 0.28m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
15	C	0	0.28	0	-0.000236	0.0000	0.2798
14		0.00125	0.28	0	-0.000236	0.0013	0.2798
13		0.0025	0.28	0	-0.000236	0.0025	0.2798
12		0.00375	0.28	0	-0.000236	0.0038	0.2798
16		0.005	0.28	0	-0.000236	0.0050	0.2798
3		0.00625	0.28	0	-0.000236	0.0063	0.2798
2		0.0075	0.28	0	-0.000236	0.0075	0.2798
1		0.00875	0.28	0	-0.000236	0.0088	0.2798
7		0.01	0.28	0	-0.000236	0.0100	0.2798
6		0.01125	0.28	0	-0.000236	0.0113	0.2798
5		0.0125	0.28	0	-0.000236	0.0125	0.2798
4		0.01375	0.28	0	-0.000236	0.0138	0.2798
8		0.015	0.28	0	-0.000236	0.0150	0.2798
11		0.01625	0.28	0	-0.000236	0.0163	0.2798
10		0.0175	0.28	0	-0.000236	0.0175	0.2798
9		0.01875	0.28	0	-0.000236	0.0188	0.2798
17		0.02	0.28	0	-0.000236	0.0200	0.2798
21		0.02125	0.28	0	-0.000236	0.0213	0.2798
20		0.0225	0.28	0	-0.000236	0.0225	0.2798
19		0.02375	0.28	0	-0.000236	0.0238	0.2798
18		0.025	0.28	0	-0.000236	0.0250	0.2798
125		0.0262296	0.28	-1.02E-05	1.472E-05	0.0262	0.2800
124		0.0274592	0.28	7.882E-06	6.511E-05	0.0275	0.2801
123		0.0286888	0.28	2.152E-05	9.388E-05	0.0287	0.2801
148		0.0299185	0.28	4.018E-05	8.503E-05	0.0300	0.2801
154		0.0312986	0.28	4.937E-05	9.482E-05	0.0313	0.2801
153		0.0326788	0.28	4.979E-05	9.558E-05	0.0327	0.2801
152		0.034059	0.28	4.798E-05	9.602E-05	0.0341	0.2801
202		0.0354392	0.28	4.6E-05	9.579E-05	0.0355	0.2801
198		0.0369884	0.28	4.621E-05	9.542E-05	0.0370	0.2801
197		0.0385377	0.28	4.592E-05	9.494E-05	0.0386	0.2801
196		0.0400869	0.28	4.431E-05	9.228E-05	0.0401	0.2801
206		0.0416361	0.28	4.132E-05	8.793E-05	0.0417	0.2801
212		0.043375	0.28	3.702E-05	8.279E-05	0.0434	0.2801
211		0.045114	0.28	3.292E-05	7.862E-05	0.0451	0.2801
210		0.0468529	0.28	3E-05	7.575E-05	0.0469	0.2801
244		0.0485918	0.28	2.832E-05	7.392E-05	0.0486	0.2801
247		0.05050437	0.28	2.641E-05	7.216E-05	0.0506	0.2801
246		0.0524956	0.28	2.444E-05	7.046E-05	0.0525	0.2801
245		0.0544475	0.28	2.243E-05	6.882E-05	0.0545	0.2801
254		0.0563994	0.28	2.04E-05	6.725E-05	0.0564	0.2801
260		0.0585903	0.28	1.809E-05	6.564E-05	0.0586	0.2801
259		0.0607812	0.28	1.574E-05	6.42E-05	0.0608	0.2801
258		0.0629722	0.28	1.333E-05	6.29E-05	0.0630	0.2801
276		0.0651631	0.28	1.08BE-05	6.174E-05	0.0652	0.2801
280		0.0676223	0.28	8.157E-06	6.058E-05	0.0676	0.2801
279		0.07000815	0.28	5.408E-06	5.973E-05	0.0701	0.2801
278		0.07254048	0.28	2.684E-06	5.92E-05	0.0725	0.2801
277	D	0.075	0.28	0	5.9E-05	0.0750	0.2801

7. ESFUERZOS CON GEOTEXTIL Y
GEOMALLA

SUBRASANTE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
99	A	0.0003154	0.2396824	-1.168035	-3.401779
106		0.0015518	0.2397324	-1.193971	-3.33232
105		0.0031825	0.2397324	-1.184293	-3.388137
98		0.0043691	0.2396824	-1.230748	-3.367874
87		0.0054553	0.2397127	-1.280491	-3.344419
94		0.0066696	0.2397579	-1.295102	-3.378036
93		0.0083003	0.2397579	-1.353186	-3.409883
86		0.009509	0.2397127	-1.440168	-3.396658
75		0.0106367	0.2395907	-1.374374	-3.614971
82		0.0118224	0.2396552	-1.421904	-3.677738
81		0.0134531	0.2396552	-1.523268	-3.717262
74		0.0146904	0.2395907	-1.455346	-3.89729
123		0.0153213	0.2395907	-1.429266	-4.02957
130		0.0165567	0.2396552	-1.514625	-4.01853
129		0.0181874	0.2396552	-1.479552	-3.939546
122		0.0193749	0.2395907	-1.165305	-3.942998
63		0.0206099	0.2397024	-1.839767	-2.589136
70		0.0217998	0.2397493	-1.519621	-2.456726
69		0.0234306	0.2397493	-1.48138	-1.882313
62		0.0246636	0.2397024	-1.331801	-1.754892
111		0.0252945	0.2397024	-1.233202	-1.762747
118		0.0265341	0.2397493	-1.262051	-1.455397
117		0.0281649	0.2397493	-1.063054	-1.45564
110		0.0293482	0.2397024	-1.081336	-1.295713
51		0.0305427	0.2395987	-1.139405	-1.136565
58		0.0317432	0.239662	-1.034535	-1.134771
57		0.033374	0.239662	-0.99659	-1.092212
50		0.0345964	0.2395987	-1.020501	-1.023098
171		0.0352273	0.2395987	-1.011856	-0.98894
178		0.0364775	0.239662	-0.988448	-0.93521
177		0.0381082	0.239662	-0.975972	-0.89989
170		0.0392809	0.2395987	-0.996794	-0.869631
39		0.0406318	0.2395131	-0.997009	-0.869057
46		0.0418182	0.2395898	-0.979402	-0.867107
45		0.043449	0.2395898	-1.006884	-0.820618
38		0.0446854	0.2395131	-1.024586	-0.799208
27		0.0453163	0.2395131	-1.033108	-0.783316
34		0.0465525	0.2395898	-1.050439	-0.740837
33		0.0481833	0.2395898	-1.068647	-0.715773
26		0.04937	0.2395131	-1.098691	-0.690293
15		0.0505913	0.239705	-1.087655	-0.688844
22		0.0517842	0.2397515	-1.132806	-0.644084
21		0.0534149	0.2397515	-1.187574	-0.581386
14		0.054645	0.239705	-1.20511	-0.558655
159		0.0552759	0.239705	-1.198369	-0.553514
166		0.0565184	0.2397515	-1.200061	-0.527959
165		0.0581492	0.2397515	-1.197955	-0.523359
158		0.0593295	0.239705	-1.206262	-0.520361
147		0.0604381	0.2395429	-1.214161	-0.512694
154		0.0616551	0.239615	-1.202402	-0.516226
153		0.0632859	0.239615	-1.193191	-0.516524
146		0.0644918	0.2395429	-1.210161	-0.486283
3		0.0655236	0.2396998	-1.206401	-0.469215
10		0.0667271	0.2397471	-1.202545	-0.46484
9		0.0683578	0.2397471	-1.172203	-0.469697
2		0.0695772	0.2396998	-1.120864	-0.499361
135		0.0706309	0.2396824	-1.04698	-0.56969
142		0.0718175	0.2397324	-0.980833	-0.632063
141		0.0734482	0.2397324	-0.930027	-0.694146
134	B	0.0746846	0.2396824	-0.925537	-0.706603

BASE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
6818	A	0.0003154	0.2403155	-39.17509	-12.07317
6825		0.0015518	0.2402657	-40.4728	-14.09309
6826		0.0031825	0.2402657	-42.56514	-13.857
6819		0.0043691	0.2403155	-43.87322	-13.78861
6830		0.0056163	0.2403035	-48.02159	-13.399
6837		0.0068052	0.2402557	-51.68279	-14.48376
6838		0.0084359	0.2402557	-57.04318	-15.88682
6831		0.0096699	0.2403035	-64.46409	-14.71024
6806		0.0103008	0.2403035	-65.81589	-14.82126
6813		0.0115394	0.2402557	-66.29116	-17.34704
6814		0.0131702	0.2402557	-67.98521	-17.11995
6807		0.0143545	0.2403035	-61.84836	-18.97829
6854		0.0155975	0.2403355	-56.66703	-19.76237
6861		0.0167893	0.2402826	-46.71389	-18.33896
6862		0.0184201	0.2402826	-35.01081	-18.63735
6855		0.0196511	0.2403355	-27.33659	-14.00141
6710		0.020282	0.2403355	-25.24335	-14.83817
6717		0.0215236	0.2402826	-22.67904	-9.423416
6718		0.0231543	0.2402826	-20.13152	-8.544587
6711		0.0243357	0.2403355	-18.39639	-5.510464
6842		0.0256636	0.24043	-14.7615	-4.742253
6849		0.0268445	0.2403622	-13.54214	-4.72746
6850		0.0284758	0.2403622	-10.56994	-3.583051
6843		0.0297172	0.24043	-8.039539	-2.718806
6722		0.0303481	0.24043	-7.547819	-2.629072
6729		0.0315793	0.2403622	-7.645721	-2.020004
6730		0.03321	0.2403622	-7.224706	-1.699375
6723		0.0344018	0.24043	-5.405546	-1.229196
6902		0.0356412	0.2402746	-5.011125	-1.154418
6909		0.0368262	0.2402313	-3.17347	-0.877891
6910		0.0384569	0.2402313	-1.085848	-0.764136
6903		0.0396949	0.2402746	-0.801649	-0.817264
6734		0.0403258	0.2402746	-0.682802	-0.643764
6741		0.0415604	0.2402313	-0.515702	-0.764222
6742		0.0431912	0.2402313	-0.410094	-0.699727
6735		0.0443794	0.2402746	-0.35335	-0.637243
6758		0.0455818	0.2403638	-0.375711	-0.364926
6765		0.0467761	0.2403065	-0.490827	-0.606205
6766		0.0484069	0.2403065	-0.303096	-0.605784
6759		0.0496354	0.2403638	-0.304066	-0.580114
6770		0.0502663	0.2403638	-0.356742	-0.595039
6777		0.0515104	0.2403065	-0.373579	-0.641269
6778		0.0531411	0.2403065	-0.296148	-0.6373
6771		0.05432	0.2403638	-0.217708	-0.606313
6890		0.0555423	0.2403981	-0.275497	-0.768964
6897		0.0567429	0.2403353	-0.125167	-0.505648
6898		0.0583736	0.2403353	-0.144865	-0.427239
6891		0.0595956	0.2403981	-0.219946	-0.831663
6926		0.0606885	0.2402498	-0.159016	-0.53627
6933		0.061866	0.2402104	-0.211188	-0.662218
6934		0.0634968	0.2402104	-0.226368	-0.634669
6927		0.0647422	0.2402498	-0.21885	-0.598796
6698		0.0653731	0.2402498	-0.151827	-0.380217
6705		0.0666003	0.2402104	-0.157957	-0.539116
6706		0.0682311	0.2402104	-0.107288	-0.471609
6699		0.0694267	0.2402498	-0.08577	-0.392375
6938		0.0706309	0.2403464	-0.13101	-0.593501
6945		0.0718175	0.2402918	-0.115269	-0.505951
6946		0.0734482	0.2402918	-0.156019	-0.714527
6939	B	0.0746846	0.2403464	-0.157592	-0.694421

8. DEFORMACIÓN CON GEOMALLA

CON GEOMALLA (H= 0.24m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
860	A	0	0.24	0	-0.0002	0.0000	0.2398
861		0.00125	0.24	9.237E-07	-0.000199	0.0013	0.2398
862		0.0025	0.24	1.849E-06	-0.000199	0.0025	0.2398
863		0.00375	0.24	2.782E-06	-0.000199	0.0038	0.2398
892		0.005	0.24	3.724E-06	-0.000199	0.0050	0.2398
893		0.00625	0.24	4.674E-06	-0.000198	0.0063	0.2398
894		0.0075	0.24	5.634E-06	-0.000198	0.0075	0.2398
895		0.00875	0.24	6.599E-06	-0.000197	0.0088	0.2398
891		0.01	0.24	7.567E-06	-0.000195	0.0100	0.2398
873		0.01125	0.24	8.505E-06	-0.000193	0.0113	0.2398
874		0.0125	0.24	9.347E-06	-0.000193	0.0125	0.2398
875		0.01375	0.24	1.008E-05	-0.000186	0.0138	0.2398
906		0.015	0.24	1.072E-05	-0.000182	0.0150	0.2398
907		0.01625	0.24	1.126E-05	-0.000178	0.0163	0.2398
908		0.0175	0.24	1.169E-05	-0.000173	0.0175	0.2398
909		0.01875	0.24	1.201E-05	-0.000165	0.0188	0.2398
924		0.02	0.24	1.217E-05	-0.000153	0.0200	0.2398
925		0.02125	0.24	1.222E-05	-0.000138	0.0213	0.2399
926		0.0225	0.24	1.223E-05	-0.000123	0.0225	0.2399
927		0.02375	0.24	1.22E-05	-0.00011	0.0238	0.2399
955		0.025	0.24	1.218E-05	-9.81E-05	0.0250	0.2399
956		0.02625	0.24	1.215E-05	-8.74E-05	0.0263	0.2399
957		0.0275	0.24	1.213E-05	-7.85E-05	0.0275	0.2399
958		0.02875	0.24	1.211E-05	-6.93E-05	0.0288	0.2399
959		0.03	0.24	1.209E-05	-6.11E-05	0.0300	0.2399
937		0.03125	0.24	1.207E-05	-5.34E-05	0.0313	0.2399
938		0.0325	0.24	1.203E-05	-4.61E-05	0.0325	0.2400
939		0.03375	0.24	1.196E-05	-3.92E-05	0.0338	0.2400
970		0.035	0.24	1.182E-05	-3.26E-05	0.0350	0.2400
971		0.03625	0.24	1.156E-05	-2.62E-05	0.0363	0.2400
972		0.0375	0.24	1.127E-05	-2.02E-05	0.0375	0.2400
973		0.03875	0.24	1.087E-05	-1.45E-05	0.0388	0.2400
988		0.04	0.24	1.047E-05	-9.36E-06	0.0400	0.2400
989		0.04125	0.24	1.009E-05	-4.64E-06	0.0413	0.2400
990		0.0425	0.24	9.82E-06	-2.71E-07	0.0425	0.2400
991		0.04375	0.24	9.609E-06	3.754E-06	0.0438	0.2400
1002		0.045	0.24	9.453E-06	7.292E-06	0.0450	0.2400
1003		0.04625	0.24	9.195E-06	1.05E-05	0.0463	0.2400
1004		0.0475	0.24	8.937E-06	1.342E-05	0.0475	0.2400
1005		0.04875	0.24	8.64E-06	1.6E-05	0.0488	0.2400
1021		0.05	0.24	8.278E-06	1.83E-05	0.0500	0.2400
1022		0.05125	0.24	7.896E-06	2.039E-05	0.0513	0.2400
1023		0.0525	0.24	7.468E-06	2.235E-05	0.0525	0.2400
1024		0.05375	0.24	6.926E-06	2.423E-05	0.0538	0.2400
1025		0.055	0.24	6.291E-06	2.599E-05	0.0550	0.2400
813		0.05625	0.24	5.732E-06	2.758E-05	0.0563	0.2400
814		0.0575	0.24	5.225E-06	2.891E-05	0.0575	0.2400
815		0.05875	0.24	4.743E-06	3.009E-05	0.0588	0.2400
1036		0.06	0.24	4.32E-06	3.118E-05	0.0600	0.2400
1037		0.06125	0.24	3.765E-06	3.225E-05	0.0613	0.2400
1038		0.0625	0.24	3.244E-06	3.324E-05	0.0625	0.2400
1039		0.06375	0.24	2.645E-06	3.411E-05	0.0638	0.2400
1055		0.065	0.24	1.969E-06	3.487E-05	0.0650	0.2400
1056		0.06625	0.24	1.39E-06	3.553E-05	0.0663	0.2400
1057		0.0675	0.24	7.745E-07	3.608E-05	0.0675	0.2400
1058		0.06875	0.24	1.458E-07	3.653E-05	0.0688	0.2400
1059		0.07	0.24	-2.72E-07	3.687E-05	0.0700	0.2400
836		0.07125	0.24	-2.7E-07	3.696E-05	0.0712	0.2400
837		0.0725	0.24	-2E-07	3.699E-05	0.0725	0.2400
838		0.07375	0.24	-1.03E-07	3.699E-05	0.0737	0.2400
839	B	0.075	0.24	0	3.698E-05	0.0750	0.2400

CON GEOMALLA (H= 0.28m)							
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	Ux (m)	Uy (m)	X' (m)	Y' (m)
15	C	0	0.28	0	-0.000233	0.0000	0.2798
14		0.00125	0.28	0	-0.000233	0.0013	0.2798
13		0.0025	0.28	0	-0.000233	0.0025	0.2798
12		0.00375	0.28	0	-0.000233	0.0038	0.2798
16		0.005	0.28	0	-0.000233	0.0050	0.2798
3		0.00625	0.28	0	-0.000233	0.0063	0.2798
2		0.0075	0.28	0	-0.000233	0.0075	0.2798
1		0.00875	0.28	0	-0.000233	0.0088	0.2798
7		0.01	0.28	0	-0.000233	0.0100	0.2798
6		0.0125	0.28	0	-0.000233	0.0113	0.2798
5		0.0125	0.28	0	-0.000233	0.0125	0.2798
4		0.01375	0.28	0	-0.000233	0.0138	0.2798
8		0.015	0.28	0	-0.000233	0.0150	0.2798
11		0.01625	0.28	0	-0.000233	0.0163	0.2798
10		0.0175	0.28	0	-0.000233	0.0175	0.2798
9		0.01875	0.28	0	-0.000233	0.0188	0.2798
17		0.02	0.28	0	-0.000233	0.0200	0.2798
21		0.02125	0.28	0	-0.000233	0.0213	0.2798
20		0.0225	0.28	0	-0.000233	0.0225	0.2798
19		0.02375	0.28	0	-0.000233	0.0238	0.2798
18		0.025	0.28	0	-0.000233	0.0250	0.2798
125		0.0262296	0.28	-2.88E-05	-1.93E-05	0.0262	0.2800
124		0.0274592	0.28	-1.69E-05	2.153E-05	0.0274	0.2800
123		0.0286888	0.28	-3.71E-06	4.83E-05	0.0287	0.2800
148		0.0299185	0.28	8.62E-06	5.219E-05	0.0299	0.2801
154		0.0312986	0.28	1.38E-05	6.136E-05	0.0313	0.2801
153		0.0326784	0.28	1.461E-05	6.276E-05	0.0327	0.2801
152		0.034059	0.28	1.45E-05	6.301E-05	0.0341	0.2801
202		0.0354392	0.28	1.414E-05	6.402E-05	0.0355	0.2801
198		0.0369884	0.28	1.503E-05	6.451E-05	0.0370	0.2801
197		0.0385377	0.28	1.534E-05	6.498E-05	0.0386	0.2801
196		0.0400869	0.28	1.52E-05	6.501E-05	0.0401	0.2801
206		0.0416361	0.28	1.503E-05	6.456E-05	0.0417	0.2801
212		0.043375	0.28	1.456E-05	6.389E-05	0.0434	0.2801
211		0.045114	0.28	1.366E-05	6.286E-05	0.0451	0.2801
210		0.0468529	0.28	1.263E-05	6.182E-05	0.0469	0.2801
244		0.0485918	0.28	1.184E-05	6.103E-05	0.0486	0.2801
247		0.0505437	0.28	1.107E-05	6.036E-05	0.0506	0.2801
246		0.0524956	0.28	1.028E-05	5.971E-05	0.0525	0.2801
245		0.0544475	0.28	9.461E-06	5.907E-05	0.0545	0.2801
254		0.0563994	0.28	8.614E-06	5.846E-05	0.0564	0.2801
260		0.0585903	0.28	7.623E-06	5.784E-05	0.0586	0.2801
259		0.0607812	0.28	6.603E-06	5.728E-05	0.0608	0.2801
258		0.0629722	0.28	5.571E-06	5.679E-05	0.0630	0.2801
276		0.0651631	0.28	4.528E-06	5.638E-05	0.0652	0.2801
280		0.0676223	0.28	3.374E-06	5.596E-05	0.0676	0.2801
279		0.0700815	0.28	2.227E-06	5.567E-05	0.0701	0.2801
278		0.0725408	0.28	1.104E-06	5.548E-05	0.0725	0.2801
277	D	0.075	0.28	0	5.541E-05	0.0750	0.2801

9. ESFUERZOS CON GEOMALLA

SUBRASANTE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
99	A	0.0003154	0.2396824	-1.18036	-4.592401
106		0.0015518	0.2397324	-1.208239	-4.505445
105		0.0031825	0.2397324	-1.195969	-4.573102
98		0.0043691	0.2396824	-1.229064	-4.572635
87		0.0054553	0.2397127	-1.264405	-4.58921
94		0.0066696	0.2397579	-1.261206	-4.672796
93		0.0083003	0.2397579	-1.384896	-4.690689
86		0.009509	0.2397127	-1.431718	-4.781259
75		0.0106367	0.2395907	-1.2292	-5.139788
82		0.0118224	0.2396552	-1.455996	-4.975139
81		0.0134531	0.2396552	-1.625476	-4.72245
74		0.0146904	0.2395907	-1.62192	-4.668811
123		0.0153213	0.2395907	-1.637675	-4.707933
130		0.0165567	0.2396552	-1.81495	-4.789943
129		0.0181874	0.2396552	-1.631749	-5.381371
122		0.0193749	0.2395907	-0.757226	-6.142875
63		0.0206099	0.2397024	-2.322118	-3.611791
70		0.0217998	0.2397493	-1.949739	-3.185721
69		0.0234306	0.2397493	-1.783713	-2.447728
62		0.0246636	0.2397024	-1.627689	-2.220612
111		0.0252945	0.2397024	-1.547538	-2.165508
118		0.0265341	0.2397493	-1.576831	-1.837908
117		0.0281649	0.2397493	-1.330026	-1.929194
110		0.0293482	0.2397024	-1.33338	-1.823064
51		0.0305427	0.2395987	-1.36266	-1.691689
58		0.0317432	0.239662	-1.30657	-1.60121
57		0.033374	0.239662	-1.290035	-1.47972
50		0.0345964	0.2395987	-1.319269	-1.37105
171		0.0352273	0.2395987	-1.313513	-1.317698
178		0.0364775	0.239662	-1.308266	-1.181646
177		0.0381082	0.239662	-1.323792	-1.007371
170		0.0392809	0.2395987	-1.376973	-0.86463
39		0.0406318	0.2395131	-1.331505	-0.85007
46		0.0418182	0.2395898	-1.271566	-0.822675
45		0.043449	0.2395898	-1.269837	-0.720217
38		0.0446854	0.2395131	-1.2682	-0.684674
27		0.0453163	0.2395131	-1.255962	-0.693448
34		0.0465525	0.2395898	-1.24113	-0.664599
33		0.0481833	0.2395898	-1.276067	-0.599047
26		0.04937	0.2395131	-1.318446	-0.559005
15		0.0505913	0.239705	-1.280349	-0.579937
22		0.0517842	0.2397515	-1.308039	-0.553772
21		0.0534149	0.2397515	-1.367812	-0.477343
14		0.054645	0.239705	-1.39158	-0.434586
159		0.0552759	0.239705	-1.385887	-0.413187
166		0.0565184	0.2397515	-1.397658	-0.37083
165		0.0581492	0.2397515	-1.378234	-0.395928
158		0.0593295	0.239705	-1.370418	-0.413023
147		0.0604381	0.2395429	-1.384862	-0.395181
154		0.0616551	0.239615	-1.401766	-0.351976
153		0.0632859	0.239615	-1.408265	-0.320779
146		0.0644918	0.2395429	-1.405605	-0.313778
3		0.0655236	0.2396998	-1.381369	-0.308903
10		0.0667271	0.2397471	-1.35477	-0.320664
9		0.0683578	0.2397471	-1.275319	-0.368328
2		0.0695772	0.2396998	-1.186249	-0.418121
135		0.0706309	0.2396824	-1.074433	-0.522227
142		0.0718175	0.2397324	-0.98843	-0.609243
141		0.0734482	0.2397324	-0.93216	-0.675568
134	B	0.0746846	0.2396824	-0.929778	-0.683612

BASE (H= 0.24m)					
NODO	PUNTO	X (m)	Y (m)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)
6818	A	0.0003154	0.2403155	-11.91057	-17.97668
6825		0.0015518	0.2402657	-12.50595	-18.38343
6826		0.0031825	0.2402657	-13.6828	-18.56506
6819		0.0043691	0.2403155	-14.86285	-18.87853
6830		0.0056163	0.2403035	-15.83744	-18.32012
6837		0.0068052	0.2402557	-17.97361	-21.34655
6838		0.0084359	0.2402557	-18.20778	-19.8614
6831		0.0096699	0.2403035	-18.11314	-22.61521
6806		0.0103008	0.2403035	-18.58457	-22.52446
6813		0.0115394	0.2402557	-19.12955	-22.68495
6814		0.0131702	0.2402557	-38.41188	-22.73212
6807		0.0143545	0.2403035	-59.99883	-26.5448
6854		0.0155975	0.2403355	-56.95858	-24.38375
6861		0.0167893	0.2402826	-62.20773	-20.04665
6862		0.0184201	0.2402826	-46.67335	-27.93867
6855		0.0196511	0.2403355	-27.57482	-23.34268
6710		0.020282	0.2403355	-23.54801	-20.24421
6717		0.0215236	0.2402826	-17.89368	-12.81648
6718		0.0231543	0.2402826	-13.91265	-11.98311
6711		0.0243357	0.2403355	-8.789344	-7.050209
6842		0.0256636	0.24043	-8.735396	-6.806469
6849		0.026845	0.2403622	-8.97309	-7.1065
6850		0.0284758	0.2403622	-9.516808	-7.188113
6843		0.0297172	0.24043	-11.5548	-5.561172
6722		0.0303481	0.24043	-13.34843	-5.331115
6729		0.0315793	0.2403622	-15.48491	-4.479206
6730		0.03321	0.2403622	-16.78498	-4.177133
6723		0.0344018	0.24043	-14.5825	-3.299018
6902		0.0356412	0.2402746	-14.61761	-3.1506
6909		0.0368262	0.2402313	-12.07671	-2.643924
6910		0.0384569	0.2402313	-9.406652	-2.106826
6903		0.0396949	0.2402746	-7.440794	-1.643407
6734		0.0403258	0.2402746	-6.782186	-1.737805
6741		0.0415604	0.2402313	-5.210531	-1.181146
6742		0.0431912	0.2402313	-3.885674	-0.838086
6735		0.0443794	0.2402746	-3.920379	-0.929575
6758		0.0455818	0.2403638	-2.667813	-0.554375
6765		0.0467761	0.2403065	-2.08353	-0.492077
6766		0.0484069	0.2403065	-1.329461	-0.494165
6759		0.0496354	0.2403638	-1.211819	-0.486472
6770		0.0502663	0.2403638	-1.030042	-0.597581
6777		0.0515104	0.2403065	-0.421899	-0.739141
6778		0.0531411	0.2403065	-0.230578	-0.654683
6771		0.05432	0.2403638	-0.221714	-0.51397
6890		0.0555423	0.2403981	-0.115987	-0.182139
6897		0.0567429	0.2403353	-0.16294	-0.381932
6898		0.0583736	0.2403353	-0.186256	-0.459517
6891		0.059596	0.2403981	-0.211089	-0.661339
6926		0.0606885	0.2402498	-0.226781	-0.547601
6933		0.061866	0.2402104	-0.166723	-0.526033
6934		0.0634968	0.2402104	-0.133554	-0.407686
6927		0.0647422	0.2402498	-0.097393	-0.349538
6698		0.0653731	0.2402498	-0.115891	-0.399086
6705		0.0666003	0.2402104	-0.088388	-0.384684
6706		0.0682311	0.2402104	-0.079077	-0.336065
6699		0.0694267	0.2402498	-0.052058	-0.240336
6938		0.0706309	0.2403464	-0.072503	-0.349465
6945		0.0718175	0.2402918	-0.112792	-0.53859
6946		0.0734482	0.2402918	-0.096664	-0.464992
6939	B	0.0746846	0.2403464	-0.141475	-0.680655