



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TÍTULO:**

**“REFORZAMIENTO DEL SUELO CON LA UTILIZACIÓN DE GEOTEXTILES Y  
GEOMALLAS APLICADO EN LA CIUDAD DE MANTA”.**

**AUTOR:**

**QUIJIJE MERO ADRIÁN DOMINGO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. MARGUITH ESPÍN LEÓN**

**MANTA - MANABÍ - ECUADOR**

**2019**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico haber dirigido y revisado el contenido del presente **Proyecto de Investigación**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, con el tema: “Reforzamiento del Suelo con la utilización de Geotextiles y Geomallas aplicado en la ciudad de Manta” bajo las normativas y metodologías aprobadas por la Carrera de Ingeniería Civil, el mismo que ha sido desarrollado de acuerdo a los lineamientos internos de la modalidad en mención.

Autorizo al estudiante, **Quijije Mero Adrián Domingo** la reproducción y entrega del documento a las autoridades de la carrera.

Manta, 10 de septiembre del 2019.

---

Ing. Marguith Espín León  
**TUTOR(A) DE TESIS**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Declaro que el siguiente trabajo de titulación en la modalidad “Proyecto de Investigación” es de mi autoría. Las concepciones tomadas de diferentes autores se encuentran debidamente citadas y se incluyen en las referencias bibliográficas.

El análisis de resultados y las conclusiones expuestas son de exclusiva responsabilidad del autor.

Manta, 10 de septiembre del 2019.

---

Quijje Mero Adrián Domingo

**C.I 131434405-0**

## DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de Monserrat, por ser mi guía, por darme la fortaleza necesaria para poder enfrentar y superar las adversidades que se presentan a diario, con el objetivo de ser mejor persona y con la bendición de ellos, poder alcanzar todos los sueños trazados a lo largo de mi vida.

A mi mamá, Lidia Mero de manera muy especial, ya que siempre estuvo allí apoyándome incondicionalmente en los buenos y malos momentos, a pesar de las circunstancias que nos presentó la vida siempre pudimos vencer las adversidades juntos con la ayuda de Dios, gracias por todo su apoyo y cariño constante, por ser la responsable que hoy haya alcanzado este gran logro, este sueño que tenía desde pequeño y puedo decir que gracias a ella y a Dios, lo he logrado, a ella le dedico este triunfo y todas las metas que lograré en mi vida.

A mis segundos padres, mis abuelos José Mero y Olga Barcia; por su apoyo incondicional, confianza y cariño que me han brindado siempre, y por ser parte importante en mi vida.

A mis hermanas, Monserrat, Mayra y Adriana por estar conmigo en cada momento, por su cariño, consejos y su apoyo incondicional, por inculcarme que con la humildad, optimismo y perseverancia se puede lograr todo lo que soñamos.

A mis sobrinos Elkin, Mathías, Kevin, Kristhel, Anthony, por ser en conjunto la alegría de la familia, por ser la inspiración y motivación para continuar día a día, en busca de nuevos sueños.

A los catedráticos que son parte fundamental de nuestra formación profesional, a mis amigos y compañeros que me acompañaron en todo el proceso de aprendizaje, siempre me brindaron consejos en especial a ese amigo Patricio Guanaluiza que desde el cielo nos cuida y siempre estará presente como esa persona amable, alegre y buen amigo.

**Adrián Mero**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por regalarme la vida, por darme la fortaleza para poder culminar de gran manera este gran logro, por darme la oportunidad de conocer en el camino de mi formación a excelentes personas, que han sido un gran apoyo, motivándome a seguir por el camino correcto, y no dejarme rendir por las adversidades y así continuar luchando por cumplir nuevas metas.

A mi tutora de tesis, Ing. Marguith Espín, por su apoyo incondicional desde el primer día y durante el proceso para la realización de mi proyecto, por su paciencia, comprensión, por compartir sus amplios conocimientos para la culminación de nuestro Trabajo de Titulación.

Al Ing. Vaggelis Manouris, de manera especial, quien me brindó su apoyo incondicional y desinteresado, por haber compartido sus conocimientos de manera muy eficiente, para poder concluir mi trabajo de Investigación con éxito.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y todos quienes la conforman, que siempre se esmeran en formar profesionales competentes, gracias a los catedráticos, quienes contribuyen con sus experiencias y amplios conocimientos para la formación de profesionales.

A la empresa CONGEOTEC S.A, dirigida por el Ing. Javier Moreira por el apoyo brindado al facilitarme de manera amable ensayos de suelo (SPT) los cuales fueron muy necesarios para mi investigación y cumplimiento del proyecto.

**Adrián Mero**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realiza con la finalidad de evaluar el comportamiento de los suelos de baja capacidad portante, con la implementación de Geosintéticos, como Geotextiles y Geomallas, para aplicarlos en las construcciones civiles desarrolladas en nuestro medio, evaluar los costos y ventajas que se puedan llegar a obtener, y así poder utilizarlos como una alternativa para reforzar el suelo, aplicándolo en suelos que corresponda las necesidades locales, esto surge a raíz del sismo del 16 de abril ocurrida en la ciudad de Manta, producto del cual, se presentaron muchas afectaciones y colapso de estructuras, entre ellos el sector Tarqui de la ciudad de Manta, donde se vieron afectadas muchas edificaciones, que presentaron fallas en las cimentaciones y zapatas, por problemas de capacidades portantes muy bajas, suelos blandos y asentamientos, pero con el reforzamiento del suelo con Geosintéticos se prevé evitarlas.

La tecnología del suelo reforzado con Geosintéticos actualmente está bien posicionada dentro de la construcción de obras civiles. En la presente investigación se analizaron diferentes estudios de suelos, desarrollados en diferentes sectores de la ciudad, con diferentes tipos de suelos; pero se optó por analizar la Parroquia Tarqui, denominada zona cero, debido a las características del suelo, considerando la geología de la zona, la cual cuenta con presencia de suelos como arcillas y arenas, a las cuales se implementa Geosintéticos como alternativa a tomar en cuenta para mejorar las características del suelo, disminuir los asentamientos provocados por las cargas y así solucionar estos problemas, y en muchas de sus aplicaciones abaratar costos y dar soluciones eficaces de forma sencilla.

La información de los parámetros del suelo requerida para el análisis, se obtuvo a partir de los ensayos de suelos (SPT) ya realizados, los cuales fueron cedidos de manera muy cordial por parte de la empresa privada (CONGEOTEC S.A), y así se elige el tipo de suelo más desfavorable para la evaluación, análisis y posterior aplicación de Geosintéticos, el mismo que se analiza hasta los cinco primeros metros de las capas del suelo, de los cuales se obtuvieron los parámetros necesarios del mismo, para el modelado de una zapata corrida reforzada con varias capas de Geotextil y utilizando diferentes metodologías de diseño, y así poder

evaluar el mejoramiento de la capacidad portante y admisible del suelo sin y con refuerzo de Geosintéticos, de la misma manera evaluar los esfuerzos y asentamientos producidos por las cargas. Los resultados obtenidos de la clasificación SUCS del tipo de suelo en la zona analizada, en los 2 primeros metros de profundidad predomina arcilla-arenosa de mediana plasticidad (CL), a una profundidad de 2-3 metros predomina suelo arcilla-arenosa altamente plástica (CH), en el nivel 3-4 metros se encuentra arcilla-arenosa de mediana plasticidad (CL), a la profundidad de 4-5 metros arcilla-arenosa de mediana plasticidad (CL).

La implementación de Geosintéticos es una alternativa que ayudará en próximas construcciones a mejorar la capacidad portante y admisible del suelo, además disminuirán relativamente los asentamientos producto de las cargas en cimentaciones, los mismos que se deben tener en cuenta ante posibles eventos sísmicos, además se obtienen excelentes resultados, entre ellos reducir los tiempos de ejecución, ahorro de recursos, mayor tiempo de vida y reducir la contaminación.

Se procede a realizar un ejemplo de cálculo en una zapata corrida implementando diferentes metodologías de diseño sin y con refuerzo de Geosintéticos, para obtener los nuevos resultados de capacidad portante y admisible del suelo y llegar a realizar comparaciones y conclusiones sobre las ventajas, costos y beneficios que se obtienen con la implementación de Geosintéticos para reforzar el suelo. Además mediante el software SAP2000 mediante elementos finitos, calcular los esfuerzos y asentamientos provocadas por las cargas, analizando su comportamiento y realizar una comparación cuando la zapata no tiene Geotextil y cuando se refuerza la misma aplicando varias capas de Geotextil y Geomalla bajo la zapata, hasta lograr un diseño óptimo y con esto emitir recomendaciones para las futuras construcciones de cimentaciones para edificaciones en el sector de estudio, y los mismos puedan ser aplicados en áreas donde se tiene problemas de suelos blandos o inestables y de baja capacidad portante, ya que con la aplicación de Geosintéticos se pueden obtener excelentes resultados.

**Palabras Claves:** Refuerzo, Geosintéticos, Geotextil, Geomalla, Zapata Corrida, Capacidad Portante, Asentamientos, Suelo Reforzado.

## ABSTRACT

The present research work is carried out with the purpose of evaluating the behavior of low bearing capacity soil, with the implementation and application of Geosynthetics, such as Geotextiles and Geogrids in civil constructions developed in our environment, and implement them as an alternative to be able to reinforce the soil, evaluate the benefits and advantages that can be obtained, applying it in soils that correspond to local needs, this arises from the earthquake of April 16 in the city of Manta, where it could be evidenced that there were many affectations and collapse of structures, among them the Tarqui sector of the city of Manta, in which buildings were affected, presenting faults in the foundations and footings, due to problems of very low bearing capacities, soft soils and settlements.

Soil technology reinforced with geosynthetics is currently well positioned within the construction of civil works. In the present investigation several sectors of the city with different types of soils were analyzed; but the Tarqui Parish, called zero zone, will be taken into consideration for subsequent analysis, due to the characteristics of the soil, considering the geology of the area, with the presence of unfavorable soils such as clays and sand, and Geosynthetics is applied as an alternative to take in order, to improve the bearing capacity and admissible of the soil, improve the settlements caused by the loads and thus solve these problems, and in some cases to reduce costs and provide effective solutions in a simple way.

The soil information required for the analysis was obtained from soil tests (SPT) already carried out which were given in a very cordial way by the private company (CONGEOTEC SA), and thus the most unfavorable type of soil is chosen , for the evaluation, analysis and subsequent application of Geosynthetics, which is analyzed in the first five meters of the soil layers, from which the necessary soil parameters were obtained for the modeling of a reinforced running shoe with several layers of Geotextile using SAP 2000 software, in order to evaluate the efforts and settlements produced by the loads. The results obtained from the SUCS classification of the soil type in the analyzed area, in the first 2 meters deep predominantly clay-sand of medium plasticity (CL), at a depth of 2-3 meters predominates clay-sandy soil highly plastic, at 3-4 meter level is clay-sand of medium plasticity (CL), at the depth of 4-5 meters clay-sandy of medium plasticity.

The implementation of Geosynthetics is an alternative that will help in future constructions to improve the bearing and permissible capacity of the soil, also relatively improves the settlements produced by the loads in foundations on low capacity soils, taking into account in case of possible seismic events. By performing the combination of Geogrid and Geotextile, excellent results are obtained, including reducing execution times, saving resources, longer life, reducing pollution.

We proceed to perform an example of calculation in a running shoe by implementing different methodologies of foundation design without and with reinforcement of Geosynthetics, to obtain the results of bearing and permissible soil capacity and to make comparisons and conclusions about the advantages and benefits that They are obtained with the implementation of Geosynthetics to reinforce the soil. In addition, using the SAP2000 software using finite elements, calculate the stresses and settlements produced by the loads, analyzing the behavior and making a comparison when the shoe does not have Geotextile and when it is reinforced, applying several layers of Geotextile and Geogrid under the shoe, until achieving an optimal design and with this issuing recommendations for future foundation constructions for buildings in the study sector, and they can be applied in areas where there are problems of soft or unstable soils, with which excellent results are obtained.

**Keywords:** Reinforcement, Geosynthetics, Geotextile, Geogrid, Foundations, Bearing Capacity, Settlements, Reinforced Soil.

## TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
RESUMEN .....	V
ABSTRACT.....	VII
TABLA DE CONTENIDO.....	IX
INDICE DE FIGURAS .....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XV
Introducción.....	1
Novedad del tema.....	2
Actualidad del tema .....	3
Formulación del problema.....	3
Delimitación espacial.....	4
Delimitación del contenido.....	4
Justificación .....	4
Objetivos .....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos .....	5
Hipótesis .....	6
1. CAPÍTULO I .....	7
ESTADO DEL ARTE .....	7
1.1 Generalidades.....	7
1.1.2 Cimentaciones .....	7
1.1.3 Carga de Hundimiento .....	7
1.1.4 Capacidad Portante.....	8
1.1.5 Capacidad Admisible .....	8
1.1.6 Asentamientos.....	8
1.2 Tipos de Suelos.....	8
1.2.1 Suelos No Cohesivos.....	8
1.2.2 Suelos Cohesivos.....	9
1.2.3 Suelos Orgánicos.....	9

1.2.4	Rellenos .....	9
1.4	Refuerzo del Suelo .....	10
1.5	Geosintéticos.....	10
1.5.1	Descripción y manejo de los Geosintéticos. ....	11
1.5.2	Materias constituyentes de los Geosintéticos.....	11
1.5.2.1	Tipos de Fibras empleadas para la fabricación de Geosintéticos	12
1.5.3	Durabilidad de los Geosintéticos.....	13
1.6	Geotextil.....	13
1.7	Clasificación de Geotextiles.....	14
1.7.1	Geotextiles Tejidos.....	14
1.7.2	Geotextiles No Tejidos.....	15
1.7.3	Mixtos .....	16
1.8	Propiedades entre un Geotextil Tejido y No Tejido.....	17
1.9	Funciones y Aplicaciones principales de los Geosintéticos.....	17
1.9.1	Separación .....	19
1.9.2	Refuerzo .....	19
1.9.3	Filtración .....	20
1.9.4	Drenaje .....	21
1.9.5	Protección.....	21
1.10	Costo de los Geotextiles.....	22
1.11	Geomallas .....	22
1.11.1	Geomalla Uniaxial.....	23
1.11.2	Geomalla Biaxial.....	24
1.11.2	Geomalla Triaxial.....	25
1.12	Aplicaciones de las Geomallas .....	25
1.12.1	Geomallas para el refuerzo de caminos.....	25
1.12.2	Geomallas en taludes reforzados .....	25
1.12.3	Geomallas en sistemas de refuerzo en la cimentación.....	25
1.12.4	Geomallas en sistemas de muros de retención .....	26
1.12.5	Geomallas en sistemas mineros.....	26
1.12.6	Geomallas en las subrasantes .....	26
1.13	Requerimientos mínimos de propiedades mecánicas de las Geomallas .....	26

1.14	Cálculo de resistencia de los materiales de refuerzo .....	27
1.14.1	Resistencia a la Tracción (Norma ASTM 4595 e ISO 10319).....	27
1.14.2	Fluencia (ISO 13431/98) .....	27
1.14.3	Resistencia al Punzonamiento (Norma ASTM D433).....	28
1.14.4	Degradación química .....	28
1.14.5	Impacto en el medio ambiente .....	29
1.15	Ventajas de la aplicación del Geosintéticos .....	29
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>30</b>
	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
2.1	Metodología de la Investigación .....	30
2.2	Área de estudio .....	31
2.3	Recopilación, análisis y procesamiento de datos.....	32
2.3.1	Selección del tipo de Geosintéticos utilizados para el reforzamiento del suelo.....	32
2.4	Reforzamiento de suelos de baja capacidad portante con Geotextiles .32	
2.4.1	Carga de hundimiento SIN REFUERZO.....	33
2.5	Análisis de los estados límites de los sistemas de cimentación SIN REFUERZO.....	33
2.5.1	Capacidad de carga.....	33
2.5.1.1	Factores de capacidad de carga .....	33
2.5.1.2	Factores de forma de Terzaghi.....	34
2.5.1.3	Factores de Profundidad .....	35
2.5.2	Capacidad de Carga Admisible .....	35
2.5.2.1	Comprobación de capacidad de soporte del suelo.....	35
2.6	Estado límite de Asentamientos .....	36
2.6.1	Asentamiento inmediato.....	36
2.7	Mecanismo de interacción suelo - refuerzo .....	37
2.8	Carga de hundimiento CON REFUERZO.....	38
2.9	Mecanismo de refuerzo de una cimentación en diferentes tipos de suelos .....	39
2.9.1	Efecto membrana (grandes deformaciones).....	39
2.9.2	Confinamiento lateral (pequeñas deformaciones) .....	39
2.9.3	Formas de rotura.....	40
2.9.4	El factor de seguridad.....	41

<b>2.10 Metodologías analíticas para reforzamiento del suelo con Geosintéticos</b>	42
2.10.1 Estudios en modelos	43
2.10.2 Biquet y Lee (1975)	43
2.10.3 Método de Sharma et al (2009)	44
2.11 Aplicación en Terrenos Arenosos	46
2.11.1 Método de Huang y Menq (1997)	46
2.12 Aplicación en Terrenos Arcillosos	47
2.12.1 Método de Das et al (1996)	47
2.13 Uso del Software SAPP 2000	49
2.13.1 Pasos para el Análisis mediante Elementos Finitos:	49
3. CAPÍTULO III	51
RESULTADOS Y PROPUESTA	51
3.1 Procedimiento de cálculo de una cimentación reforzada con Geosintéticos	51
3.1.1 Generalidades	51
3.2 Desarrollo del cálculo en un tipo de suelo Arcilla-Arenosa de Mediana plasticidad (CL)	53
3.2.1 Cálculo de Capacidad Última de una cimentación SIN REFUERZO en un suelo Arcilla-Arenosa de Mediana plasticidad (CL)	54
3.2.2 Cálculo de los parámetros (Factores de Profundidad y de Forma)	54
3.2.3 Cálculo de capacidad de carga admisible	55
3.2.4 Cálculo de capacidad ultima de una cimentación CON REFUERZO de Geotextil Tejido para un suelo Arcilla-Arenosa de Mediana plasticidad (CL)	55
3.2.5 Cálculo de capacidad de carga admisible	56
3.2.6 Comprobación de Capacidad de soporte del suelo	56
3.2.7 Cálculo de Asentamiento	57
3.3 Cálculo de Capacidad Última de una cimentación SIN REFUERZO en suelo Arena-Limosa No Plástica (SM)	58
3.3.1 Desarrollo del cálculo.	59
3.3.2 Cálculo de los parámetros (Factores de Forma y Profundidad)	60
3.3.3 Cálculo de capacidad de carga admisible	60
3.3.6 Cálculo de capacidad ultima de una cimentación CON REFUERZO de Geomalla para suelo Arena-Limosa No Plástica (SM)	61

3.3.7 Cálculo de capacidad de carga admisible.....	62
3.4 Cálculos analíticos por el MÉTODO DE HUANG Y MENQ, reforzando la cimentación con Geomallas en un tipo de suelos Arenosa-Limosa (SM). 64	
3.4.1.2.1 Comprobación de Condiciones para el correcto cálculo .....	65
3.5 Interpretación de resultados de Asentamientos provocados por las cargas .....	67
3.5.1 Resultados del modelado de una zapata corrida reforzada con Geotextil, en el software SAP 2000 .....	67
3.5.1.1 Modelado de la cimentación en un suelo Arcilla-Arenosa (CL) .	68
3.5.1.2 Modelado de la cimentación SIN REFUERZO .....	69
3.5.1.3 Modelado de la cimentación CON REFUERZO DE GEOTEXTIL .	70
3.6 Modelado de la cimentación SIN refuerzo aplicado en un tipo de suelo Arena-Limosa (SM).....	70
3.6.1 Modelado de la cimentación CON REFUERZO DE GEOMALLAS.	72
3.7 Diseño óptimo .....	73
3.8 Análisis de Costos .....	73
3.9 COMPARACION DE COSTOS - BENEFICIOS DEL REFORZAMIENTO DEL SUELO CON GEOTEXTIL.....	79
CONCLUSIONES .....	80
RECOMENDACIONES .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	83
ANEXOS .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos y no tejidos.....	12
Figura 1.2 Tipos de Geotextiles, según su fabricación.....	14
Figura 1.3.- Geotextil Tejido.....	15
Figura 1.4.- Geotextil No Tejido .....	15
Figura 1.5.- Geotextil Tejido y No Tejido .....	16
Figura 1.6.- Función de separación de los Geosintéticos.....	19
Figura 1.7.- Función de refuerzo del Geotextil .....	20
Figura 1.8.- Función de filtración de los Geosintéticos.....	21
Figura 1.9.- Funciones de drenaje de los Geosintéticos.....	22
Figura 1.10.- Funciones y Aplicaciones de los Geosintéticos.....	22

<b>Figura 1.11.-</b> Geomallas Típicas: (a) Extruidas (i) Uniaxial, (ii) Biaxial, (iii) Triaxial, (b) Soldada, (c) Tejida .....	23
<b>Figura 1.12.-</b> Geomallas Uniaxiales a) Extruida; b) Soldada .....	24
<b>Figura 1.13.-</b> Geomallas Biaxiales a) Extruidas; b) Tejida .....	24
<b>Figura 1.14.-</b> Geomalla Triaxial.....	25
<b>Figura 1.15.-</b> Efecto de punzonamiento en geotextil causado por una roca. ....	28
<b>Figura 2.1.-</b> Mapa de ubicación de uno de los punto de análisis del proyecto en la Parroquia Tarqui .....	31
<b>Figura 2.2.-</b> Relación Refuerzo de suelos bajo una zapata .....	32
<b>Figura 2.3.-</b> Esquema de referencia de la cimentación reforzada .....	38
<b>Figura 2.4.-</b> Mecanismo de efecto membrana.....	39
<b>Figura 2.5.-</b> Mecanismo de confinamiento lateral.....	40
<b>Figura 2.6.-</b> Mecanismo de falla a) Rotura general por corte b) Rotura local por corte c) Falla de corte por punzonamiento.....	41
<b>Figura 2.7.-</b> Superficie de falla convencional.....	44
<b>Figura 2.8.-</b> Mecanismo de rotura .....	44
<b>Figura 2.9 –</b> Mecanismo de falla de una cimentación reforzada .....	45
<b>Figura 2.10.-</b> Mecanismo de Cimentación Profunda.....	46
<b>Figura 2.11.-</b> Geometría de una Geomalla.....	46
<b>Figura 2.12. –</b> Descripción geométrica de la cimentación reforzada .....	47
<b>Figura 2.13.-</b> Grafica para la obtención del coeficiente $\alpha_u$ .....	48
<b>Figura 2.14.-</b> Deformaciones en masa de suelo a) Sin Refuerzo; b) Con Refuerzo.....	48
<b>Figura 3.1.-</b> Esquema referencial de la cimentación reforzada.....	51
<b>Figura 3.2.-</b> Esquema referencial de la cimentación reforzada con Geomalla.....	64
<b>Figura 3.3.-</b> Pantalla principal del Software SAP 2000 en el proceso de modelado mediante elementos finitos.....	68
<b>Figura 3.4.-</b> Escala de colores representativos para analizar los esfuerzos y asentamientos generados en Software SAP 2000 .....	69
<b>Figura 3.5.-</b> Resultado de asentamientos generados en Software SAP 2000 en una zapata corrida sin refuerzos.....	69
<b>Figura 3.6.-</b> Resultado de asentamientos generados en Software SAP 2000 en una zapata corrida reforzada con Geotextil Tejido .....	70
<b>Figura 3.7.-</b> Resultado de asentamientos generados en Software SAP 2000 en una zapata corrida sin refuerzos. ....	71
<b>Figura 3.8.-</b> Resultado de asentamientos generados en Software SAP 2000 en una zapata corrida reforzada con Geomallas. ....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.-</b> Propiedades de los Geotextiles.....	17
<b>Tabla 1.2.-</b> Identificación de las funciones de los geosintéticos.....	18
<b>Tabla 1.3.-</b> Funciones de los Geotextiles .....	18
<b>Tabla 1.4.-</b> Resistencia Mecánica de las Geomallas.....	26
<b>Tabla 2.1.-</b> Factores de capacidad de soporte para las ecuaciones de Meyerhof.....	34
<b>Tabla 2.2.-</b> Mecanismo de Iteración.....	37
<b>Tabla 2.3.-</b> Parámetros óptimos.....	45
<b>Tabla 3.1 .-</b> Propiedades de los materiales empleados para el análisis.....	52
<b>Tabla 3.2.-</b> Factores de capacidad de soporte para las ecuaciones de Meyerhof y Vesic.....	52
<b>Tabla 3.3.-</b> Dimensionamiento de la Zapata corrida propuesta para el análisis .....	53
<b>Tabla 3.4.-</b> Valores obtenidos de los factores de forma y profundidad para el analisis....	54
<b>Tabla 3.5.-</b> Valores obtenidos de los factores de forma y profundidad para el analisis de refuerzo con Geotextil .....	56
<b>Tabla 3.6 .-</b> Resultados de capacidad portante, admisible del suelo sin y con refuerzo de Geosinteticos. ....	57
<b>Tabla 3.7 .-</b> Propiedades de los materiales empleados para el análisis .....	58
<b>Tabla 3.9.-</b> Dimensionamiento de la Zapata corrida propuesta para el análisis.....	59
<b>Tabla 3.10.-</b> Valores de los factores de forma y profundidad para el analisis .....	60
<b>Tabla 3.11.-</b> Valores obtenidos de los factores de forma y profundidad para el analisis de refuerzo con Geomalla .....	62
<b>Tabla 3.12 .-</b> Resultados de capacidad portante y admisible del suelo sin y con refuerzo de Geosinteticos.....	63
<b>Tabla 3.13.-</b> Parametros del Suelo ARENA LIMOSA (SM) .....	65
<b>Tabla 3.14 .-</b> Resultados de capacidad portante, admisible y asentameinto del suelo sin y con refuerzo de Geosinteticos. ....	66
<b>Tabla 3.15 .-</b> Propiedades de las materiales utilizados para el analisis.....	67
<b>Tabla 3.16.-</b> Propiedades de las materiales utilizados para el analisis.....	71
<b>Tabla 3.17.-</b> Resultados de asentamientos generados en la cimentación, sin y con refuerzo de gesintéticos.....	72
<b>Tabla 3.18.-</b> Analisis de Costos SIN reforzado del Suelo.....	75
<b>Tabla 3.19.-</b> Analisis de Costos, para el reforzado del suelo CON 1 CAPA DE GEOTEXTIL.....	76
<b>Tabla 3.20.-</b> Analisis de Costos, para el reforzado del suelo CON 2 CAPAS DE GEOTEXTIL.....	77
<b>Tabla 3.21.-</b> Analisis de Costos, para el reforzado del suelo CON 2 CAPAS DE GEOTEXTIL.....	78
<b>Tabla 3.22.-</b> Analisis de Costos-Beneficios del refuerzo del suelo con geotextil en un suelo Arena-Limosa (SM).....	79

## Introducción

Hace varias décadas el hombre se ha preocupado día a día por mejorar e implementar nuevas tecnologías, metodologías de diseño, técnicas de construcción para obtener obras de alta calidad durante su vida útil. De donde la implementación de los geosintéticos es parte fundamental para mejorar y solucionar problemas, abaratando costos y dar soluciones eficaces de forma sencilla.

La utilización de los geosintéticos en las construcciones civiles de Ingeniería, se ha visto incrementada de una forma sostenida en los últimos años. Por esta razón, estos materiales están tomando cada vez más protagonismo en la construcción, y actualmente se están implementados de manera normal y con aceptación en todo el mundo por los excelentes resultados. El termino Geosintético está compuesto por dos partes: el prefijo “**Geo**” el cual hace referencia su uso en proyectos de ingeniería civil que implica la presencia suelos y el sufijo “**Sintético**” en referencia al hecho de que éstos materiales son casi exclusivamente hechos por el hombre. Geosintético es un nombre genérico que representa una amplia gama de productos fabricados de materiales poliméricos, los más comunes son geotextiles, geomallas, geomembranas entre otros, las propiedades de estos productos permiten su utilización en distintas aplicaciones en obras civiles, que cuando se utilizan en asociación con el suelo, tienen la capacidad de separar, filtrar, reforzar, y proteger, y pueden desarrollar varias funciones simultáneas una vez colocados en el terreno.

Los geotextiles y geomallas son los que se han tomado para evaluar como material de refuerzo en suelos de baja capacidad portante, con los cuales se pretende reducir deformaciones globales (**asentamiento**) y aumentar la capacidad portante (**resistencia**). Las geomallas aplicadas en carreteras tiene impactos positivos en lo económico, ya que reduce volúmenes de movimiento de tierras; en lo técnico, incrementando la vida útil de los pavimentos; en lo ambiental, reduce el impacto de la emisión de carbono en las actividades realizadas con esta tecnología.

El evento sísmico ocurrido en Pedernales provincia de Manabí, con una magnitud de 7.8 en escala de Richter el 16 de abril del año 2016, tuvo como consecuencia varias estructuras afectadas en especial en la Parroquia Tarqui de la ciudad de

Manta, en lo que los estudios determinaron que las afectaciones en las estructuras y vías se debieron a la mala y baja capacidad portante del suelo. Por tal motivo a pesar de las múltiples aplicaciones de los geosintéticos, esta investigación tiene la finalidad de evaluar el uso y comportamiento del geotextil y geomalla como material de refuerzo del suelo, aplicada en una zapata corrida de una edificación, y así evaluar mediante diferentes metodologías, el mejoramiento de capacidad portante y admisible del suelo, esfuerzos y asentamientos cuando las estructuras no tienen refuerzos, y cuando se lo refuerza aplicando varias capas de geosintéticos.

Se presenta un ejemplo práctico, aplicado en una zapata corrida, siguiendo diferentes metodologías de diseño y cálculo de manera manual, para reforzar cimentaciones con geosintéticos en diferentes tipos de suelos como son arenas y arcillas, luego con la utilización del software SAP 2000, mediante elementos finitos, explicando las mismas características de la zapata, implementar varias capas de geotextil y geomalla, para obtener los esfuerzos y asentamientos generados por las cargas, para así verificar su comportamiento y capacidad de carga, y finalmente realizar una comparación cuando la zapata no tiene Geotextil y cuando se refuerza con geotextil y geomallas, hasta lograr un diseño óptimo.

### **Novedad del tema**

En la actualidad en muchas construcciones civiles de la ciudad de Manta, tales como vías, construcción de cimentaciones y zapatas para las edificaciones se presentan muchas fallas debido a la baja capacidad portante del suelo, pisos blandos e inestables, como se pudo evidenciar en la Parroquia Tarqui tras el terremoto del 16 de Abril del 2016 de magnitud 7.8° en la escala de Richter, esto permitió tomar conciencia de que nuestras edificaciones son vulnerables por los tipos de suelo que están presente en nuestro medio, muchos de ellos de baja capacidad portante, para este problema sería de gran utilidad dar a conocer la implementación de Geosintéticos como son los geotextiles y geomallas como una alternativa para reforzar y mejorar la capacidad portante; aumentar la resistencia del suelo, y así darle solución a diferentes problemas naturales que se puedan presentar como son sismos, terremotos, inundaciones, fenómenos de licuefacción, deslizamientos, etc., para que las estructuras tengan un mejor comportamiento.

## **Actualidad del tema**

Muchas veces la falta de conocimiento en las construcciones civiles o sistemas constructivos, hace que no se tomen en cuenta nuevos materiales como los Geosintéticos, que son de gran aporte en una obra civil, mismos que se utilizan para solucionar problemas de forma sencilla, abaratar costos, y se pueden aplicar en diferentes tipos de suelos, brindando excelentes resultados.

El área de estudio comprende la Parroquia Tarqui, denominada Zona Cero, donde los ensayos de laboratorio demuestran la presencia de suelos en gran porcentaje de arenas limosas, las cuales presentan capacidad portante muy baja, y este tipo de suelos permite que la presión de poros aumente con el paso de ondas sísmicas, provocando problemas de licuefacción en el suelo. (Santana Chavez , 2018)

Al realizar este proyecto, se logrará dar mayor conocimiento al lector de la aplicación y las múltiples ventajas que se pueden obtener con la implementación de geotextiles y geomallas, y así poder implementarlos en las construcciones de nuestro medio como una alternativa para mejorar la calidad del suelo, además se analiza el comportamiento de una zapata corrida de una edificación sin refuerzo y posteriormente reforzarla con geosintéticos, para aquello se analizan diferentes metodologías de diseño para el cálculo, y posteriormente mediante un software, por medio de elementos finitos calcular los esfuerzos y asentamientos que se generan por las cargas a diferentes profundidades, para así comprobar que a medida que se aplica las capas de geotextil, va a mejorar la capacidad del suelo. Por lo cual esta investigación servirá de base para que sea tomada en consideración en las presentes y futuras construcción de edificaciones de la ciudad de Manta.

## **Formulación del problema**

Atendiendo a los antecedentes mencionados se enuncia el siguiente problema: ¿Existe la falta de conocimiento en la implementación de ciertos materiales en sistemas constructivos, que ayudan a mejorar la capacidad del suelo en obras civiles, tomando en cuenta que en los sectores analizados las estructuras y carreteras fueron afectadas durante el terremoto del 16 de Abril del 2016?. El desarrollo de nuevos materiales, así como su implementación pueden ser una alternativa técnica y económica para ciertas aplicaciones en la ciudad de Manta.

## **Delimitación del problema**

### **Delimitación espacial**

En la presente investigación se analizó estudios de suelos realizados en diferentes sectores de la ciudad de Manta, pero se optó por seleccionar la Parroquia Tarqui para el análisis, ya que en esta zona se han realizado una serie de ensayos, entre estos están los estudios de suelos de SPT (Standard Penetration Test), mismos que nos han servido de base para la presente investigación, los cuales presentan variedad de estratos y capas de suelos que son detallados más adelante.

### **Delimitación del contenido**

El presente proyecto tiene como objetivo dar a conocer una técnica de reforzamiento poco conocida en nuestro medio, por esta razón se analiza este proceso de reforzamiento del suelo implementando geosintéticos, para que el mismo pueda ser desarrollado e implementado en proyectos civiles de la ciudad, y que este sirva de aporte cuando se necesite mejorar las condiciones del suelo, para la ejecución de futuros proyectos de edificaciones en la ciudad de Manta.

### **Justificación**

Uno de los problemas comunes que enfrentamos en la Ingeniería es el construir sobre suelos blandos e inestables, donde se debe tener presente sistemas de drenaje y refuerzo, ya que de esto dependerá la eficacia de la obra, por lo tanto se necesita analizar la implementación de nuevos materiales y su puesta en obra, ya que muchas de las cimentaciones superficiales se construyen sobre suelos con parámetros de resistencia bajos (suelos flojos o blandos), esto conlleva a que se tengan valores de capacidades portantes muy bajas y problemas de asentamientos, los cuales puede ocasionar problemas como daños estructurales, colapsos y reducción de la vida útil de las estructuras cimentadas.

Una alternativa que ayuda a mejorar la capacidad portante y reducir los asentamientos provocados por las cargas, es la de reforzar la cimentación, reemplazando el suelo blando o flojo por un nuevo relleno granular en combinación con capas de refuerzo de geosintéticos. La zona combinada (suelo reforzado)

mejorará la capacidad portante y admisible del suelo y proporcionará una mejor distribución de cargas y presiones bajo la zona del suelo reforzada, y así evitar problemas como pisos blandos y asentamientos.

En la presente tesis, se estudia al geotextil y geomalla para evaluar el comportamiento en una zapata corrida, analizando diferente tipos de suelos como son arena y arcilla presentes en nuestro medio, debido a que los suelos de la ciudad de Manta presentan una alta complejidad por ser heterogéneos y presencia de nivel freático, por lo que en obras de ingeniería se presentan contratiempos y situaciones desfavorables que se deben resolver, por tal situación se pretende mejorar las condiciones del suelo aplicando este material, para minimizar los esfuerzos y asentamientos producidos por las cargas, y así brindar una mejor respuesta de las edificaciones ante diferentes problemas de fenómenos naturales como son los terremotos, inundaciones, fenómenos de licuefacción, deslizamientos, etc.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

1. Demostrar si el uso de Geotextil y Geomalla es eficaz y rentable para el reforzamiento del suelo en las construcciones de la ciudad de Manta.

### **Objetivos Específicos**

1. Analizar los diferentes tipos de Geotextiles y Geomallas existentes en el mercado, sus funciones y aplicaciones en las construcciones civiles.
2. Calcular la capacidad portante y capacidad admisible del suelo de una zapata corrida de una edificación sin y con refuerzo de Geotextil y Geomalla, utilizando las metodologías de Meyerhof y Huang & Menq.
3. Comparar los resultados obtenidos, basados en el cálculo de la capacidad portante, capacidad admisible y asentamientos del suelo reforzado con varias capas de Geosintéticos.

4. Calcular los asentamientos que se generan bajo una zapata corrida, sin y con refuerzo del suelo, implementando Geotextil y Geomalla, mediante elementos finitos en el software SAP 2000.
5. Analizar y obtener un presupuesto de costos-beneficios para la utilización y aplicación de Geosintéticos.

### **Hipótesis**

La aplicación de Geotextiles y Geomallas en la construcción de cimentaciones para las edificaciones de Manta, establece que es una alternativa confiable, efectiva, que nos permite reforzar la capacidad del suelo.

# 1. CAPÍTULO I

## ESTADO DEL ARTE

### 1.1 Generalidades

Uno de los mayores problemas desde el punto de vista geotécnico en el diseño de cimentaciones, son los suelos de baja capacidad portante, por lo que la presente investigación va dirigida a encontrar modernos materiales y métodos de refuerzo. Los geotextiles y geomallas son los que se han tomado como material de refuerzo en la estabilización de suelos, los cuales pretenden reducir deformaciones globales (asentamientos) y aumentar la capacidad portante (resistencia).

Geosintético es un nombre genérico que representa una amplia gama de productos fabricados de materiales poliméricos, los más comunes son Geotextiles, Geomallas, Geocompuestos, Geomembranas entre otros, las propiedades de estos productos permiten su utilización en distintas aplicaciones en obras civiles tales como: refuerzo, filtración, drenaje, protección, separación, impermeabilización y control de erosión. A pesar de las distintas aplicaciones de los diferentes tipos de Geosintéticos, la presente investigación se concentrará en los que cuya función principal es la del refuerzo de suelos, los mismo que están sujetos a sollicitaciones mecánicas tanto en la fase de instalación, construcción y vida útil de la obra.

#### 1.1.2 Cimentaciones

Se denomina cimentación a la parte de la estructura cuya misión es transmitir las cargas y los esfuerzos aplicados directamente sobre el suelo. (Braja M Das, 1985) La presente investigación se enmarca en el estudio del comportamiento de una cimentación superficial (zapata corrida), evaluando la capacidad del suelo de cimentación sin y con refuerzo con geotextil y geomalla.

#### 1.1.3 Carga de Hundimiento

Se denomina carga de hundimiento de un terreno a las características que posee este al ser aplicado una carga sobre suelo en las cuales las tensiones llegan a los límites máximos de rotura, en los cuales el suelo produce una afectación directa debido a la carga producida por defecto en una edificación o cimentación.

#### 1.1.4 Capacidad Portante

Es la capacidad que tiene que soportar las cargas que serán aplicadas al terreno, podríamos decir que es la máxima presión medida de contacto que existen entre la cimentación y el terreno en el cual se debe evitar que se produzca un asentamiento diferencial excesivo. (Braja M Das, 1985)

#### 1.1.5 Capacidad Admisibile

La capacidad admisible es la carga límite que será dividida por un factor de seguridad el cual Terzaghi nos recomienda no debe ser menor a 3. (Das, 2011)

$$q_{adm} = \frac{qd}{F_s} \quad (1.1)$$

**Donde:**

**qd** = capacidad de Carga límite

**Fs** =factor de seguridad

#### 1.1.6 Asentamientos

Toda deformación se produce cuando un cuerpo es sometido a un esfuerzo, ya sea este pequeño o grande, sufre deformaciones por efecto de su aplicación de carga. La tracción produce un alargamiento sobre el eje X, produce a su vez una disminución sobre los ejes Y y Z. Esto se conoce como módulo de Poisson. Cuando se trata de cuerpos sólidos, las deformaciones pueden ser permanentes, en este caso, el cuerpo ha superado su punto de fluencia y se comporta de forma plástica, de modo que tras cesar el esfuerzo de tracción se mantiene el alargamiento; si las deformaciones no son permanentes se dice que el cuerpo es elástico, de manera que, cuando desaparece el esfuerzo de tracción, aquel recupera su longitud.

### 1.2 Tipos de Suelos

#### 1.2.1 Suelos No Cohesivos

Se consideran como suelos no cohesivos o granulares, según el sistema unificado de Clasificación de Suelos – SUCS. (NEC-SE-GC, 2015, p.7)

Estos suelos son aptos para todo tipo de obra ya que se presentan buena capacidad portante, y su elevada permeabilidad, permitiendo buena capacidad admisible de

drenaje a cargas externas, esta capacidad de drenaje es proporcional al tamaño de las partículas que son gruesas como la arena y la grava.

### **1.2.2 Suelos Cohesivos**

Los Suelos cohesivos son aquellos que tienen finos de tamaños muy pequeños y contienen arcillas cuyas partículas se adhieren a sí mismo. Cuando un suelo posee mayor adherencia es porque contiene mayor cantidad de arcilla, esto ayuda que un suelo no sufra derrumbes o daños en taludes de gran pendiente. Entre los Suelos cohesivos se encuentran los limos (de origen físico) y arcillas (formadas por agregados de partículas microscópicas procedentes de la meteorización química de las rocas), las cuales se diferencia debido a sus propiedades plásticas.

### **1.2.3 Suelos Orgánicos**

Son suelos esponjosos, son aquellos suelos formados por la descomposición de materia orgánica de origen animal o vegetal. Por su baja capacidad portante, alta compresibilidad y mala tolerancia del agua. Este tipo de suelo presenta pésimas características para la ubicación de cualquier obra de infraestructuras.

### **1.2.4 Rellenos**

Son todos los materiales procedentes de otras obras; como escombros, vertederos, industriales, basureros, entre otros, que no pueden ser considerados como terrenos aptos para la ubicación de obras de infraestructura (NEC-SE-GC, 2015, p.7)

## **1.3 Aplicación en diferentes tipos de suelos**

La aplicación de Geosintéticos se la puede realizar en función de los materiales granulares o suelos no cohesivos, y suelos cohesivos tales como:

- Arenosos
- Limo Arenosos
- Arcillas
- Aluviales
- Gravas

En la presente investigación se toma en consideración los tipos de suelos Arena-Limosa (SM) y Arcilla-Arenosa (CL) para el posterior análisis.

## 1.4 Refuerzo del Suelo

El uso de tierra reforzada es de mucha importancia en el diseño y construcción de cimentaciones de estructuras de retención y mejoramientos de suelos, los mismos que son mejorados a través de esta tecnología que nos ayuda a dar una solución a su problema de trabajabilidad. Este es un método de construcción que comprende de los suelos reforzados por elementos a tensión como barras, tiras metálicas, geotextiles, geomallas y otros elementos similares.

Los beneficios del refuerzo del suelo se derivan de dos parámetros que son:

- **Resistencia al corte**, desarrollada por la fricción en los contactos del refuerzo, comparable con las estructuras de concreto.
- **Mayor resistencia a la tensión** del suelo, para darle una mejor fortaleza y a su vez mayor confiabilidad para dicho empleo. (Maccaferri, 2017)

## 1.5 Geosintéticos

El termino Geosintético está compuesto por dos partes: el prefijo “**Geo**” el cual hace referencia su uso en proyectos de Ingeniería Civil que implica la presencia suelos y el sufijo “**sintético**” hace referencia al hecho de que éstos materiales son casi exclusivamente hechos por el hombre. Geosintético es un nombre genérico que representa una amplia gama de productos fabricados de materiales poliméricos, los más comunes son Geotextiles, Geomallas, Geomembranas entre otros, las propiedades de estos productos permiten su utilización en distintas aplicaciones en obras civiles tales como: refuerzo, filtración, drenaje, protección, separación, impermeabilización y control de erosión. (Geosyntetics, 2005)

Es un producto en el que uno de sus componentes es a base de polímeros, en la mayoría de los casos se presenta en forma de filtro, lámina o estructura tridimensional y que es principalmente usada en contacto con el suelo dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil. Los Geosintéticos tienen varios campos de aplicación en la construcción como son las obras viales, obras hidráulicas, cimentaciones, reforzamiento del suelo, entre otras. (Amanco, 2007)

Los materiales geosintéticos se clasifican en las siguientes categorías

- Geotextiles
- Geomembranas

- Geomallas
- Geodrenes
- Geomantas
- Geoceldas y Geocompuestos

### **1.5.1 Descripción y manejo de los Geosintéticos.**

Los geosintéticos se pueden describir como telas de acero, son materiales innovadores en las construcciones civiles, debido a la resistencia que presenta a lo largo del tiempo de su vida útil. Entre los diversos usos que se le pueden dar a los geosintéticos están, el de refuerzo, separación, filtración, protección y drenaje. Por ejemplo, los geotextiles pueden cumplir muchas funciones y dentro de las principales podemos mencionar la separación de finos con materiales granulares, también pueden ser utilizados como refuerzos dando excelentes resultados. Las geomallas son estructuras planas obtenidas a partir de la soldadura de geocintas compuestas por filamentos de poliéster de alto modulo elástico y excelente comportamiento a fluencia, revestidos de polietileno; el mismo que además de ser un polímero inerte, presenta excelente resistencia a los ataques de agentes químicos y biológicos, y no contamina el ambiente. (Abramento, 1995)

Las principales características técnicas que presentan los Geosintéticos son:

- Alta resistencia a la tracción y excelente comportamiento bajo cargas constantes.
- Buena relación de las características interacción suelo/geomalla.
- Capacidad de resistir las peores condiciones de colocación, no es contaminante, aplicable en estructuras dimensionadas para una vida útil mayores de 30 años.
- Su principal función es de refuerzo, ya que su elongación es baja y su comportamiento bajo cargas constantes es excelente.

### **1.5.2 Materias constituyentes de los Geosintéticos.**

La mayoría de los Geosintéticos se compone principalmente de polímeros, y en menor medida por aditivos. Los polímeros son sustancias macromoleculares de naturaleza orgánica, con alto peso molecular, y se obtienen por la combinación de monómeros, que son moléculas de bajo peso molecular. (El monómero es una molécula compuesta de carbono y átomos de hidrógeno). A través de mecanismos químicos, los monómeros pueden unirse para formar largas cadenas moleculares,

a este proceso se denomina Polimerización. Los aditivos más utilizados son los estabilizadores térmicos, contra los rayos UV y antioxidantes. El aumento de peso molecular provoca un aumento en la resistencia a la tracción, al impacto y al calor, reducción de la deformabilidad del material y de los efectos de fluidez.

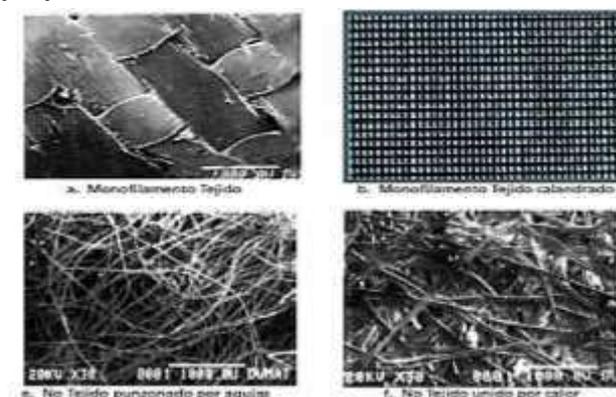
Los polímeros más empleados para la elaboración son: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliéster (PET) y poliamida (PA). Hay tres factores que son importantes para los fabricantes: clase de polímero, tipo de filamentos y el tipo de proceso productivo. (koerner, 1994)

Para la fabricación de las fibras de Geotextil se hace de los siguientes materiales:

- Polipropileno – 85%
- Poliéster – 12%
- Polietileno - 2%
- Poliamida (Nylon) – 1%

### 1.5.2.1 Tipos de fibras empleadas para la fabricación de Geosintéticos

Se han desarrollado muchos tipos de fibras y estilos de tejidos, existen tres puntos importantes para los fabricantes: tipo de polímero, tipo de fibra y estilo de tejido. El polímero seleccionado se transforma en un fundido por calor y presión, luego este pasa a través de un molde. Del molde salen fibras o cintas planas en estado semilíquido e inmediatamente se produce un enfriamiento por aire o agua transformando el producto del molde en un elemento sólido, de allí el material sufre un estirado, el cual reduce sus dimensiones en su ancho o espesor. De esta forma se incrementa la resistencia de los filamentos en sentido longitudinal, su elongación a la ruptura disminuye y su módulo se incrementa.



**Figura 1.1.-** Vista microscópica de algunos tipos de Geotextiles tejidos y no tejidos. (Macaferri, 2011)

### **1.5.3 Durabilidad de los Geosintéticos**

Su durabilidad es muy extensa, se ha comprobado que debido a los materiales por los que están compuestos (polipropileno, polietileno o poliéster) su degradación es mínima con el paso del tiempo. La durabilidad de los Geosintéticos en una carretera estará determinada por el diseño de la vida útil con la que se proyecte esta, si el diseñador la proyecta a 20 años, esa es la cantidad de años que durara el que sea aplicado tanto como separación, estabilización, drenaje, filtración o como refuerzo.

En realidad, su durabilidad es muy superior, ensayos extrapolados de Crepp (Fluencia), dan resultados por encima de los 80 años de durabilidad. Es importante que no sean expuestos a los rayos ultravioletas por un tiempo prolongado, dado que estos rayos si pueden alterar drásticamente sus propiedades y disminuir su vida útil de trabajo, el método de prueba de supervivencia para el deterioro por la exposición a los rayos ultravioletas, es el ASTM D 4632. (Abramento, 1995)

Dentro de la amplia gama de geosintéticos que existen disponibles en el mercado mundial, los principales elementos usados para refuerzo son tanto los geotextiles y las geomallas los cuales se detallan a continuación:

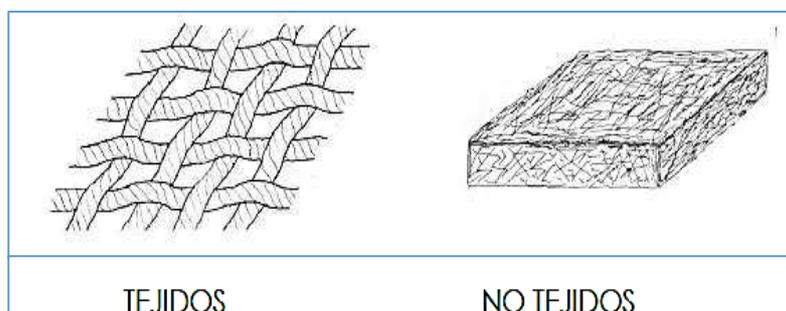
### **1.6 Geotextil**

Los geotextiles son telas sintéticas, elásticas y resistentes que se utilizan en obras geotécnicas de Ingeniería para reforzar los suelos. Siendo estos manufacturados con uno o más polímeros, los cuales son compuestos derivados de otro por polimerización, es decir, se unen moléculas de un mismo compuesto para conseguir otro de peso molecular más elevado. (Sanchez Garcia, 1999)

Los geotextiles son materiales textiles planos, permeables y hechos a base de polímeros (sintético o natural), que pueden ser tejidos o no tejidos, los cuales tienen un espesor aproximado entre 1,5 a 2 mm, y se pueden utilizar en vías, taludes, cimentaciones, con la finalidad de mejorar su resistencia al aplicar cualquier carga. El polipropileno es más ligero que el agua, resistente y durable, sus filamentos y fibras se usan en la elaboración de geotextiles. El poliéster es más pesado que el agua, tiene buena resistencia, propiedades de deslizamientos, es compatible con los materiales naturales. (Murad Abu-Farsakh, 2016).

## 1.7 Clasificación de Geotextiles

Los polímeros utilizados en la manufactura de las fibras de geotextiles se hacen a partir de los siguientes materiales: polipropileno, poliéster, polietileno y poliamida, los más utilizados son el poliéster y el polipropileno, según el proceso de fabricación se clasifican en **Tejidos y No Tejidos**: (Sanchez Garcia, 1999)



**Figura 1.2.-** Tipos de Geotextiles, según su fabricación (Pavco, 2011)

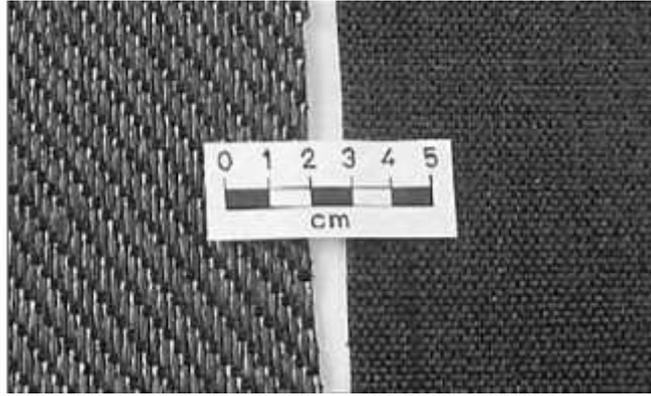
### 1.7.1 Geotextiles Tejidos

Son fabricados por procesos convencionales de tejido, los hilos en dos direcciones perpendiculares entre sí, su principal aplicación es como elemento de refuerzo y separación de suelos. Son aquellos formados por cintas de alta resistencia, de polipropileno en sentido de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Es el tejido más simple y eficiente, conocido también como “uno arriba y uno abajo”, dando como resultado una estructura plana.

Según el tipo de tejido los geotextiles se pueden dividir en:

- Geotextiles tejidos por filamentos únicos (monofilamentos).
- Geotextiles tejidos por filamentos múltiples.

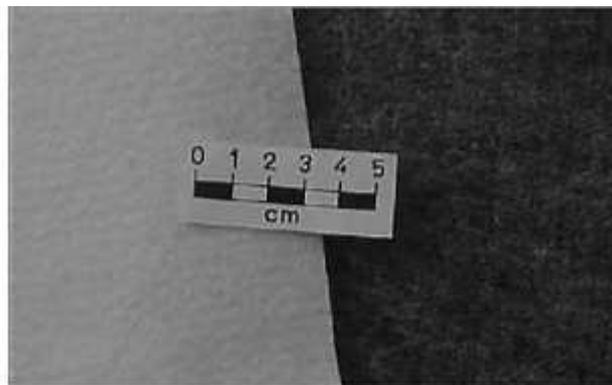
El espesor de los geotextiles tejidos fabricados a partir de monofilamento y filamentos múltiples varía entre 1,0mm y 2,0mm. Los fibrilados son los elementos más comunes en la fabricación de los geotextiles tejidos, se puede apreciar este tipo de geotextil en la figura 1.3; el tejido es un proceso de entrelazados de hilos para fabricar una tela. Las fibras se orientan en dos direcciones, los tejidos se hacen tejiendo monofilamentos, multifilamentos o fibras cortas, las que pueden subdividirse en cintas planas y tejidos fibrilados (o tejidos como tela de araña).



**Figura 1.3.-** Geotextil Tejido (Kuma & Hua, 2006)

### 1.7.2 Geotextiles No Tejidos

Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos de polipropileno mezclados aleatoriamente, conformando una capa con altas propiedades de filtración y drenaje. Están formados por fibras discontinuas o filamentos largos distribuidos aleatoriamente, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras (agujado, termo soldado o resinado). El agujado tiene las fibras unidas mecánicamente a través de una costura por agujas, el termo soldado tiene las fibras unidas por un proceso de calentamiento y el compactado mediante un proceso químico, sus principales aplicaciones son la de separación, protección y filtración, este tipo de geotextil no se utiliza como elemento de refuerzo debido a no tienen elevada resistencia a la tracción. En la figura 1.4 se puede apreciar dos geotextiles los cuales son de poliéster (izquierda) y de polipropileno (derecha). (Sanchez Garcia, 1999)



**Figura 1.4.-** Geotextil No Tejido (Kuma & Hua, 2006)

Los geotextiles no tejidos son altamente recomendables para el drenaje de subsuelo y para el control de la erosión, así como para la estabilización de caminos sobre suelos húmedos. Y estos pueden ser:

- a).** - Agujados, Punzonados o Agujereados: Los filamentos se unen mediante unión mecánica a través de agujas dispuestas en la parte inferior y superior de la napa de filamentos y que entran y salen a gran velocidad, entrelazando los filamentos.
- b).**- Termosoldados: Los filamentos están unidos mediante calor a través de un proceso de termofusión. (Pavco, 2012)

### 1.7.3 Mixtos

La malla se compone de fibras cortadas.

Pueden ser:

- a. Agujados.
- b. Agujados y Termosellados.

**a).**- Los geotextiles agujados de fibra cortada no sometidos al proceso de termofusión, son materiales con mínima resistencia mecánica, ya que al no haber unión entre sus elementos y no estar ligados entre sí, pueden ser perforados con facilidad ante la aplicación de una fuerza perpendicular, sin ofrecer resistencia.

**b).**- Los geotextiles agujados de filamento continuo y termosoldados, poseen alta resistencia mecánica para evitar la rotura, poseen espesores adecuados para cumplir la función de drenaje y función de protección y funciona con efecto colchón.



**Figura 1.5.-** Geotextil Tejido y No Tejido (Pavco, 2010)

## 1.8 Propiedades entre un Geotextil Tejido y No Tejido

Puede observarse claramente en la tabla 1.1 que existen grandes diferencias entre los valores obtenidos para un geotextil tejido y uno no tejido, por ello deberá realizarse un correcto análisis de las especificaciones técnicas de los distintos productos antes de tomar la decisión acerca de cuál utilizar.

**Tabla 1.1.-** Propiedades de los Geotextiles (Piegari, 2005)

Propiedades de los <b>Geosintéticos</b>	GEOTEXTIL <b>NO TEJIDO</b>	GEOTEXTIL <b>TEJIDO</b>
Resistencia a la Tracción ( <b>KN/m</b> )	8	30
Estiramiento a la Rotura (%)	45 - 55	15
Abertura de Poros ( <b>mm</b> )	0,26	0,28

## 1.9 Funciones y Aplicaciones principales de los Geosintéticos

El uso de los geotextiles tejidos y No tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir varias funciones al mismo tiempo, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar. Estos materiales están en contacto con suelo, roca, tierra u otro material relacionado a la Ingeniería geotécnica que pueda integrarse en estructuras y obras civiles, los mismo que pueden cumplir 5 funciones principales: separación, filtración, refuerzo, drenaje e impermeabilización (koerner, 1994)

Se pueden clasificar principalmente en los siguientes tipos: Geotextiles, Geomallas, Geonets, Geomembranas, Geocompuestos, entre otros. Cada uno de estos Geosintéticos cumple diferentes funciones como se muestra en la tabla 1.2, donde se describen las múltiples funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los Geosintéticos. (Amanco, 2007)

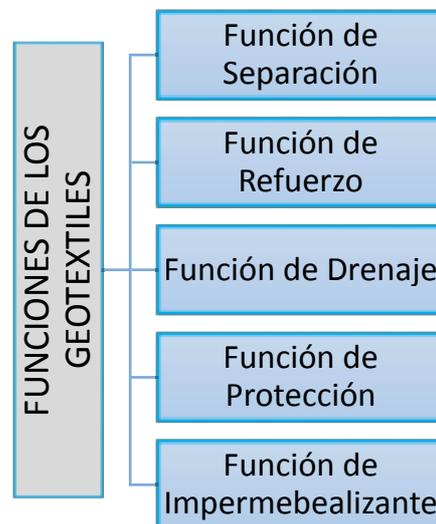
**Tabla 1.2.-** Identificación de las funciones de los Geosintéticos (Koerner, 2012)

TABLA DE FUNCIÓN DE UN GEOSINTÉTICO							
FUNCIÓN	Separación	Filtración	Refuerzo	Drenaje	Protección	Barrera	Impermeabilización
GEOTEXTIL	X	X	X	X	X	X	X
GEOMALLA	X		X		X	X	
GEORED			X			X	
GEOMEMBRANA	X	X			X	X	X
GEODREN				X		X	
GEOELDAS		X	X	X		X	
GEOMANTA		X			X	X	
GEOCOMPUESTOS		X		X		X	
GEOTUBOS	X		X		X	X	X

En la presente investigación nos enfocaremos en la utilización de los siguientes geosintéticos: Geotextil Tejido y Geomalla para la función de refuerzo del suelo de una cimentación para una zapata corrida.

Un Geotextil puede hacer varias funciones, pero siempre habrá una por la cual se determinará su uso. Las principales funciones de un Geotextil son:

**Tabla 1.3.-** Principales Funciones de los Geotextiles (El autor)



A continuación, se analiza las diferentes funciones que desempeñan los geotextiles.

1. Separación
2. Refuerzo
3. Filtración
4. Drenaje
5. Protección

### 1.9.1 Separación

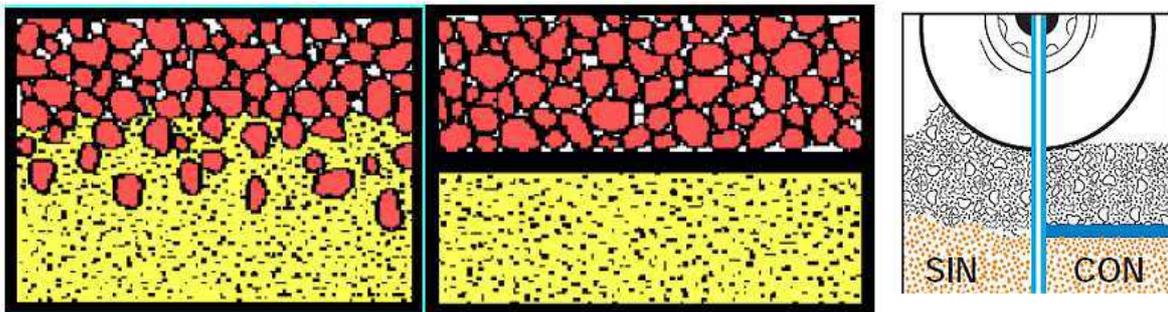
Estos materiales son utilizados para mantener separados dos clases diferentes de suelos. Son importantes para evitar la contaminación de suelos friccionantes y cohesivos, entre subrasante y base, en carreteras. (Amanco, 2007)

En cuanto a separación se usa con distintos fines, por ejemplo:

- Divide estratos diferentes, evitando la mezcla indeseada entre diferentes materiales, por ejemplo entre una capa de arena gruesa y arcilla.
- Evitar la mezcla indeseada de suelos con diversas características.
- Impide la contaminación de los agregados seleccionados con el suelo natural.

En la función de separación deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Resistencia a la tracción.
- Resistencia al punzonamiento.
- Espesor del geotextil.

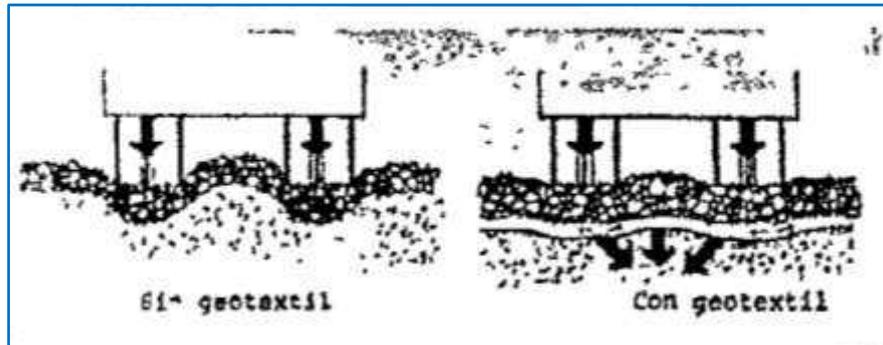


**Figura 1.6.-** Función de separación de los Geosintéticos (BASF, 2014)

### 1.9.2 Refuerzo

Se pueden usar a los geotextiles como refuerzo en terrenos de bajo valor relativo de soporte. El concepto es teóricamente válido, debido a que el geotextil decrece en el nivel de esfuerzos en el suelo de cimentación, causado por el esfuerzo cortante horizontal, provocado por las cargas verticales.

El geotextil imparte resistencia a la tensión, incrementando la estabilidad estructural. Algunos ejemplos de aplicación son el refuerzo de cimentaciones construidos sobre suelos inestables o de baja capacidad portante. La infiltración es la relación geotextil-suelo que permite el libre flujo del agua, a través del plano del textil, durante un largo lapso de tiempo.



**Figura 1.7.-** Función de refuerzo del Geotextil (Das, 2000)

Se Consideran dos tipos de refuerzos:

1. Refuerzo en la tracción, eliminando las fuerzas de vuelco.
2. Estabilización del suelo, mediante confinamiento de partículas evacuando por supresión el agua contenida.

En esta función de refuerzo deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

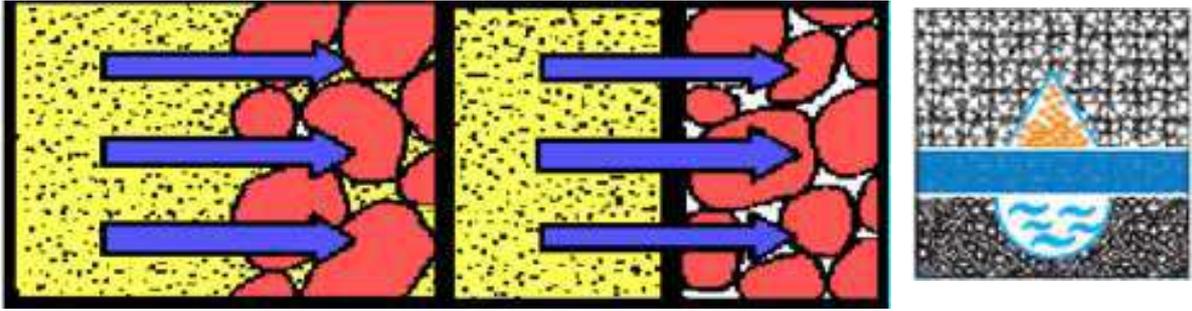
- El geosintético a utilizar debe tener una alta resistencia a la tracción.
- El geotextil absorba los esfuerzos de tensión que el suelo no posee.
- Modulo de elasticidad y curva de deformación.
- Resistencia mecánica a la tracción, punzonamiento y desgarró.

### 1.9.3 Filtración

Es una de las áreas en donde el empleo de los geotextiles tiene mayor aplicación, debido al control de la permeabilidad ejercidas por ellos. El geotextil permite el paso del fluido a través de los poros, impidiendo que las partículas sólidas traspasen. Se colocan geotextiles como capas separadoras o como filtro drenante. El procedimiento que abarca obras de carreteras y obras hidráulicas que requieran una separación de capas de distintas características o para sistemas de drenaje. La función de filtro debe garantizar su estabilidad hidráulica. (Amanco, 2007)

En esta función de filtración deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- Permeabilidad.
- Abertura eficaz de los poros.
- Espesor del geotextil.



**Figura 1.8.-** Función de filtración de los Geosintéticos (BASF, 2014)

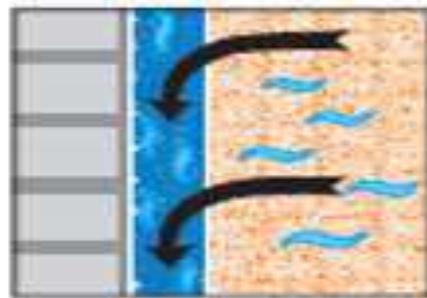
#### 1.9.4 Drenaje

El empleo de estos materiales es recomendable en muchos problemas de drenaje, como por ejemplo, se usan para eliminar los filtros graduados en presas de tierra, suelos estabilizados con drenes, así como en muros de contención.

Es el sistema en equilibrio geotextil-suelo, que permite el libre flujo del agua sin la pérdida de suelo, en el plano del geotextil, algunos ejemplos son drenes en presas, drenes en muros de contención, capas rompedoras de capacidad.

En esta función de Drenaje deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- Permeabilidad en el plano del geotextil.
- Espesor del geotextil.
- Drena el agua en el plano del geotextil, evitando el desarrollo de poros.



**Figura 1.9.-** Función de drenaje de los Geosintéticos (BASF, 2014)

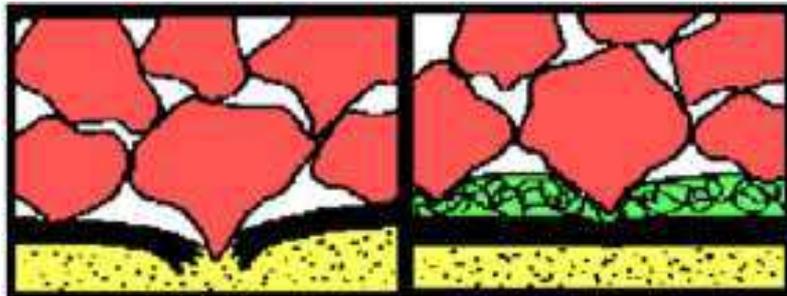
#### 1.9.5 Protección

Los geotextiles pueden actuar como moldes para contener a otros materiales (arena, grava, concreto o suelo del lugar) y poder así satisfacer la forma de cualquier superficie en la que son construidos. Estas telas se pueden utilizar para fabricar "in situ" grandes elementos de construcción como diques o taludes. Gracias

al espesor de los geotextiles no tejidos, estos absorben los esfuerzos inducidos por objetos angulosos o punzantes, protegiendo los materiales laminares.

En esta función de Protección deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- Resistencia al punzonamiento.
- Perforación dinámica por caída libre de cono.
- Espesor (efecto colchón para protección de la Geomembrana).



**Figura 1.10.-** Funciones y aplicaciones de los Geosintéticos (BASF, 2014)

### 1.10 Costo de los Geotextiles

El geotextil se selecciona por su gramaje ya que su costo depende directamente de este parámetro. El precio unitario del material se determina dividiendo el dinero a invertir disponible por el área a cubrir con el Geosintético. A partir de esto, se selecciona el Geotextil con mejor calidad dentro del límite de precio unitario calculado y de su disponibilidad. (Shukla, 2016).

Los costos van a varias tomando en cuenta varios factores:

- Lugar donde fue fabricado el Geotextil ya que se debe tomarse en cuenta si fue fabricado en otro país los costos de envío aumentarían el precio final.
- Por otro lado, en nuestro país hay representación de las empresas fabricantes que esto favorece en cuanto a surtido de material, tiempos de entrega y costo final.

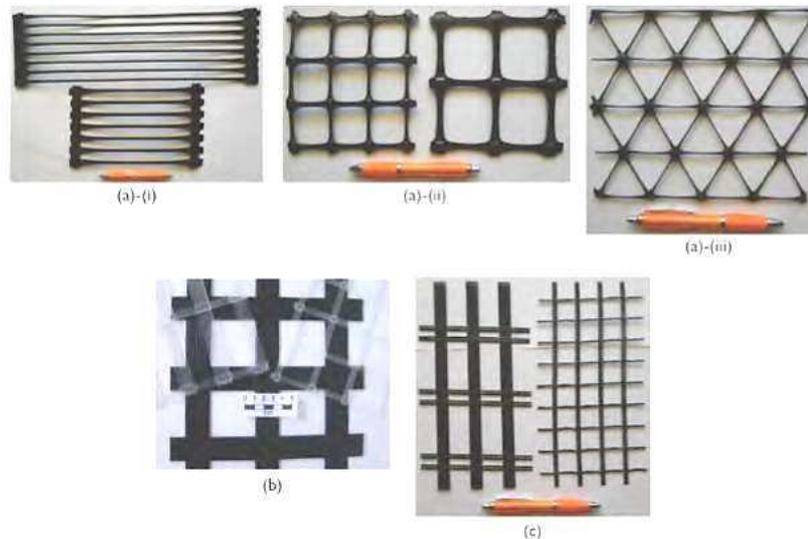
### 1.11 Geomallas

La geomalla es conocida como el geosintético de refuerzo por excelencia. Está compuesta por costillas paralelas conectadas entre sí. El espacio entre estas costillas permite generar un efecto de trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico. (Koerner, 1994). Es un elemento plano y polimérico que tiene la estructura de malla abierta, tiene elementos de resistencia intersectados llamados

costillas, las mismas pueden estar unidas ya sea por extrusión, soldadura o entrelazado de sus hilos, de acuerdo a esto las geomallas se denominan como: extruidas, soldadas o tejidas. Las geomallas son materiales poliméricos de alto módulo y son preparadas por métodos de estirado. Son materiales relativamente rígidos en forma de red con grandes espacios que son lo suficientemente grandes para permitir que exista una fricción.

Las geomallas se clasifican de la siguiente manera:

- a) Uniaxiales
- b) Biaxiales
- c) Triaxiales



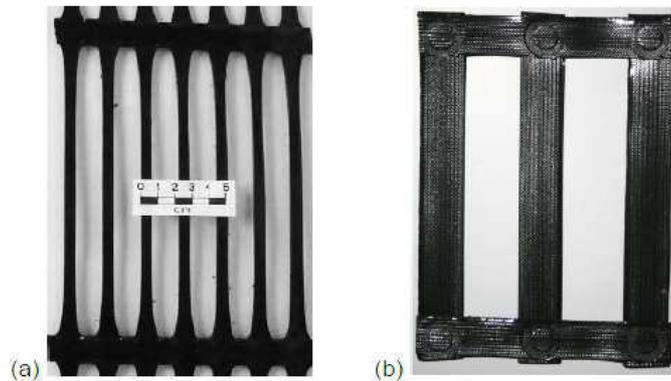
**Figura 1.11.-** Geomallas Típicas: (a) Extruidas (i) Uniaxial, (ii) Biaxial, (iii) Triaxial, (b) Soldada, (c) Tejida (Scukla 2016)

### 1.11.1 Geomalla Uniaxial

Son capaces de soportar fuerzas en un solo sentido, mientras que las biaxiales pueden soportar fuerzas en dos sentidos y perpendiculares entre ellas. Producida mediante el estiramiento longitudinal de una hoja de polímero perforado de forma regular como se aprecia en la figura 1.12 (i).

Este tipo de geomallas poseen gran resistencia a los esfuerzos de tracción en la dirección longitudinal. Se emplean en aplicaciones donde se conoce la dirección del esfuerzo principal, estas aplicaciones pueden ser en muros y taludes. Los

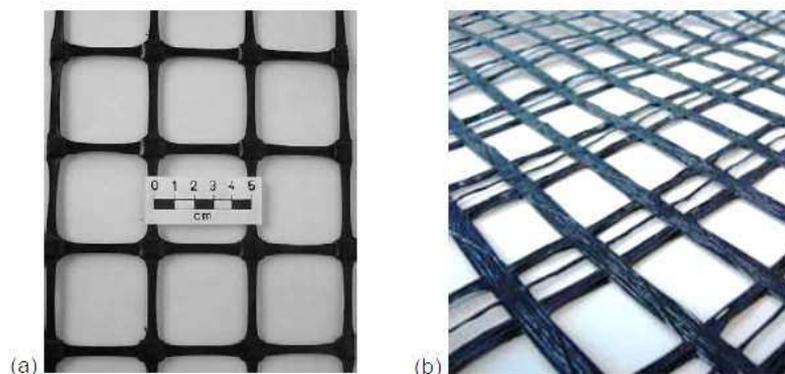
principales polímeros utilizados para la fabricación de geomallas uniaxiales son el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Poliéster de Alta Tenacidad (PET).



**Figura 1.12.-** Geomallas Uniaxiales a) Extruida; b) Soldada (Kumar & Hua, 2006)

### 1.11.2 Geomalla Biaxial

Este tipo de geomallas poseen gran resistencia a los esfuerzos de tracción en la dirección longitudinal y transversal. Se emplean en aplicaciones en las cuales los esfuerzos movilizados son esencialmente aleatorios, tales como en pavimentos y cimentaciones. Están compuestas por fibras o cintas unidas entre sí, de manera que mantenga su estabilidad dimensional global, resistencia a la tracción y una abertura, sección y forma adecuadas para garantizar una trabazón mecánica significativa con el material granular. Los principales polímeros utilizados para la fabricación de Geomallas uniaxiales son el Polipropileno (PP) y el Poliéster de Alta Tenacidad (PET). Producida mediante el estiramiento longitudinal en 2 direcciones de una hoja de polímero perforado de forma regular. Por esto, posee resistencia a la tracción igual en ambas direcciones como muestra la figura 1.13



**Figura 1.13.-** Geomallas Biaxiales a) Extruidas; b) Tejida (Kumar & Hua, 2006)

### **1.11.2 Geomalla Triaxial**

Este tipo de geomalla es producida para tener resistencia a la tracción en distintas direcciones. (Sanchez Garcia, 1999)



**Figura 1.14.-** Geomalla Triaxial (Pavco, 2010)

## **1.12 Aplicaciones de las Geomallas**

Las geomallas se postulan como una solución práctica y económica en la aplicación en los movimientos de tierras, cargas pesadas y grandes espesores de relleno siendo de utilidad a una gran variedad de mercados industriales y comerciales. (Amanco, 2007). Estos son las principales aplicaciones de las Geomallas:

### **1.12.1 Geomallas para el refuerzo de caminos.**

La instalación de las geomallas para mejorar la sub rasante, reforzar la capa base o las dos, genera como resultado un mayor rendimiento y ahorro de costos en los pavimentos flexibles.

### **1.12.2 Geomallas en taludes reforzados**

Los taludes son estructuras que causan distintos problemas como deslizamientos o erosión. El uso de las geomallas en este tipo de obra, minora la superficie del terraplén, así como sus requisitos de relleno y asentamiento. Para el control de la erosión del talud, es necesario hacer un análisis previo de sus condiciones.

### **1.12.3 Geomallas en sistemas de refuerzo en la cimentación**

La aplicación de las geomallas en suelos débiles y variables evita problemas en el rendimiento de la cimentación de cualquier estructura. El sistema crea un compuesto estructural de relleno y geomalla, brindando excelentes resultados.

#### 1.12.4 Geomallas en sistemas de muros de retención

Las geomallas son una alternativa para los muros de cemento convencionales. El empleo de las geomallas en estos sistemas de construcción genera grandes ahorros de costos. La aplicación de este material permite la construcción de terraplenes, muros y taludes estables.

#### 1.12.5 Geomallas en sistemas mineros

La sub rasante estabilizada con una geomalla mejora el transporte desde el interior de la mina hacia afuera, y así, se reduce de manera significativa el mantenimiento del camino. También evita que dentro de la mina las piedras flojas caigan.

#### 1.12.6 Geomallas en las subrasantes

En los casos de suelos débiles, las sub rasantes muestran un problema común en la construcción de pavimentos con lo que aparecen grietas en los distintos pavimentos, este problema se subsanaba con el relleno de este material. El empleo de las geomallas incrementa el rendimiento de la sub rasante, de tal forma que el pavimento de hace más resistente, mejoras en la compactación, reduciendo los costos gracias a eficiente distribución de sus cargas. (BASF, 2014)

### 1.13 Requerimientos mínimos de propiedades mecánicas de las Geomallas

**Tabla 1.4.- Resistencia Mecánica de las Geomallas**

Resistencia Mecánica	35(mm)	65(mm)	100(mm)
Resistencia Última (KN/m)	41.3	71.2	108.7
Elongación a Rotura (%)	14.3	15.3	15.6
Resistencia a la deformación (KN/m)	7.9	12.7	19.1
Resistencia @ 5% deformación (KN/m)	12.5	20.1	30.1

**Tabla 1.5.- Características Físicas de las Geomallas**

Resistencia a las altas temperaturas (punto de ablandamiento °C)	240	240	240
Apertura de la Geomalla (mm)	26x25	22x22	32x20
Área Abierta (%)	52	39.4	49

## **1.14 Cálculo de resistencia de los materiales de refuerzo**

El perfecto desempeño de la función de refuerzo de un geosintético no depende sólo de un correcto dimensionamiento de los esfuerzos, sino también de su correcta especificación, a través de valores adecuados de sus propiedades. Podemos resumir como relevantes, para el desempeño de la función de refuerzo las siguientes propiedades:

### **1.14.1 Resistencia a la Tracción (Norma ASTM 4595 e ISO 10319)**

La propiedad más importante de un refuerzo es su resistencia a la tracción, se define como la máxima carga aplicada por unidad de longitud para una deformación desarrollada en un determinado plano de un geosintético. La resistencia a la tracción está íntimamente ligada a la masa por unidad de área del refuerzo y a la temperatura del ambiente.

Los ensayos más comunes para determinar la resistencia a la tracción de elementos de refuerzo son la ASTM 4595 e ISO 10319. Las dimensiones de las muestras según la ASTM son de 200mm de ancho y 100mm de largo, sometido a una fuerza de tracción a una velocidad de 200mm/min. La razón por la cual el ancho de la muestra es superior al largo, es debido a que algunos geosintéticos tienden a contraerse en su longitud bajo una determinada carga. Durante el ensayo, se aplica una fuerza de tracción continua y creciente al refuerzo hasta lograr su rotura, la respuesta se caracteriza por una curva que relaciona la fuerza por unidad de ancho (kN/m) y la deformación longitudinal (%).

### **1.14.2 Fluencia (ISO 13431/98)**

Es la capacidad de un material a deformarse, cuando es sometido a una carga estática de larga duración, la magnitud de las deformaciones por fluencia depende de la estructura molecular y composición del material que forma el refuerzo. El refuerzo, sometido a una carga de tracción constante, lleva un determinado intervalo de tiempo para alcanzar su rotura por fluencia. Debido a la fluencia un geosintético podría alcanzar la ruptura en un determinado tiempo aun cuando esté sometido a tracciones muy inferiores a la resistencia a la tracción máxima.

El ensayo de fluencia, (ISO 13431/98) para geotextiles propone métodos para la evaluación del comportamiento en deformación y rotura por fluencia. Para el

análisis del comportamiento en deformación, la norma propone aplicar 4 niveles de carga (para cada probeta), seleccionados entre 5 y 60% de la resistencia máxima establecida en ensayo de rotura a la tracción, determinándose las deformaciones en 1000h. En el análisis de la rotura por fluencia, la norma propone aplicar 4 niveles de carga (3 probetas para cada nivel), seleccionados entre 50 y 90% de la resistencia máxima. Se mide el tiempo necesario hasta la rotura. Los resultados de ensayos de fluencia son presentados en forma de isócronas de tracción vs deformación, o en función del tiempo para la rotura por fluencia. (koerner, 1994)

### 1.14.3 Resistencia al Punzonamiento (Norma ASTM D433)

La importancia de determinar la resistencia al punzonamiento se debe principalmente al daño de instalación que puede presentar el Geotextil. Una falla de este tipo conllevaría a un mal funcionamiento del material sin importar el diseño efectuado. Si se coloca geotextil como materia de refuerzo y si existen materiales punzonantes (piedras angulares, ramas de árboles) que puedan romper y desgastar el geotextil.

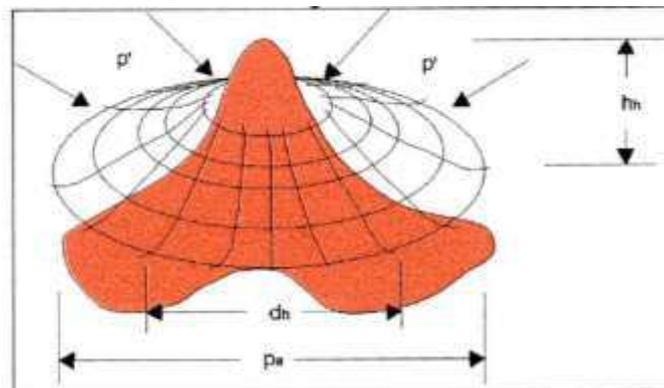


Figura 1.15.- Efecto de punzonamiento en Geotextil causado por una roca. (Koerner, 2012)

### 1.14.4 Degradación química

Los geosintéticos pueden entrar en contacto con productos químicos y lixiviados que no se encuentran normalmente dentro del suelo. Este tipo de degradación tiene un efecto en la reducción en el peso molecular del polímero y en el deterioro de sus propiedades. Generalmente se utilizan pruebas índices en los estudios de resistencia química, muestras de geosintéticos son expuestas por inmersión en líquidos en diferentes condiciones durante un tiempo determinado (generalmente 15 días). Las formas más comunes de degradación química son la oxidación y la

hidrólisis, en general la degradación química se acelera cuando existen temperaturas elevadas debido a que la energía de activación de estos fenómenos es relativamente alta, esto es una ventaja debido a que la mayoría de las obras civiles se encuentran en ambientes con temperaturas moderadas.

#### **1.14.5 Impacto en el medio ambiente**

Como aspecto de análisis final, no por eso menos importante, se debe mencionar la reducción en el impacto ambiental que conlleva este proceso de refuerzo, justificada conceptualmente en los siguientes aspectos: reducción en el uso de agregado natural, reducción de los volúmenes de excavación, número de camiones necesario para el traslado de los materiales y de la energía de compactación. Es interesante revisar cómo ya se puede calcular, en términos porcentuales, la disminución en la cantidad de emisiones de carbono cuando se construye optimizando los diseños con Geosintéticos. (Abramento, 1995)

#### **1.15 Ventajas de la aplicación del Geosintéticos**

La utilización de geosintéticos generalmente aporta múltiples ventajas, entre ellas:

- Resistencia a daños mecánicos ocasionados durante su puesta en obra.
- Prolonga la vida útil de la construcción proyectada.
- Aportan resistencia a tracción y aumentan la resistencia a cortante del suelo.
- Aumenta la capacidad de carga y la estabilidad del suelo.
- Elemento separador que evita la contaminación entre diferentes suelos.
- Filtra y retiene partículas finas y permite la libre circulación de agua.
- Disminuye la formación de baches o irregularidades en superficie.
- Flexibilidad y poco peso.
- Se logra disminuir los asentamientos producidos en el suelo.
- No se requiere equipos especiales ni personal especializado para su colocación en obra.
- Resisten la erosión y la corrosión.
- Tienen muy buena resistencia mecánica, a las presiones ocasionadas por los suelos, alta capacidad de filtración y drenaje.
- Excelente interacción con los suelos.

## 2. CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Metodología de la Investigación

La elaboración del presente trabajo de investigación es de tipo Hipotético-Deductivo e Inductivo, ya que se partió desde una hipótesis, y que por medio de la información científica poder llegar a una conclusión, y de los datos analizados durante el proceso de análisis, finalizar con una teoría fundamental en nuestra suposición. Se puede arribar a conclusiones particulares a partir de la hipótesis, que después se puede verificar y comprobar, a partir de dicha hipótesis y siguiendo las reglas lógicas de la deducción, se llega a nuevas conclusiones y predicciones empíricas, las que a su vez son sometidas a verificación.

Este proceso de investigación siempre está unido a la deducción, ya que podemos teorizar de manera lógica los datos y seguir un proceso mediante el cual obtendremos un resultado al cual se le puede denominar en cierta forma como datos válidos. Mediante la compilación de información teórica y bibliográfica como tesis de grado, revistas científicas, libros, publicaciones relacionadas al tema analizado, estudios geotécnicos del área de estudio.

Se analizaron un total de 8 estudios de suelos (SPT) que se han realizado en los últimos años en varios sectores de la ciudad de Manta, entre ellos en la Parroquia Tarqui, (Ver Tablas A de Anexos) donde se analizó las perforaciones desarrolladas a diferentes profundidades para luego diseñar y evaluar el comportamiento de una cimentación sin y con reforzamiento del suelo con varios tipos de geosintéticos.

Entre los datos de los ensayos de suelo SPT que se utilizó en la presente investigación para poder implementar de geosintéticos como refuerzo son:

- Clasificación del Tipo de suelo (SUCS) y Numero de Golpes
- Peso específico del suelo
- Módulo de Elasticidad
- Cohesión
- Coeficiente de Poisson
- Ángulo de Fricción

## 2.2 Área de estudio

El lugar de análisis se encuentra en la Parroquia Tarqui del cantón Manta, al sureste de la ciudad, entre la avenida 113 y calle 114; cuya localización general referida al sistema geodésico mundial WSG 84, es de 9893871N – 532232E, del cual se cuenta con los estudios de suelo para desarrollar el presente trabajo, los cuales fueron previamente adquiridos y gentilmente puestos a consideración por la empresa CONGEOTEC S.A, mismos que han sido realizados en la Parroquia Tarqui, denominada zona cero, que debido a las características del suelo y su procedencia, son una oportunidad para estudiar y evaluar la aplicación de los Geotextiles y Geomallas como alternativa para mejorar las condiciones del suelo.

La información requerida para la evaluación, se obtuvo de ensayos de suelos (SPT) de la empresa ya mencionada, de donde se eligió los tipos de suelos (arena y arcilla), de los cuales se obtuvieron los parámetros necesarios para la modelación de una zapata corrida reforzada con varias capas de Geotextil y Geomalla, primero de manera manual implementando diferentes metodologías de diseño, luego con la ayuda del software SAP 2000 mediante elementos finitos, evaluar el comportamiento, los esfuerzos y asentamientos producidos por las cargas en los primeros metros de las capas del terreno, para posteriormente realizar una comparación de resultados.



**Figura 2.1.-** Mapa de ubicación de uno de los punto de análisis del proyecto en la Parroquia Tarqui (Google Earth)

## 2.3 Recopilación, análisis y procesamiento de datos

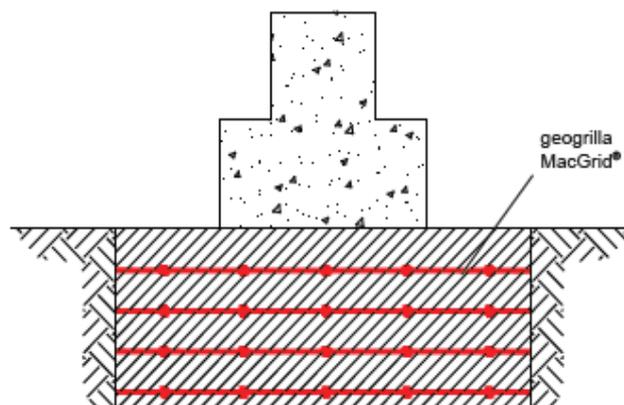
Se procede a la recopilación y análisis de los estudios de suelos de la zona de estudio, se crea una base de datos para finalmente elegir el estudio de suelo óptimo para la investigación, el cual cuente con todos los parámetros geotécnicos necesarios para su análisis, y así poder evaluar el empleo de los geosintéticos en la construcción de una zapata corrida, para finalmente analizar su comportamiento.

### 2.3.1 Selección de los tipos de Geosintéticos utilizados para el reforzamiento del suelo

En el presente proyecto, para el reforzamiento del suelo, se realiza el análisis empleando **Geotextiles Tejidos y Geomallas Biaxiales**, ya que estos son los geosintéticos ideales cuando se tenga que reforzar el suelo debido a sus características, múltiples ventajas y beneficios que ofrecen estos materiales.

## 2.4 Reforzamiento de suelos de baja capacidad portante con Geotextiles

Es frecuente encontrarse con suelos inestables y de baja capacidad de carga, sobre los que asentarán vías, cimentaciones, construcción de terraplenes, carreteras, pistas mineras, aeropuertos, y demás obras proyectadas sobre suelos de limitada resistencia a cortante. La utilización de los geotextiles es válida y recomendable en este tipo de obras civiles, ya que permite una mejor distribución de las cargas, mejorando la capacidad portante del terreno. Los mayores problemas desde el punto de vista geotécnico, se ve en el diseño de cimentaciones y zapatas, las cuales se encuentran en suelos de baja capacidad portante, por lo cual se encuentran modernos métodos para evaluar la aplicación de Geotextil.



**Figura 2.2.-** Relación Refuerzo de suelos bajo una zapata (Mac Grid, 2010)

### **2.4.1 Carga de hundimiento SIN REFUERZO.**

La cimentación es la parte de la estructura que está en contacto con el terreno y que sirve de elemento transmisor de cargas entre ambos. El suelo debe de ser capaz de resistir las cargas impuestas durante el tiempo de vida útil, sin que se produzca la rotura y con asentamientos tolerables de acuerdo al tipo de estructura a cimentar. Por lo tanto, en el diseño de una cimentación es de suma importancia determinar con cierta precisión la cantidad de esfuerzos que es capaz de soportar el suelo y los asentamientos que van a presentarse. La forma y dimensión de la cimentación dependerá de la magnitud de las cargas a transmitir al terreno y de las características del mismo, existiendo cimentaciones del tipo superficial y profunda.

## **2.5 Análisis de los estados límites de los sistemas de cimentación SIN REFUERZO**

### **2.5.1 Capacidad de carga**

Cuando se construye una cimentación o zapata sobre capas de suelo fuerte asentadas sobre estratos arenosos y arcillosos débiles en comparación al estrato superior, se lo analizara como se presenta a continuación.

Ecuación de Capacidad de Soporte (Fuente - BRAJA M DAS)

**Ecuación de Meyerhof:**

$$q_u = C N_c S_c d_c + q N_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \quad (2.1)$$

La capacidad de soporte de un suelo como se ha expresado no solo depende del tipo de suelo, sino también depende de la forma y profundidad; por lo que se han hecho modificaciones a la fórmula inicial general que ahora en nuestros tiempos cuenta con factores para diferentes tipos de cimentaciones.

#### **2.5.1.1 Factores de capacidad de carga**

Los coeficientes de capacidad de carga son función exclusiva del ángulo de fricción del terreno, las expresiones para determinar los valores de  $N_q$  y  $N_c$  fueron determinados por Prandtl (1929) a partir de la teoría de la plasticidad: El coeficiente  $N_\gamma$  corresponde al tercer término de la expresión de la carga de hundimiento y es relativo al peso de la masa de suelo a desplazarse en la superficie

de rotura. Este coeficiente varía de acuerdo a la metodología que propone cada autor (esto es debido a que no existe una solución exacta que se pueda deducir de la teoría de la plasticidad) al igual que sucede con los factores de forma, profundidad e inclinación.

**Tabla 2.1.-** Factores de capacidad de soporte para las ecuaciones de Meyerhof, Hansen, y Vesic. **Fuente:** BRAJA M DAS

$\phi$ deg.	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_\gamma (M)$	$N_\gamma (V)$
0	5.14	1.0	0.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	1.1	2.6
20	14.83	6.4	2.9	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	8.0	12.5
28	25.79	14.7	10.9	11.2	16.7
30	30.13	18.4	15.1	15.7	22.4
32	35.47	23.2	20.8	22.0	30.2
34	42.14	29.4	28.7	31.1	41.0
36	50.55	37.7	40.0	44.4	56.2
38	61.31	48.9	56.1	64.0	77.9
40	75.25	64.1	79.4	93.6	109.3
45	133.73	134.7	200.5	262.3	271.3
50	266.50	318.5	567.4	871.7	761.3

### 2.5.1.2 Factores de forma de Terzaghi

La ecuación general propuesta por Terzaghi fue desarrollada para una cimentación corrida (longitud infinita), en el caso de que la cimentación fuese del tipo rectangular o cuadrada se tienen que introducir los factores de forma multiplicando a cada término de la carga de hundimiento. Los factores de forma dependen de la geometría de la cimentación, del ancho efectivo (B) y de la longitud efectiva (L)

Para:

**Zapata Corrida**

$$S_c = 1,0$$

$$S_\gamma = 1,0$$

**Zapata Redonda**

$$S_c = 1,3$$

$$S_\gamma = 0,6$$

**Zapata Cuadrada**

$$S_c = 1,3$$

$$S_\gamma = 0,8$$

**Cálculo de Factores de Forma:**

$$d_c = 1 + 0.4 \frac{Df}{B} \tag{2.2}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan\phi (1 - \sin\phi)^2 \frac{Df}{B} \tag{2.3}$$

### 2.5.1.3 Factores de Profundidad

El terreno que se encuentra sobre el plano de la cimentación en la ecuación general de Terzaghi sólo se consideraba su peso, más no su resistencia al corte, los factores de profundidad se incluyen para introducir este efecto de resistencia en la ecuación general de carga de hundimiento. En el caso de que la cimentación no tenga empotramiento éstos factores serían igual a cero.

$$S_c = 1 + \frac{B Nq}{L Nc} \quad (2.4)$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L \tan \phi} \quad (2.5)$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad (2.6)$$

**Fuente:** Principios de Ingeniería de Cimentaciones BRAJA M DAS

### 2.5.2 Capacidad de Carga Admisible

La capacidad de carga admisible que soportan un suelo (**qa**); es conocida como la capacidad del suelo para soportar los esfuerzos cortantes dando un rango de seguridad, debido a las incertidumbres que se tiene en estos tipos de estudios. Un factor de seguridad considerable para suelos en nuestro medio es de 2,5 a 3; y para nuestro trabajo se consideró un factor de seguridad global de 3.

$$q_a = \frac{q_{ult}}{F_s} \quad (2.7)$$

**Donde:**

**qa** = capacidad admisible

**Fs** = Factor de seguridad (2-3)

#### 2.5.2.1 Comprobación de capacidad de soporte del suelo

El valor de esfuerzo de contacto (**qc**) debe ser menor que la capacidad admisible para considerar que el suelo no fallara por capacidad de carga.

$$q_c = \frac{\sum F}{A_c} + \gamma d * D_f \quad (2.8)$$

$$\text{Dónde: } q_{\text{contacto}} \leq q_a \quad (2.9)$$

## 2.6 Estado límite de Asentamientos

El estudio de los estados límites de servicio tienen una gran importancia desde la concepción que un asentamiento excesivo o diferencial pudiera producir daños en la estructura. Por lo que es imprescindible una vez calcular su capacidad de carga del suelo se haga una revisión del comportamiento del suelo por deformación volumétrica inmediata aplicada a la carga (inmediatos) y a lo largo (mediatos); porque es prácticamente inevitable que no se produzcan asentamientos. Los asentamientos son de dos tipos:

- Inmediatos
- De largo plazo

**Los asentamientos inmediatos:** como su nombre lo dicen alcanza su máximo asentamiento al aplicarse la carga y este lo conserva permanentemente. El hundimiento que causa las cargas no continúan aumentando a lo largo del tiempo, normalmente el asentamiento es pequeño y no tiene importancia.

**Los asentamientos a largo plazo:** están a cargo de las arcillas que alcanzan parte de su consolidación al momento de aplicar la carga, pero como son plásticas esta consolidación continua, cada vez más lentamente durante un largo periodo de tiempo. Las arcillas pueden tener asentamientos por desecación.

Es así que se tiene en una expresión general:

$$ST = Si + Sp + Ss \quad (2.10)$$

**Donde:**

**ST:** Asentamiento Total

**Si:** Asentamiento Inmediato

**Sp:** Asentamiento por consolidación primaria

**Ss:** Asentamiento por consolidación secundaria

### 2.6.1 Asentamiento inmediato

El asentamiento elástico de una cimentación superficial se estima usando la teoría de la elasticidad, aplicando la ley de Hooke. Teóricamente, si la profundidad de la cimentación  $D_f = 0$ ,  $H$  es infinito, y la cimentación es perfectamente flexible o rígida, de acuerdo con Harr (1996), el asentamiento se lo expresa como:

$$S_e = \frac{B \cdot q_0}{E_s} * (1 - U^2) * a \quad (2.11)$$

**Donde:**

**S<sub>e</sub>:** Asentamiento Inmediato

**B:** Ancho de cimentación

**q<sub>0</sub>:** Esfuerzo de contacto

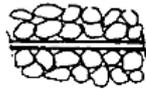
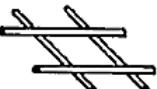
**E<sub>s</sub>:** Modulo de elasticidad del Suelo

**U:** Relación de Poisson del suelo

## 2.7 Mecanismo de interacción suelo - refuerzo

La propiedad mecánica de interacción entre el suelo y el elemento de refuerzo es el factor más importante para el diseño y funcionamiento de estructuras en suelo reforzado. La interacción depende del tipo de suelo, tipo de refuerzo y cómo interactúan una con otra, es la responsable principal de la transferencia de esfuerzos del suelo al refuerzo. El grado de interacción y el desarrollo del mecanismo de fallo es función de la forma del refuerzo, en la tabla 2.2 se muestran algunos de los principales mecanismos.

**Tabla 2.2– Mecanismo de Interacción (Marques, 1987)**

	Tipo de Refuerzo		Mecanismo	
			Fricción	Trabazón
Banda Lisa de Metal				
Banda Rugosa de Metal				
Geotextil				
Geomalla				

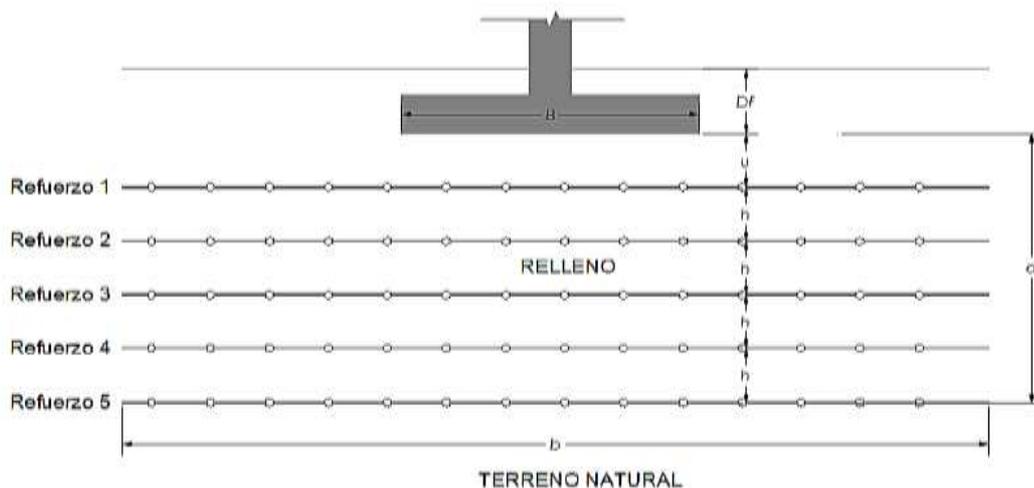
Cabe indicar que la fricción y trabazón no ocurren simultáneamente, para pequeños desplazamientos relativos entre el suelo y el refuerzo ocurre una movilización de la fricción en la interface. A medida que el desplazamiento relativo aumenta ocurre la movilización progresiva del empuje pasivo del suelo sobre los elementos transversales del refuerzo.

## 2.8 Carga de hundimiento CON REFUERZO.

La tecnología del refuerzo de suelos actualmente este bien posicionado dentro de la construcción de obras civiles tales como muros de contención, taludes, terraplenes, carreteras, vías, refuerzo de cimentaciones entre otros. El concepto empleado en la actualidad para el diseño de muros de suelos reforzados fue introducido por el ingeniero francés Henry Vidal (1966) y hasta la actualidad se han construido millones de muros y taludes de suelos reforzados en todo el mundo.

El primer estudio experimental reportado en la literatura fue realizado por Binquet y Lee (1975), para evaluar la capacidad portante en arenas reforzadas con tiras metálicas (láminas de aluminio). Desde los estudios realizados por Binquet y Lee han sido publicados una serie de ensayos en laboratorio mostrado las mejoras de la carga de hundimiento en cimentaciones superficiales reforzadas.

En el presente apartado se muestran algunas de las metodologías analíticas que se encuentran en la literatura y estudios experimentales realizados, se desarrollaron cálculos mediante las metodologías descritas en las cuales se puede evidenciar el mejoramiento de la capacidad portante del suelo, e incremento de la carga de hundimiento de una cimentación reforzada.



**Figura 2.3.-** Esquema de referencia de la cimentación reforzada

## 2.9 Mecanismo de refuerzo de una cimentación en diferentes tipos de suelos.

Los mecanismos de refuerzo propuestos para las soluciones analíticas pueden ser categorizados de la siguiente manera:

### 2.9.1 Efecto membrana (grandes deformaciones)

Este mecanismo se genera cuando la cimentación y el suelo que se encuentra por debajo se desplazan en dirección del sentido de la gravedad debido a la carga aplicada, a causa de esto el refuerzo se deforma y se tensiona. Para desarrollar el mecanismo del “*Efecto Membrana*” se necesita una cierta cantidad de deformación en el refuerzo y una longitud mínima para evitar que el refuerzo falle por arrancamiento. El primer estudio que aplicó este mecanismo en una metodología de cálculo para una cimentación corrida sobre una arena reforzada fue el de Binquet y Lee (1975).

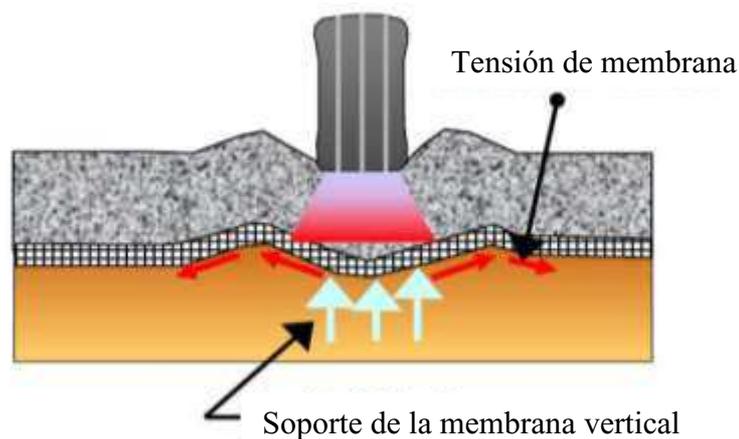
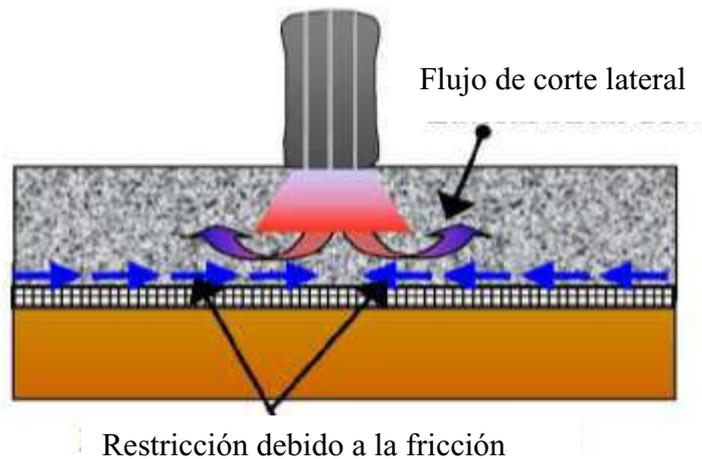


Figura 2.4.- Mecanismo de efecto membrana (Binquet, 1975)

### 2.9.2 Confinamiento lateral (pequeñas deformaciones)

Este mecanismo se genera debido a los desplazamientos relativos entre el refuerzo y el suelo, una fuerza de fricción y trabazón es generada en la interface suelo-refuerzo. Debido a este mecanismo la deformación lateral o deformación por tracción es reducida dando como resultado una reducción en las deformaciones verticales. Las primeras investigaciones realizadas consideraron como mecanismo principal el efecto membrana, pero investigaciones posteriores demostraron que se pueden obtener beneficios en el suelo reforzado sin llegar a tener grandes deformaciones.

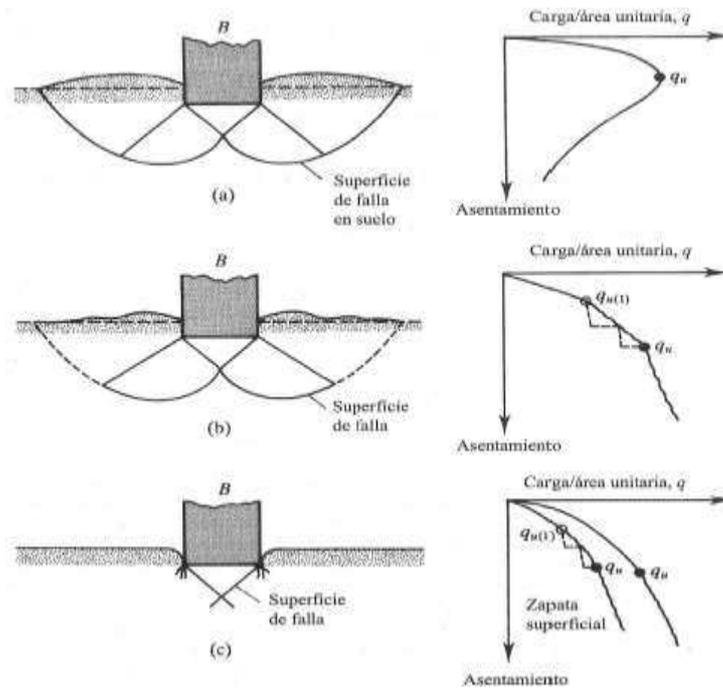


**Figura 2.5.-** Mecanismo de confinamiento lateral (Binquet, 1975)

### 2.9.3 Formas de rotura

Las ecuaciones teóricas de carga de hundimiento usadas de manera práctica están obtenidas usando el método de equilibrio límite. Prandtl (1920) demostró teóricamente que debajo de la cimentación cuando ésta es cargada verticalmente se forma una cuña de suelo. Terzaghi (1943) aplicó la teoría de Prandtl para determinar la carga de hundimiento para una cimentación superficial considerando que es continua, rígida, rugosa, cimentada sobre una capa de suelo homogénea y de gran espesor. El mecanismo de falla postulado por Terzagui (1943) y luego modificado por Vesic (1973) se muestra en la figura 2.6

Considerando que una cimentación descansa sobre una arena densa o un suelo cohesivo (Figura 2.6 a), si la carga se aplica gradualmente a la cimentación, el asentamiento se irá incrementando. Esto también se puede apreciar en la figura 2.6 a. En cierto punto cuando la carga por unidad de área es igual (**qu**), tendrá lugar una falla de manera repentina en el suelo que soporta la cimentación y se produce una superficie de rotura continua bajo la cimentación. A esta carga que genera esta rotura se denomina “carga de hundimiento de la cimentación”, y a este tipo de fallo repentino se denomina “Rotura general por corte”.



**Figura 2.6.-** Mecanismo de falla a) Rotura general por corte b) Rotura local por corte c) Falla de corte por punzonamiento (Vesic, 1973)

Si la cimentación descansa sobre un suelo arenoso o arcilloso, un incremento de carga también generará un aumento del asentamiento (Figura 2.6 b). Entonces se requiere un movimiento muy grande de la cimentación para que la superficie de rotura se extienda hasta la superficie del terreno (líneas discontinuas figura 2.6 b). La carga por unidad de área de la cimentación  $q_u(1)$ , se denomina carga primera de falla según Vesic (1963). No existe un valor máximo de  $q$  para este tipo de falla, la cual es denominada “Rotura local por corte”.

Por último, si la cimentación descansa sobre un suelo bastante suelto, en este caso la superficie de rotura no se extenderá hasta la superficie del terreno (Figura 2.6 c), un incremento de carga también generará un aumento del asentamiento, hasta que en determinado punto para una carga máxima ( $q_u$ ) los valores del asentamiento aumentarán sin necesidad de aumentar de carga, a este tipo de falla se le denomina “Falla de corte por punzonamiento”.

#### 2.9.4 El factor de seguridad

El cálculo de la capacidad de carga admisible total en cimentaciones superficiales requiere la aplicación de un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga total última:

$$q_{adm} = \frac{qu}{FS} \quad (2.12)$$

Sin embargo, algunos ingenieros en la práctica prefieren usar un factor de seguridad de:

$$\text{Incremento del esfuerzo neto sobre el suelo} = \frac{\text{Capacidad de carga última neta}}{FS} \quad (2.13)$$

La capacidad de carga última neta se definió como

$$q_{neta}(u) = qu - q \quad (2.14)$$

Sustituyendo esta ecuación en la (2.13) se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Incremento del esfuerzo neto sobre el suelo} &= \text{carga por la superestructura por área} \\ \text{unitaria de la cimentación} &= q_{neta}(adm) = \frac{qu - q}{FS} \end{aligned} \quad (2.15)$$

El factor de seguridad definido por la ecuación (2.15) debe ser por lo menos 3 en todos los casos. Un factor de seguridad adecuado debe usarse para calcular la capacidad de carga admisible neta. Para cimentaciones sobre arcilla, el factor de seguridad no debe ser menor que 3 bajo carga muerta y carga viva máxima. Sin embargo, bajo las condiciones más extremas, el factor de seguridad debe estar por lo menos entre 1.75 y 2. Para cimentaciones construidas sobre arena, normalmente debe usarse un factor de seguridad de 3.

## 2.10 Metodologías analíticas para reforzamiento del suelo con Geosintéticos

Durante los últimos 30 años, el uso de suelos reforzados para mejorar la capacidad portante de cimentaciones superficiales ha sido un tema de bastante interés. Muchos estudios experimentales, numéricos y analíticos se han desarrollado para investigar el comportamiento del suelo reforzado para diferentes tipos de suelos (por ejemplo, Biquet y Lee 1975, Huang y Tatsuoka 1990, Kurian et al 1997).

El primer estudio experimental fue realizado por Biquet y Lee (1975), para evaluar la capacidad portante en arenas reforzadas con tiras metálicas.

El problema actual es que no existe una metodología de cálculo única. A continuación, se muestra algunas de las metodologías analíticas que se encuentran en la literatura y estudios experimentales realizados para determinar los parámetros

y variables que contribuyen directamente al mejoramiento de la capacidad portante y admisible del suelo e incremento de la carga de hundimiento.

### 2.10.1 Estudios en modelos

Durante los últimos años se ha realizado numerosos estudios de cimentaciones reforzadas tanto en modelos a escala, así como estudios en modelos numéricos. Según Amarante (2010) se han realizado más de 37 principales estudios la mayoría de los cuales destinados a conocer los parámetros que intervienen en el mejoramiento de la carga de hundimiento de una cimentación con refuerzos.

En el presente apartado se presenta algunos de los principales estudios realizados:

### 2.10.2 Binquet y Lee (1975)

Binquet y Lee (1975) fueron los precursores en el estudio del refuerzo de cimentaciones, introdujeron el concepto de BCR (Bearing Capacity Ratio) la cual es obtenida mediante la relación entre la carga de hundimiento de la cimentación reforzada entre la no reforzada para un mismo nivel de asentamiento:

$$BCR = \frac{q \text{ reforzado}}{q \text{ sin refuerzo}} \quad (2.16)$$

En el estudio desarrollado por Binquet y Lee (1975) se realizaron un total de 65 ensayos simulando las siguientes condiciones:

- Camada de arena homogénea de gran espesor.
- Camada de arena sobre arcilla.
- Camada de arena sobre una cavidad.

En los ensayos realizados los autores estudiaron la influencia que existe entre el espaciamiento que existe entre el nivel de cimentación y el primer refuerzo, así como el espaciamiento entre refuerzos en la mejora de la carga de hundimiento.

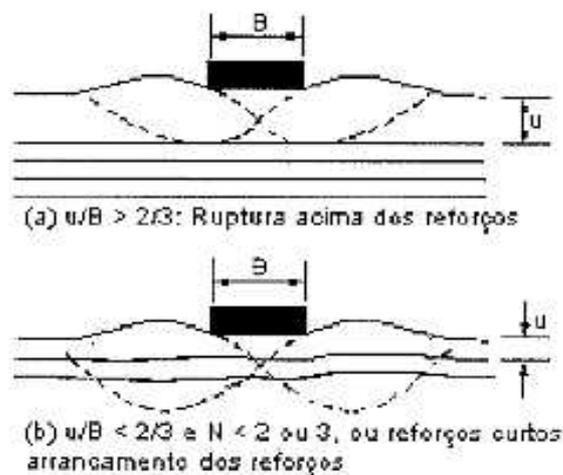
De los ensayos que realizaron, los autores verificaron que para pequeñas deformaciones ( $\delta/B=3\%$ ) la posición del primer refuerzo no influye en el mejoramiento de la carga de hundimiento, pero para deformaciones mayores cuanto más distante este el primer refuerzo de la cimentación menor será el valor del BCR obtenido, incluso llegando a ser igual a 1.0.

Binquet y Lee (1975) identificaron 3 principales mecanismos de falla en cimentaciones reforzadas, estos mecanismos dependen de la posición, espaciamiento de los refuerzos, número y longitud de los refuerzos.

- El primer mecanismo de falla se produce por una superficie de rotura entre la base la cimentación y el primer refuerzo, se debe principalmente por dos motivos uno cuando la relación entre la posición del primer refuerzo (**u**) y el ancho de la cimentación (**B**) es superior a 0.67, el segundo motivo es cuando la rigidez y longitud de este refuerzo son lo suficientemente grandes y generan una zona rígida.

- El segundo mecanismo de falla se produce por el arrancamiento de los refuerzos, ocurre cuando **u/B** es menor a 0.67 pero la cantidad de refuerzos es menor a 3 y su longitud es muy corta.

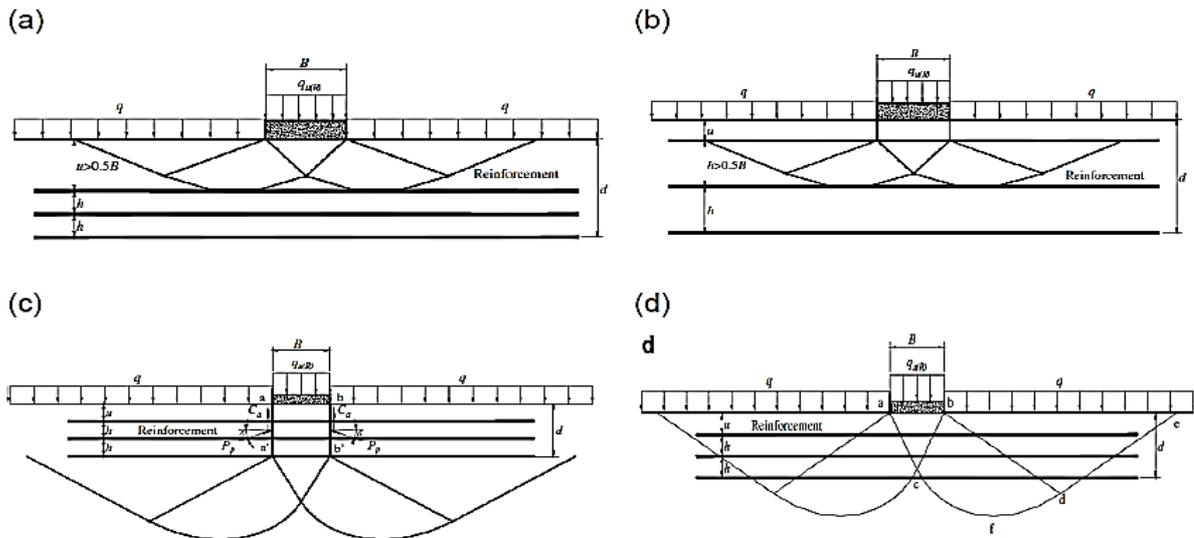
- El tercer mecanismo de falla se produce por la rotura de los refuerzos y ocurre para la condición de **u/B < 0.67** pero el número de refuerzos mayor a 3.



**Figura 2.8.-** Mecanismo de rotura (Binquet y Lee, 1975)

### 2.10.3 Método de Sharma et al (2009)

La metodología propuesta por Sharma et al (2009) está basada en la compilación de diversos métodos analíticos, ensayos a escala reducida y a escala real. El autor propone un método donde se puede incluir la resistencia a la tracción de los refuerzos considerando la deformación aproximada a la que pueden estar sujetos. Basados en la literatura y en resultados de estudios experimentales Chen (2007) y Abu-Farsakh et al (2008) existen 4 mecanismos de falla:



**Figura 2.9** – Mecanismo de falla de una cimentación reforzada (Sharm et al, 2008)

Los dos primeros mecanismos pueden ser evitados manteniendo pequeños los valores del espaciamiento del primer refuerzo ( $u$ ) y entre refuerzos ( $h$ ). El método desarrollado por Sharma et al (2008) está basado en mecanismos (c y d, figura 2.9). A diferencia de la metodología de Binquet y Lee (1975) y Wayne et al (1998) donde ellos consideran que la resistencia a la tracción desarrollada en el refuerzo tiene una orientación vertical, Sharma et al (2009) basados en la observación de los resultados de sus ensayos a escala consideran que la orientación de los refuerzos es casi horizontal debido a que no existe una gran deformación en los refuerzos para que la orientación sea vertical.

**Tabla 2.3.-** Parámetros óptimos (Abu – Farsakh et al, 2008)

Relación	Arcilla	Arena
$u/B$	0.33	0.33
$d/B$	1.25 - 1.5	1.25
$h/B$	No	No
$l/B$	4 - 6	6

**Donde:**

**u:** Distancia entre el nivel de base de la cimentación y el primer refuerzo

**d:** Profundidad del mejoramiento

**h:** Espaciamiento entre refuerzos

**l:** Ancho total de los refuerzos

## 2.11 Aplicación en Terrenos Arenosos

En el presente apartado se analiza la metodología de refuerzo de cimentaciones corridas en terrenos arenosos, como es la metodología de Huang y Menq (1997) que se describe a continuación:

### 2.11.1 Método de Huang y Menq (1997)

Huang y Menq (1997) propusieron una metodología tentativa para el cálculo de la carga de hundimiento de una cimentación corrida sobre un suelo arenoso reforzado con geomallas, ésta metodología está basada en el mecanismo de cimentación profunda (figura 2.10)

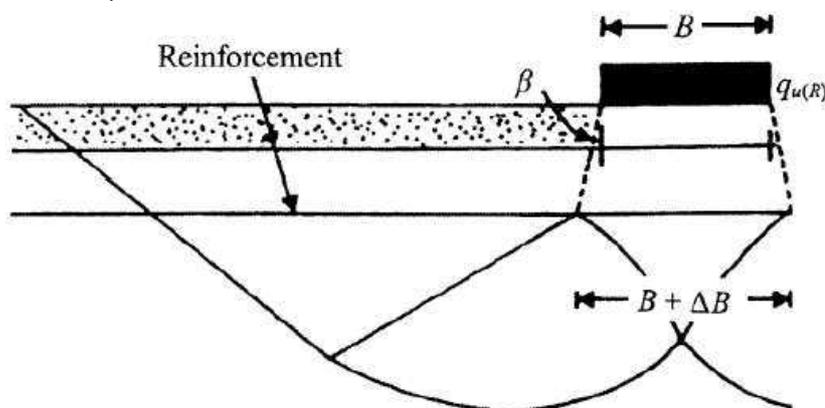


Figura 2.10.- Mecanismo de Cimentación Profunda

La ecuación de carga de hundimiento de la cimentación reforzada es:

$$q_{ult} = 0,5 (B+AB) \gamma N_{\gamma} + \gamma (Df + d) N_q \quad (2.17)$$

Donde:

$$AB = 2 d \tan\beta \quad (2.18)$$

$$\tan\beta = 0,68 - 2,0701 \frac{h}{B} + 0,743 CR + 0,03 \frac{b}{B} \quad (2.19)$$

El valor de CR es el radio de cobertura de la geomalla y es igual a la relación entre el ancho de una costilla (w) y el espaciamiento entre costillas (W).

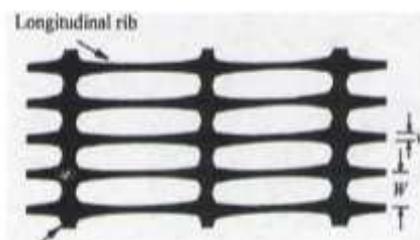


Figura 2.11.- Geometría de una Geomalla.

La ecuación 2.15 es válida para las siguientes condiciones:

$$0 \leq \tan \beta \leq 1 \quad (2.17) \quad 1 \leq \frac{b}{B} \leq 10 \quad (2.20)$$

$$0,10 \leq \frac{h}{B} \leq 0,5 \quad (2.18) \quad 1 \leq N \leq 5 \quad (2.21)$$

$$0,02 \leq CR \leq 1,0 \quad (2.19) \quad 0,3 \leq \frac{d}{B} \leq 2,5 \quad (2.22)$$

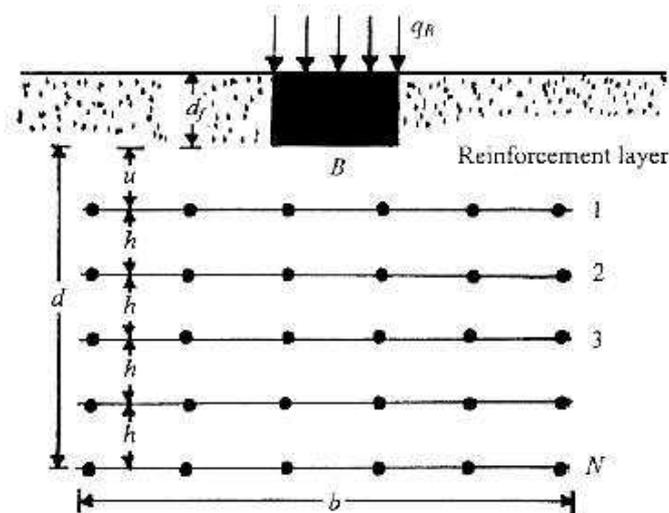
Se deduce de acuerdo a la ecuación que la relación  $h/B$  influye en el cálculo del ángulo  $\beta$ ,  $CR$  no influye y la relación  $b/B$  es de poca importancia.

## 2.12 Aplicación en Terrenos Arcillosos

En el presente apartado se ha considerado la metodología de Das et al (1996), es una metodología que está basada en ensayos a escala, por lo que el valor del BCR debe de ser determinado con anterioridad realizando éstos ensayos y a partir de ello calcular la carga de hundimiento de la cimentación.

### 2.12.1 Método de Das et al (1996)

La metodología propuesta por Das et al (1996) es un método empírico desarrollado a partir de ensayos de laboratorio de cimentaciones corridas apoyadas sobre suelos arcillosos reforzados con geosintéticos. Los autores incluyen dentro de la ecuación de la carga de hundimiento última coeficientes que están en función del posicionamiento de los refuerzos.



**Figura 2.12.** – Descripción geométrica de la cimentación reforzada (Das et al, 1996)

La ecuación de carga de hundimiento de la cimentación reforzada es:

$$q_u (R) = C_u N_c (BCRu) \alpha_u * \alpha_b * \alpha_d * \alpha_h + \gamma (D_f) \quad (2.23)$$

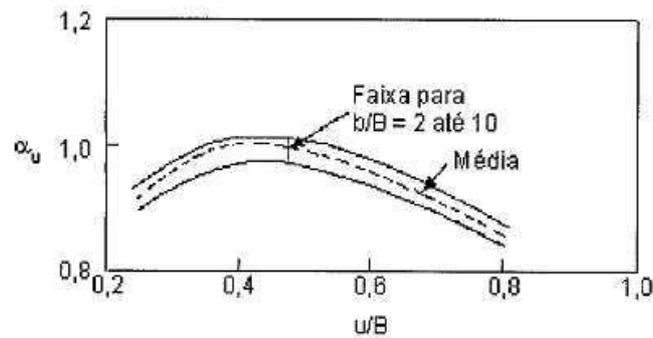


Figura 2.13.- Grafica para la obtención del coeficiente  $\alpha_u$  (Das et al, 1996)

**Condiciones:**

$$\alpha_b = 0,0625 \frac{b}{B} + 0,75 \text{ para } \frac{b}{B} \leq 4 \quad (2.24)$$

$$\alpha_d = 0,2 \frac{d}{B} + 0,70 \text{ para } \frac{d}{B} \leq 1,4 \quad (2.25)$$

$$\alpha_d = 0,057 \frac{d}{B} + 0,90 \text{ para } 1,4 \leq \frac{d}{B} \leq 1,75 \quad (2.26)$$

$$\alpha_h = 1,1 - 0,45 \frac{h}{B} \text{ para } \frac{h}{B} \leq 0,8 \quad (2.27)$$

$$BCRu = \frac{BCRu}{0,78} \quad (2.28)$$

Los suelos en general poseen elevada resistencia a los esfuerzos de compresión pero baja resistencia a los esfuerzos de tracción. Cuando una masa de suelo es cargada verticalmente, esta sufre deformaciones verticales de compresión y deformaciones laterales de tracción. Sin embargo, como se puede observar en la figura 2.10, si una masa de suelo estuviese reforzada los movimientos laterales de tracción son limitados por la deformabilidad del refuerzo.

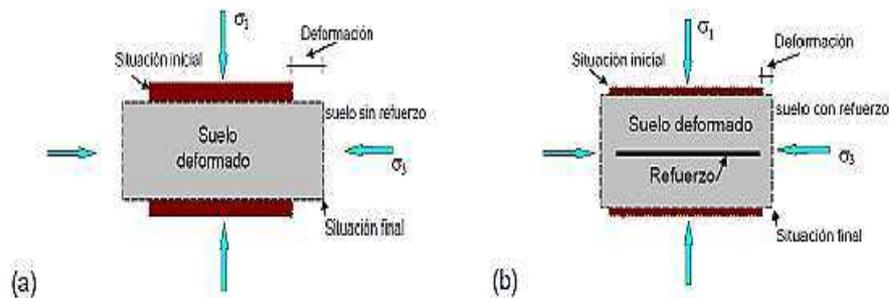


Figura 2.14.- Deformaciones en masa de suelo a) Sin Refuerzo; b) Con Refuerzo (Abramento, 1998)

## **2.13 Uso del Software SAP 2000**

SAP 2000 es un programa sofisticado y de fácil manejo desarrollado por CSI. La versión de SAP está integrada completamente con Microsoft Windows. Los resultados obtenidos en el software representados en una tabla, se lo caracterizo por el tipo de suelo analizado, la profundidad de los ensayos, de igual manera calcular los esfuerzos y asentamientos producidos por las cargas, ya que se analiza el reforzado con Geosintéticos y después de reforzada con varias capas de Geotextil, mediante el software, donde se diseñó y se obtuvieron los resultados de refuerzo. A través de una misma interface es posible crear y modificar un modelo, ejecutar el análisis del mismo, así como revisar y optimizar el diseño de cada elemento. Los resultados se presentan de una manera gráfica en tiempo real. Posee una rápida solución de ecuaciones, esfuerzos y desplazamientos inducidos por cargas, ofrece la facilidad de fusionar mallas de elementos independientes.

### **2.13.1 Pasos para el Análisis mediante Elementos Finitos:**

**1. Modelado de la estructura:** La estructura es dividida en una cantidad finita de elementos, con ayuda de un preprocesador. Este paso es uno de los más cruciales para obtener una solución exacta del problema, de esta forma, determinar el tamaño o la cantidad de elementos en cierta área o volumen del elemento a analizar representa una ventaja del método, pero a la vez implica que el usuario debe estar consciente de esto para no generar cálculos innecesarios o soluciones erróneas.

**2. Definir las propiedades del elemento:** En este paso el usuario debe definir las propiedades del elemento.

**3. Ensamblar las matrices de rigidez de los elementos:** La matriz de rigidez de un elemento, consiste de coeficientes que pueden ser derivados del equilibrio, o métodos de energía. La matriz de rigidez del elemento se refiere a los desplazamientos nodales al ser aplicadas fuerzas en los nodos. El ensamble de las matrices de rigidez, implica la aplicación de equilibrio para toda la estructura.

**4. Aplicación de las cargas:** Fuerzas externas concentradas o fuerzas uniformes y momentos son especificados en este paso.

**5. Definir las condiciones de apoyo:** Las condiciones de apoyo deben ser dadas, por ejemplo, si el desplazamiento de ciertos nodos es conocido. Usando los elementos de la frontera se pueden determinar las reacciones en los mismos.

**6. Solucionar el sistema de ecuaciones algebraicas lineales:**

La secuencial aplicación de los pasos descritos, conduce a un sistema de ecuaciones algebraicas simultáneas, donde los desplazamientos nodales son desconocidos.

**7. Calcular los esfuerzos y asentamientos:** El usuario puede calcular los esfuerzos, reacciones, deformaciones y asentamientos generados por las cargas.

### 3. CAPÍTULO III

## RESULTADOS Y PROPUESTA

### 3.1 Procedimiento de cálculo de una cimentación reforzada con Geosintéticos.

#### 3.1.1 Generalidades

La presente investigación evalúa los procedimientos de diseño y cálculo para el reforzamiento del suelo de una cimentación con la aplicación de Geotextil y Geomalla, implementando diferentes metodologías de cálculo analizadas en el capítulo anterior, donde se calcula la capacidad portante, admisible del suelo y asentamientos producidos por las cargas, para posteriormente comparar los resultados obtenidos en una zapata corrida sin y con refuerzo de geosintéticos y de esta manera establecer los costos y beneficios que se pueden obtener.

Como ejemplo y explicación de cálculo, se analiza una cimentación superficial (zapata corrida), cimentada a 1 m de profundidad, la cual cuenta con un área de 2,00 m de ancho y por 10,00 m de largo, con una carga uniformemente distribuida de  $100 \text{ KN/m}^2$ , equivalente a tener una edificación de 5 plantas, la misma que se analiza sobre diferentes tipos de suelo como **Arena-Limosa (SM)** y **Arcilla-Arenosa (CL)**, para reforzar el suelo se implementan hasta cinco capas de Geosintéticos para evaluar su comportamiento con el suelo.

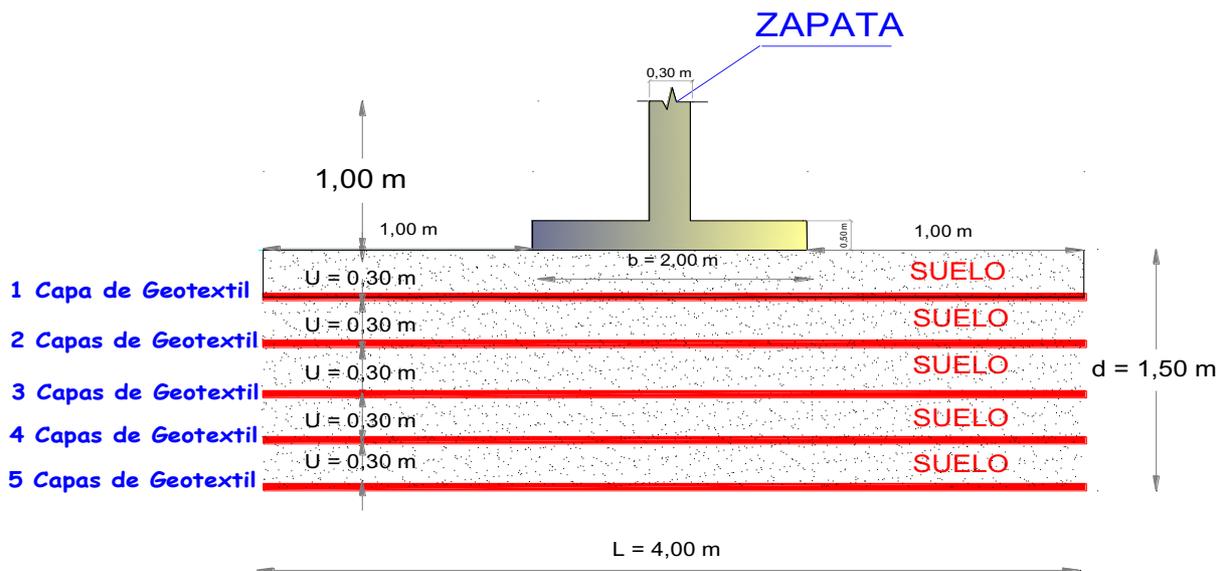


Figura 3.1.- Esquema referencial de la cimentación reforzada

El refuerzo se realizó mediante la utilización de **Geotextiles Tejidos y Geomallas Biaxiales**, los cuales se colocaron hasta 5 capas de geosintéticos con una separación de cada 30 cm hasta alcanzar un nivel de 1.50 m, de esta manera poder llegar a un diseño óptimo.

A continuación, se presenta los pasos que se debe seguir para el correcto diseño de una cimentación corrida reforzada con geotextil y geomalla, la misma que se realizó aplicando diferentes metodologías de refuerzo, teoremas y gráficas.

Para el cálculo se utilizan las características del suelo, las cuales se indican en la tabla 3.1, para un tipo de suelo Arcilla-Arenosa (CL), mismas que se refuerza con Geotextil Tejido, donde los parámetros del suelo como peso específico, ángulo de fricción, módulo de elasticidad, y coeficiente de Poisson, fueron tomados a partir de los parámetros de los ensayos de suelos (SPT) y tipo de suelo presente en la Parroquia Tarqui (Ver Tabla A, B y B1 de Anexos)

**Tabla 3.1** .- Propiedades de los materiales empleados para el análisis.

SUELO (CL)	GEOTEXTIL DE REFUERZO
$\gamma = 17.46 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 1.145 \text{ KN/m}^3$
$\phi = 25$	$t = 1,15 \text{ mm}$
$E_s = 6 \text{ MPa} = 6000 \text{ KN/m}^2$	$E_s = 1500000 \text{ KN/m}^2$
$\mu = 0.45$	$\mu = 0.2$
$C = 50 \text{ KN/m}^2$	

**Donde:**

$\gamma$  = Peso Específico del suelo

$\phi$  = Ángulo de Fricción

$E_s$  = Módulo de elasticidad del suelo

$\mu$  = Coeficiente de Poisson

$C$  = Cohesión del Suelo

$t$  = Espesor del geotextil

**Tabla 3.2.-** Factores de capacidad de soporte para las ecuaciones de Meyerhof, Hansen, y Vesic. **Fuente:** BRAJA M DAS

$\phi$ deg.	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_{\gamma(M)}$	$N_{\gamma(V)}$
0	5.14	1.0	0.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	1.1	2.6
20	14.83	6.4	2.9	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	8.0	12.5
28	25.79	14.7	10.9	11.2	16.7
30	30.13	18.4	15.1	15.7	22.4
32	35.47	23.2	20.8	22.0	30.2
34	42.14	29.4	28.7	31.1	41.0
36	50.55	37.7	40.0	44.4	56.2
38	61.31	48.9	56.1	64.0	77.9
40	75.25	64.1	79.4	93.6	109.3
45	133.73	134.7	200.5	262.3	271.3
50	266.50	318.5	567.4	871.7	761.3

De la tabla 3.2 se toma los valores para un Ángulo de fricción  $\phi = 25$

Del cual tenemos:  $N_c = 20,71$ ;  $N_q = 10,7$ ;  $N_\gamma = 6,8$

Factores extraídos según Vesic.

### 3.2 Desarrollo del cálculo en un tipo de suelo Arcilla-Arenosa de Mediana plasticidad (CL)

**Tabla 3.3.-** Dimensionamiento de la zapata corrida propuesta para el análisis

	DIMENSIÓN	UNIDADES
B	2	m
L	10	m
Df	1	m
AH	0,3	m
N	5	

**Donde:**

**B:** Ancho de la zapata

**L:** Longitud larga de la zapata

**Df:** Profundidad de desplante

**AH:** Espesor entre las capas de refuerzo

**N:** Número de las capas de refuerzo

**Nota:** Se tomará en consideración hasta 5 capas de refuerzo para el análisis.

### 3.2.1 Cálculo de Capacidad Última de una cimentación SIN REFUERZO en un suelo Arcilla-Arenosa de Mediana plasticidad (CL)

- Ecuación de Capacidad de carga MEYERHOF

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

### 3.2.2 Cálculo de los parámetros (Factores de Profundidad y de Forma)

Factores de Profundidad:

$$- d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D_f}{B} = 1 + 2 \tan 25 (1 - \sin 25)^2 \left(\frac{1}{2}\right) = 1,16$$

$$- d_c = 1 + 0,4 \frac{D_f}{B} = 1 + 0,4 \frac{1}{2} = 1,2$$

$$- d_\gamma = 1 \text{ (Profundidad de desplante)}$$

Factores de Forma:

$$- S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c} = 1 + \frac{2 * 10,7}{10 * 20,71} = 1,10$$

$$- S_q = 1 + \frac{B}{L \tan \phi} = 1 + \frac{2}{10 * \tan 25} = 1,43$$

$$- S_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L} = 1 - 0,4 \frac{2}{10} = 0,92$$

Tabla 3.4.- Valores obtenidos de los factores de forma y profundidad para el analisis

$d_c = 1,2$	$S_c = 1,10$	$B = 2 \text{ m}$
$d_q = 1,16$	$S_q = 1,43$	$D_f = 1,00 \text{ m}$
$d_\gamma = 1$	$S_\gamma = 0,92$	$q = \gamma * D = 17,46 \text{ KN/m}^3$
$C = 50 \text{ KN/m}^2$	$\gamma = 17,46 \text{ KN/m}^3$	

Por lo que la capacidad de soporte ultima del suelo es:

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$q_{ult} = 50 \text{ KN/m}^2 (20,71) (1,10) (1,20) + 17,46 \text{ KN/m}^3 (10,7) (1,16) + 0,5 (17,46 \text{ KN/m}^3) (2\text{m}) (6,8) (0,92) (1)$$

$$q_{ult} = 1366,9 \text{ KN/m}^2 + 216,71 \text{ KN/m}^2 + 109,23 \text{ KN/m}^2 = 1692,8 \text{ KN/m}^2$$

### 3.2.3 Cálculo de capacidad de carga admisible

Un factor de seguridad considerable para suelos en nuestro medio es de 2,5 a 3; para nuestro trabajo consideramos ( $F_s = 3$ ) sugerido por (Braja M Das, 1985).

Entonces:

$$q_a = \frac{q_{ult}}{F_s}$$

$$q_a = \frac{1692,8 \text{ KN/m}^2}{3} = 564,266 \text{ KN/m}^2$$

### 3.2.4 Comprobación de capacidad de soporte del suelo

$$q_c = \frac{\sum F}{A_c} + \gamma d * D_f = \frac{10000}{20} + 17,46 \text{ KN/m}^3 (1 \text{ m}) = 517,46 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{\text{contacto}} \leq q_a$$

$$517,46 \text{ KN/m}^2 < 564,266 \text{ KN/m}^2 \quad (\text{CUMPLE})$$

Donde:

$$\sum F = 1000 \text{ KN/m}^2 \text{ de carga inicial que se aplica a la cimentacion}$$

$$A_c = \text{Área de contacto} = L * B = 10 (2) = 20\text{m}$$

### 3.2.5 Cálculo de Asentamiento

$$S_e = \frac{B * q_c}{E_s} * (1 - U^2) * \alpha$$

$$S_e = \frac{2 \text{ m} * 517,46 \text{ KN/m}^2}{6000 \text{ KN/m}^2} * (1 - 0,45^2) * 1,7 = 0,234 \text{ m}$$

Donde:

$$\alpha = 1,7 \text{ (para cimentación rígida)}$$

### 3.2.4 Cálculo de capacidad ultima de una cimentación CON REFUERZO de Geotextil Tejido para un suelo Arcilla-Arenosa de Mediana plasticidad (CL)

De igual manera que una cimentación sin refuerzo, se considerara una falla de tipo general por capacidad, y tomando las propiedades características del subsuelo a

nivel de refuerzo, debido a que los esfuerzos se transmiten y se reparten uniformemente a una nueva zona de aplicación de análisis.

De las ecuaciones y deducciones presentadas en el anterior capítulo, la capacidad de cargas a 1,50 m de profundidad de desplante a nivel del refuerzo es la siguiente:

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

**Tabla 3.5.-** Valores obtenidos de los factores de forma y profundidad para el análisis de refuerzo del suelo con Geotextil

<b>d<sub>c</sub> = 1,2</b>	<b>S<sub>c</sub> = 1,10</b>	<b>B = 6 m</b>
<b>d<sub>q</sub> = 1,16</b>	<b>S<sub>q</sub> = 1,43</b>	<b>D<sub>f</sub> = 1,00 m</b>
<b>d<sub>γ</sub> = 1</b>	<b>S<sub>γ</sub> = 0,92</b>	<b>q = γ * D = 26,19 KN/m<sup>3</sup></b>
<b>C = 50 KN/m<sup>2</sup></b>	<b>γ = 17,46 KN/m<sup>3</sup></b>	

Podemos observar que el valor de B ahora es el ancho del elemento de refuerzo igual a 6,00 m, y que el valor de esfuerzo efectivo a nivel de refuerzo sube de 17,46 KN/m<sup>2</sup> a 26,19 KN/m<sup>3</sup>.

Por lo que la Capacidad de soporte última del suelo a 1,5 m reforzada con Geotextil Tejido es:

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + 0,5\gamma * B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$q_{ult} = 50 \text{ KN/m}^2 (20,71) (1,10) (1,20) + 26,19 \text{ KN/m}^3 (10,7) (1,16) + 0,5 (17,46 \text{ KN/m}^3) (6 \text{ m}) (6,8) (0,92) (1)$$

$$q_{ult} = 1366,86 \text{ KN/m}^2 + 325,07 \text{ KN/m}^2 + 327,69 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{2019,62 \text{ KN/m}^2}$$

### 3.2.5 Cálculo de capacidad de carga admisible

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FS}$$

$$q_a = \frac{2019,62 \text{ KN/m}^2}{3} = \mathbf{673,206 \text{ KN/m}^2}$$

### 3.2.6 Comprobación de Capacidad de soporte del suelo

$$q_c = \frac{\sum F}{A_c} + \gamma d * D_f = \frac{10000}{84} + 17,46 \text{ KN/m}^3 (1,5 \text{ m}) = 145,24 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{\text{contacto}} \leq q_a$$

$$145,24 \text{ KN/m}^2 < 673,206 \text{ KN/m}^2 \text{ ( CUMPLE )}$$

Donde:

$$\sum F = 1000 \text{ KN/m}^2 \text{ de carga inicial que se aplica a la cimentacion}$$

$$A_c = \text{Área de contacto} = L * B = 14 (6) = 48\text{m}$$

### 3.2.7 Cálculo de Asentamiento

$$S_e = \frac{B * q_o}{E_s} * (1 - U^2) * \alpha$$

$$S_e = \frac{6 \text{ m} * 145,24 \text{ KN/m}^2}{6000 \text{ KN/m}^2} * (1 - 0,45^2) * 1,7 = \mathbf{0,19 \text{ m}}$$

**Tabla 3.6** .- Resultados de capacidad portante, admisible del suelo sin y con refuerzo de Geotextil

#### METODOLOGIA DE MEYERHOF (BRAJA M DAS)

Reforzamiento del suelo con Geotextil Tejido en un suelo Arcilla-Arenosa (CL)

N° DE CAPAS	PROFUND. (m)	GEOSINTÉT. UTILIZADO	CONDICIÓN	CAPAC. PORTANTE (kN/m <sup>2</sup> )	CAPAC. ADMISIBLE (kN/m <sup>2</sup> )	% DE REFORZAMIENTO DEL SUELO
-	1,50 m	GEOTEXTIL	SIN REFUERZO	<b>1692,80</b>	<b>564,27</b>	-
<b>1</b>	0,30 m	GEOTEXTIL	<b>CON REFUERZO</b>	1759,56	586,52	3,94
<b>2</b>	0,60 m	GEOTEXTIL	<b>CON REFUERZO</b>	1824,58	608,19	7,78
<b>3</b>	0,90 m	GEOTEXTIL	<b>CON REFUERZO</b>	1889,59	629,86	11,62
<b>4</b>	1,20 m	GEOTEXTIL	<b>CON REFUERZO</b>	1954,61	651,54	15,47
<b>5</b>	1,50 m	GEOTEXTIL	<b>CON REFUERZO</b>	<b>2019,62</b>	<b>673,21</b>	<b>19,31</b>

Se puede observar en la tabla 3.6 que la capacidad portante y admisible del suelo mejora relativamente a medida que se refuerza la cimentación con diferentes números de capas de Geotextil. En resumen, en una cimentación de zapata corrida reforzada con 5 capas de Geotextil espaciada cada 30 cm se tiene una capacidad portante de **2019,62 (kN/m<sup>2</sup>)** por lo tanto el suelo mejora en un **19,31%** con respecto a la cimentación sin ningún tipo refuerzo. De igual manera el asentamiento generado por las cargas es de 0,234 sin refuerzos y desciende a 0,19 m con refuerzo de Geotextil mejorando en un **23,14%**.

### 3.3 Cálculo de Capacidad Última de una cimentación SIN REFUERZO en suelo Arena-Limosa No Plástica (SM)

Los parámetros del suelo como peso específico, ángulo de fricción, módulo de elasticidad, y coeficiente de Poisson, fueron tomados de los parámetros de los ensayos de suelos (SPT) de la Parroquia Tarqui (Ver Tabla A, B y B1 de Anexos)

**Tabla 3.7 .-** Propiedades de los materiales empleados para el análisis.

SUELO (SM)	GEOTEXTIL DE REFUERZO
$\gamma = 15.70 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 1.55 \text{ KN/m}^3$
$\phi = 33$	$t = 1,15 \text{ mm}$
$E_s = 4 \text{ MPa} = 4000 \text{ KN/m}^2$	$E_s = 1500000 \text{ KN/m}^2$
$\mu = 0.28$	$\mu = 0.2$
$C = 20 \text{ KN/ m}^2$	

**Donde:**

$\gamma$  = Peso Específico

$\phi$  = Ángulo de Fricción

$E_s$  = Módulo de elasticidad en las Arcillas.

$\mu$  = Coeficiente de Poisson

$C$  = Cohesión del Suelo

$t$  = Espesor del geosintético.

**Tabla 3.8.-** Factores de capacidad de soporte para las ecuaciones de Meyerhof, Hansen, y Vesic. **Fuente:** BRAJA M DAS

$\phi$ deg.	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_{\gamma(M)}$	$N_{\gamma(V)}$
0	5.14	1.0	0.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	1.1	2.6
20	14.83	6.4	2.9	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	8.0	12.5
28	25.79	14.7	10.9	11.2	16.7
30	30.13	18.4	15.1	15.7	22.4
32	35.47	23.2	20.8	22.0	30.2
34	42.14	29.4	28.7	31.1	41.0
36	50.55	37.7	40.0	44.4	56.2
38	61.31	48.9	56.1	64.0	77.9
40	75.25	64.1	79.4	93.6	109.3
45	133.73	134.7	200.5	262.3	271.3
50	266.50	318.5	567.4	871.7	761.3

De la tabla 3.8 se toma los valores para un Ángulo de fricción  $\phi = 33$

Tenemos:  $N_c = 38,805$ ;  $N_q = 26,3$ ;  $N_\gamma = 24,75$

### 3.3.1 Desarrollo del cálculo.

**Tabla 3.9.-** Dimensionamiento de la zapata corrida propuesta para el análisis

	DIMENSIÓN	UNIDADES
B	2	m
L	10	m
Df	1	m
AH	0,3	m
N	5	

**Donde:**

**B:** Ancho de la zapata

**Df:** Profundidad de desplante

**AH:** Espesor de las capas de refuerzo

**N:** Número de las capas de refuerzo

**Nota:** Se tomará en consideración 5 capas de refuerzo para el analisis

#### - Ecuación de Capacidad de carga MEYERHOF

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

### 3.3.2 Cálculo de los parámetros (Factores de Forma y Profundidad)

#### Factores de Profundidad:

$$- d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D_f}{B} = 1 + 2 \tan 33 (1 - \sin 33)^2 \left(\frac{1}{2}\right) = 1,13$$

$$- d_c = 1 + 0,4 \frac{D_f}{B} = 1 + 0,4 \frac{1}{2} = 1,2$$

$$- d_y = 1 \text{ (Profundidad de desplante)}$$

#### Factores de Forma:

$$- S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c} = 1 + \frac{2 * 26,3}{10 * 38,8} = 1,135$$

$$- S_q = 1 + \frac{B}{L \tan \phi} = 1 + \frac{2}{10 * \tan 33} = 1,30$$

$$- S_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L} = 1 - 0,4 \frac{2}{10} = 0,92$$

**Tabla 3.10.-** Valores obtenidos de los factores de forma y profundidad para el analisis

$d_c = 1,2$	$S_c = 1,135$	$B = 2 \text{ m}$
$d_q = 1,13$	$S_q = 1,30$	$D_f = 1,00 \text{ m}$
$d_y = 1$	$S_\gamma = 0,92$	$q = \gamma * D = 15,70 \text{ KN/m}^3$
$C = 50 \text{ KN/m}^2$	$\gamma = 15,70 \text{ KN/m}^3$	

Por lo que la capacidad de soporte ultima del suelo sin refuerzo es:

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B N_\gamma S_\gamma d_y$$

$$q_{ult} = 20 \text{ KN/m}^2 (38,8) (1,20) (1,135) + 15,70 \text{ KN/m}^3 (26,3) (1,13) + 0,5 (15,70 \text{ KN/m}^3) (2\text{m}) (24,75) (0,92) (1)$$

$$q_{ult} = 1056,91 \text{ KN/m}^2 + 466,5 \text{ KN/m}^2 + 357,49 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{1881,00 \text{ KN/m}^2}$$

### 3.3.3 Cálculo de capacidad de carga admisible

Un factor de seguridad considerable para suelos en nuestro medio es de 2,5 a 3; para nuestro trabajo consideramos ( $F_s = 3$ ) sugerido por (Braja M Das, 1985).

Entonces:

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FS}$$

$$q_a = \frac{= 1881,00 \text{ kN/m}^2}{3} = 627,00 \text{ KN/m}^2$$

### 3.3.4 Comprobación de Capacidad de soporte del suelo

$$q_c = \frac{\sum F}{A_c} + \gamma d * Df = \frac{10000}{20} + 15,70 \text{ KN/m}^3 (1 \text{ m}) = 515,70 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{\text{contacto}} \leq q_a$$

$$515,70 \text{ KN/m}^2 < 627,00 \text{ KN/m}^2 \quad (\text{CUMPLE})$$

Donde:

$$\sum F = 1000 \text{ KN/m}^2 \text{ de carga inicial que se aplica a la cimentacion}$$

$$A_c = \text{Área de contacto} = L * B = 10 (2) = 20\text{m}$$

### 3.3.5 Cálculo de Asentamiento

$$S_e = \frac{B * q_o}{E_s} * (1 - U^2) * \alpha$$

$$S_e = \frac{2 \text{ m} * 515,70 \text{ KN/m}^2}{4000 \text{ KN/m}^2} * (1 - 0,28^2) * 1,7 = 0,403 \text{ m}$$

### 3.3.6 Cálculo de capacidad última de una cimentación CON REFUERZO de Geomalla para suelo Arena-Limosa No Plástica (SM)

Tomando como ejemplo una cimentación con elementos de refuerzo utilizando Geomalla Biaxial, espaciada de 0,30 m con una profundidad de 1,50 m y con un refuerzo total de 6,00 m. De las ecuaciones y deducciones presentadas en el capítulo anterior, la capacidad de cargas a 1,50 m de profundidad de desplante a nivel del refuerzo es la siguiente:

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

**Tabla 3.11.-** Valores obtenidos de los factores de forma y profundidad para el análisis de refuerzo con Geomalla

$d_c = 1,2$	$S_c = 1,135$	$B = 6 \text{ m}$
$d_q = 1,13$	$S_q = 1,30$	$D_f = 1,00 \text{ m}$
$d_\gamma = 1$	$S_\gamma = 0,92$	$q = \gamma * D = 23,5 \text{ KN/m}^3$
$C = 50 \text{ KN/m}^2$	$\gamma = 15,70 \text{ KN/m}^3$	

Podemos observar que el valor de B ahora es el ancho del elemento de refuerzo igual a 6,00m y que el valor de esfuerzo efectivo a nivel de refuerzo sube de 15,70  $\text{KN/m}^3$  a 23,5  $\text{KN/m}^3$

Por lo que la Capacidad de soporte ultima del suelo con refuerzo de Geomalla a 1,5 m es:

$$q_{ult} = C N_c S_c d_c + q N_q * d_q + 0,5 \gamma * B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$q_{ult} = 20 \text{ KN/m}^2 (38,8) (1,20) (1,135) + 23,5 \text{ KN/m}^3 (26,3) (1,13) + 0,5 (15,70 \text{ KN/m}^3) (6 \text{ m}) (24,75) (0,92) (1)$$

$$q_{ult} = 1056,91 \text{ KN/m}^2 + 698,31 \text{ KN/m}^2 + 1072,47 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{2827,77 \text{ KN/m}^2}$$

### 3.3.7 Cálculo de capacidad de carga admisible

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FS}$$

$$q_a = \frac{= 2829,77 \text{ kn/m}^2}{3} = \mathbf{942,56 \text{ KN/m}^2}$$

### 3.3.8 Comprobación de Capacidad de soporte del suelo

$$q_c = \frac{\sum F}{A_c} + \gamma d * D_f = \frac{10000}{84} + 15,70 \text{ KN/m}^3 (1,5 \text{ m}) = 142,59 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{\text{contacto}} \leq q_a$$

$$142,57 \text{ KN/m}^2 < 942,59 \text{ KN/m}^2 \quad \mathbf{(CUMPLE)}$$

Donde:

$$\sum F = 1000 \text{ KN/m}^2 \text{ de carga inicial que se aplica a la cimentacion}$$

$$A_c = \text{Área de contacto} = L * B = 14 (6) = 48 \text{ m}^2$$

### 3.3.9 Cálculo de Asentamiento

$$S_e = \frac{B \cdot q_0}{E_s} * (1 - U^2) * \alpha$$

$$S_e = \frac{6 \text{ m} * 142,59 \text{ KN/m}^2}{4000 \text{ KN/m}^2} * (1 - 0,28^2) * 1,7 = 0,333 \text{ m}$$

**Tabla 3.12** .- Resultados de capacidad portante y admisible del suelo sin y con refuerzo de Geomallas.

#### METODOLOGÍA DE MEYERHOF (BRAJA M DAS)

Reforzamiento del suelo con Geomalla en un tipo de suelo Arena-Limosa (SM)

N° DE CAPAS	PROFUND. (m)	GEOSINTÉT. UTILIZADO	CONDICIÓN	CAPAC. PORTANTE (kN/m <sup>2</sup> )	CAPAC. ADMISIBLE (kN/m <sup>2</sup> )	% DE REFORZAMIENTO DEL SUELO
-	1,50 m	GEOMALLA	SIN REFUERZO	1881	627,00	-
1	0,30 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2269,36	756,45	20,65
2	0,60 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2409,33	803,11	28,09
3	0,90 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2549,31	849,77	35,53
4	1,20 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2689,28	896,43	42,97
5	1,50 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	<b>2827,77</b>	<b>942,59</b>	<b>50,33</b>

Se puede observar en la tabla 3.12 que la capacidad portante y admisible del suelo mejora de manera considerable a medida que se refuerza la cimentación implementado diferente número de capas de Geomalla. En resumen, para una cimentación corrida reforzada con 5 capas de geomalla espaciada cada 30 cm se tiene una capacidad portante de **2827,77 (kN/m<sup>2</sup>)** por lo tanto el suelo mejora en un **50,33%** con respecto a la capacidad del suelo sin refuerzo. De igual manera el asentamiento generado por las cargas es de 0,404 m sin refuerzos y desciende a 0,328 m con refuerzo mejorando en un **23,12%**.

### 3.4 Cálculos analíticos por el MÉTODO DE HUANG Y MENQ, reforzando la cimentación con Geomallas en un tipo de suelos Arenosa-Limosa (SM).

En el presente apartado con el fin de cuantificar el incremento de la carga de hundimiento, se presentan los cálculos de las cargas mediante las metodologías analíticas detalladas en el capítulo anterior, para diferentes tipos de suelo, se ha considerado las recomendaciones de cada autor como referencial para la disposición geométrica de los refuerzos. Los valores de los parámetros de resistencia de los terrenos son referenciales y se debe de considerar que cada metodología analítica, aplicable para un determinado tipo de terreno.

Para el presente cálculo se considera que en el terreno predomina Arena-Limosa (LM), en la que esta cimentada una zapata corrida, la cual cuenta con un ancho  $B=2,00$  m y una  $L=10,00$  m. De acuerdo las recomendaciones brindadas por el autor se han considerado la disposición de reforzamiento con Geomalla Biaxial.

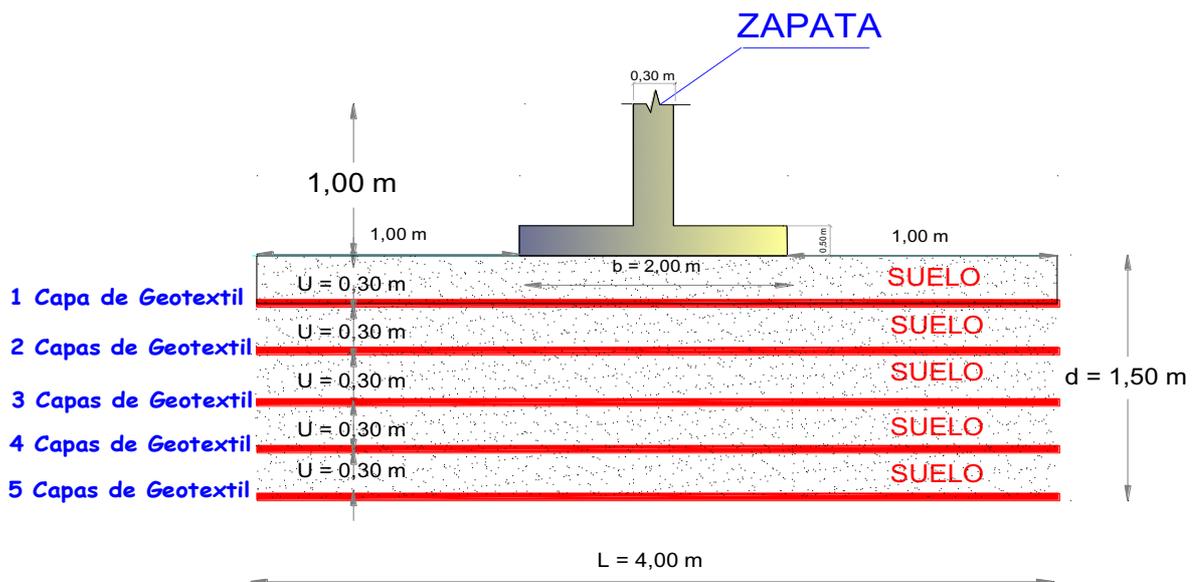


Figura 3.2.- Esquema referencial de la cimentación reforzada con Geomalla

Considerando que la cimentación tiene una profundidad de mejoramiento ( $d$ ) de 1.50 m por debajo del nivel de la base de la cimentación, el espaciamiento de las geomallas ( $h$ ) es de 0.30 m por lo tanto se analiza hasta 5 refuerzos, en la figura 3.2 se muestra un esquema general de la cimentación con los refuerzos: Huang y Menq (1997) propusieron una metodología para el cálculo de la carga de hundimiento de una cimentación corrida sobre un suelo Arenoso reforzado con geomallas. La ecuación de carga de hundimiento de la cimentación reforzada es:

$$q_{ult} = 0,5 (B+AB) \gamma * N\gamma + \gamma (Df + d) Nq$$

Donde:

$$AB = 2d \tan\beta = 2 (1,5) (0,608) = 1,824$$

$$\tan\beta = 0,68 - 2,0701 \frac{h}{B} + 0,743 CR + 0,03 \frac{b}{B} = 0,68 - 2,0701(0,15) + 0,743(0,2) + 0,03(3) = 0,608$$

$$CR = \frac{w}{W} = \frac{2}{10} = 0,20$$

El valor de CR es el radio de cobertura de la Geomalla y es igual a la relación entre el ancho de una costilla (w) y el espaciamiento entre costillas (W).

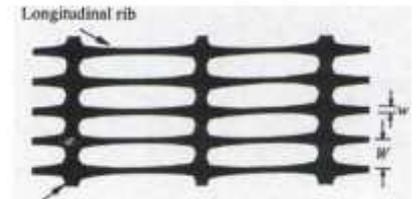


Tabla 3.13.- Parámetros del Suelo ARENA LIMOSA (SM)

	DIMENSIÓN	UNIDADES
$\gamma =$	15,70	KN/m <sup>3</sup>
$\phi$	33	°
$\mu$	0,28	
C	20	KN/m <sup>2</sup>

Factores de capacidad de soporte extraídos de la tabla 3.2 según Vesic.

Para un Ángulo de fricción  $\phi = 33$

Tenemos  $N_c = 38,805$ ;  $N_q = 26,3$ ;  $N_y = 24,75$

### 3.4.1.2 Condiciones

- $0 \leq \tan\beta \leq 1$   $1 \leq \frac{b}{B} \leq 10$
- $0,10 \leq \frac{h}{B} \leq 0,5$   $1 \leq N \leq 5$
- $0,02 \leq CR \leq 1,0$   $0,3 \leq \frac{d}{B} \leq 2,5$

#### 3.4.1.2.1 Comprobación de Condiciones para el correcto cálculo

$0 \leq 0,608 \leq 1$	<b>Ok</b>	$1 \leq \frac{6}{2} = 3 \leq 10$	<b>Ok</b>
$0,10 \leq \frac{0,30}{2} = 0,10 \leq 0,15$	<b>Ok</b>	$1 \leq 5 \leq 5$	<b>Ok</b>
$0,02 \leq \frac{2}{10} = 0,20 \leq 1,0$	<b>Ok</b>	$0,3 \leq \frac{1,5}{2} = 0,75 \leq 2,5$	<b>Ok</b>

Por lo tanto, la Capacidad de soporte última reforzada con geomalla es:

$$q_{ult} = 0,5 (B+AB) \gamma * N\gamma + \gamma (Df + d) Nq$$

$$q_{ult} = 0,5( 6 \text{ m} + 1,824) 15,70 \text{ KN/m}^2 (24,75) + 15,70 \text{ KN/m}^2 (1 + 1,5)( 26,3)$$

$$q_{ult} = 1520,10 \text{ KN/m}^2 + 1032,28 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{2552,38 \text{ KN/m}^2}$$

En resumen, para una cimentación reforzada con 5 capas de geomallas y espaciadas cada 30 cm, sobre un suelo Arena-Limosa (SM) se obtiene una Capacidad Última de 2552,38 KN/m<sup>2</sup>

**Tabla 3.14** .- Resultados de capacidad portante, admisible del suelo sin y con refuerzo de Geosinteticos.

### METODOLOGÍA DE HUANG Y MENQ

Reforzamiento del suelo con Geomalla en un tipo de suelo Arena-Limosa (SM).

N° DE CAPAS	PROFUND. (m)	GEOSINTÉTICO UTILIZADO	CONDICIÓN	CAPAC. PORTANTE (kN/m <sup>2</sup> )	CAPAC. ADMISIBLE (kN/m <sup>2</sup> )	% DE REFORZAMIENTO DEL SUELO
-	1,50 m	GEOMALLA	SIN REFUERZO	1881	627,00	-
1	0,3 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2056,89	685,63	9,35
2	0,6 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2180,76	726,92	15,94
3	0,9 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2304,63	768,21	22,52
4	1,2 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2428,51	809,50	29,11
5	1,5 m	GEOMALLA	CON REFUERZO	2552,38	850,79	35,69

Se puede observar en la tabla 3.14 que la capacidad portante y admisible del suelo mejora a la medida que se refuerza la cimentación con mayor número de capas de geomalla. En resumen, para una cimentación corrida reforzada con 5 capas de geomalla espaciada cada 30 cm se tiene una capacidad portante de **2552,38 (kN/m<sup>2</sup>)** la misma que mejora en un **35,69%** con respecto a la capacidad portante y admisible sin ningún material de refuerzo.

### 3.5 Interpretación de resultados de Asentamientos provocados por las cargas

#### 3.5.1 Resultados del modelado de una zapata corrida reforzada con Geotextil, en el software SAP 2000

Mediante un ejemplo representado en una zapata corrida desarrollado en este capítulo podemos observar que existe un mejoramiento relativo de la capacidad portante y admisible del suelo con la implementación de geosintéticos. Para su serviciabilidad se necesitará una mayor participación de capas de refuerzo para que disminuyan relativamente los esfuerzos y asentamientos.

A continuación, se procede a calcular los asentamientos provocados por las cargas, mediante el software SAP 2000 por medio de elementos finito, analizando suelos como arenas y arcillas, los mismos se refuerzan con geotextil y geomalla, para comprobar el mejoramiento de asentamientos que se puede obtener con la aplicación de los geosintéticos, y que los mismo pueden aplicarse de una manera eficiente, además demostrar que se puede llegar a ahorrar tiempo y recursos.

Para la explicación del cálculo, se tomó las mismas características del ejemplo anterior, de una zapata corrida cimentada en diferentes tipos de suelo la cual cuenta con un área de 2,00 m de ancho por 10,00 m de largo, cimentada a 1,50 m de profundidad con una carga uniformemente distribuida de  $100 \text{ KN/m}^2$ . El refuerzo se lo realizo mediante la utilización de geotextil y geomalla, los cuales se ubicaron a 0.3m, 0.6m, 0.9m, 1.20m y 1.50m de separación, para así calcular los esfuerzos y asentamientos producidos por las cargas.

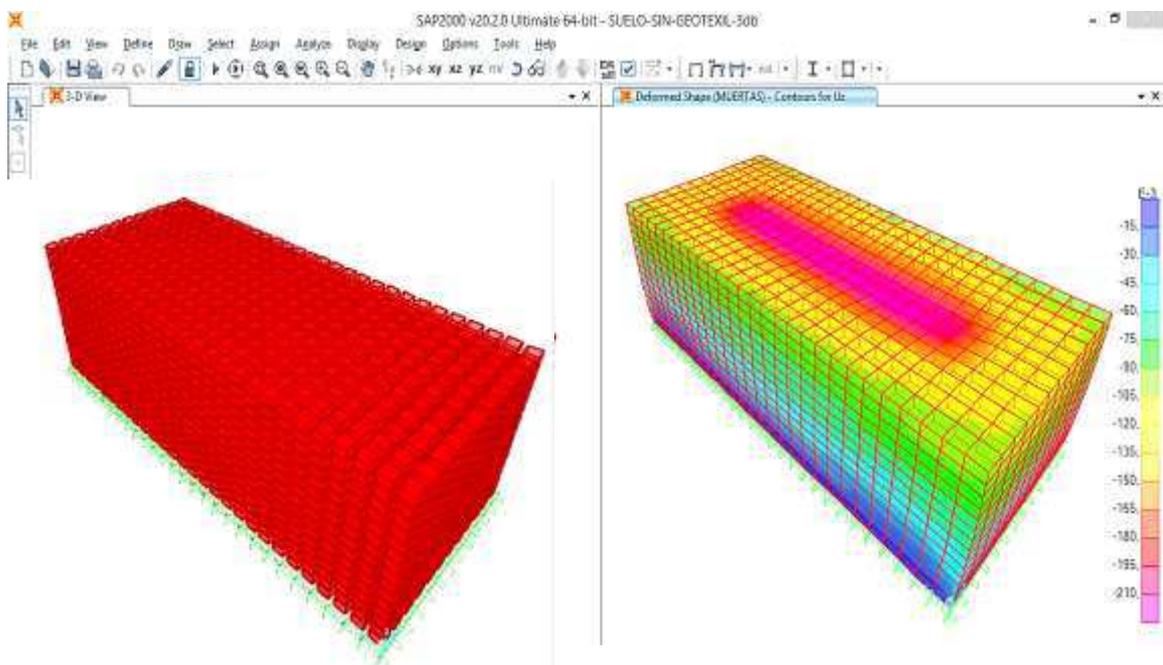
**Tabla 3.15** .- Propiedades de las materiales utilizados para el analisis.

SUELO (CL)	GEOTEXTIL TEJIDO
$\gamma = 17.46 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 1.145 \text{ KN/m}^3$
$\phi = 25$	t = 2 mm
Es = 6 MPa= $6000 \text{ KN/m}^2$	Es = $1500000 \text{ KN/m}^2$
$\mu = 0.45$	$\mu = 0.2$

Se analiza un suelo Arcilla-Arenosa de Mediana Plasticidad (CL) para reforzar el mismo con geotextil, el mismo cuenta con una cohesión de  $50 \text{ KN/m}^2$ , ángulo de fricción  $\phi$  de  $25^\circ$ , un peso específico de  $17,46 \text{ KN/m}^3$ , coeficiente de poisson de 0.45, y un módulo de elasticidad  $E_s = 6000 \text{ KN/m}^2$  (Ver Tabla A, B y B1 de Anexos).

### 3.5.1.1 Modelado de la cimentación en un suelo Arcilla-Arenosa (CL)

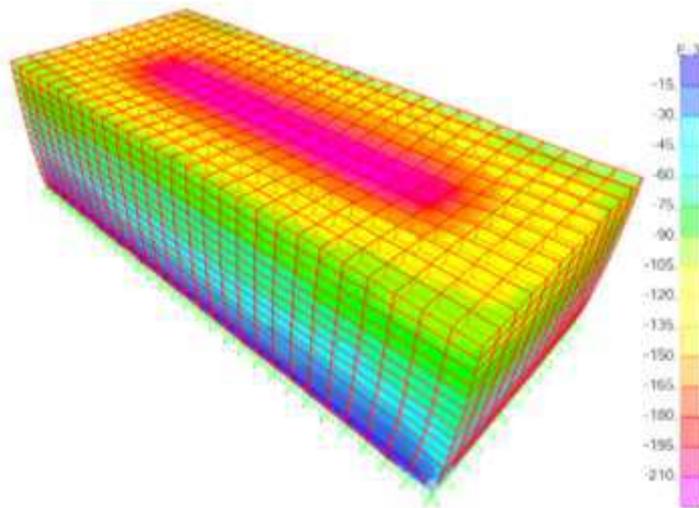
Se procede a ingresar las dimensiones de la zapata corrida, luego se definen los materiales a emplear, para después asignar e ingresar los parámetros del suelos y del geosintético a implementar en el software, y finalmente se asignan las cargas en la cimentación, del cual se obtuvo los resultados de asentamientos.



**Figura 3.3.-** Pantalla principal del Software SAP 2000 en el proceso de modelado mediante elementos finitos.

Los resultados de asentamientos obtenidos en el software varían de acuerdo a la aplicación de mayor números de capas como refuerzo, y se analizan de acuerdo a la escala de colores, como se observa en la figura 3.4 siendo el color rojo el más crítico, y el color azul el de menor presencia de asentamiento, el cual sería ideal para no tener inconveniente con asentamientos que se puedan presentar en edificaciones. De esta manera se establece comparaciones de la zapata corrida sin refuerzo y cuando las misma se la refuerza con capas varias de geotextil y

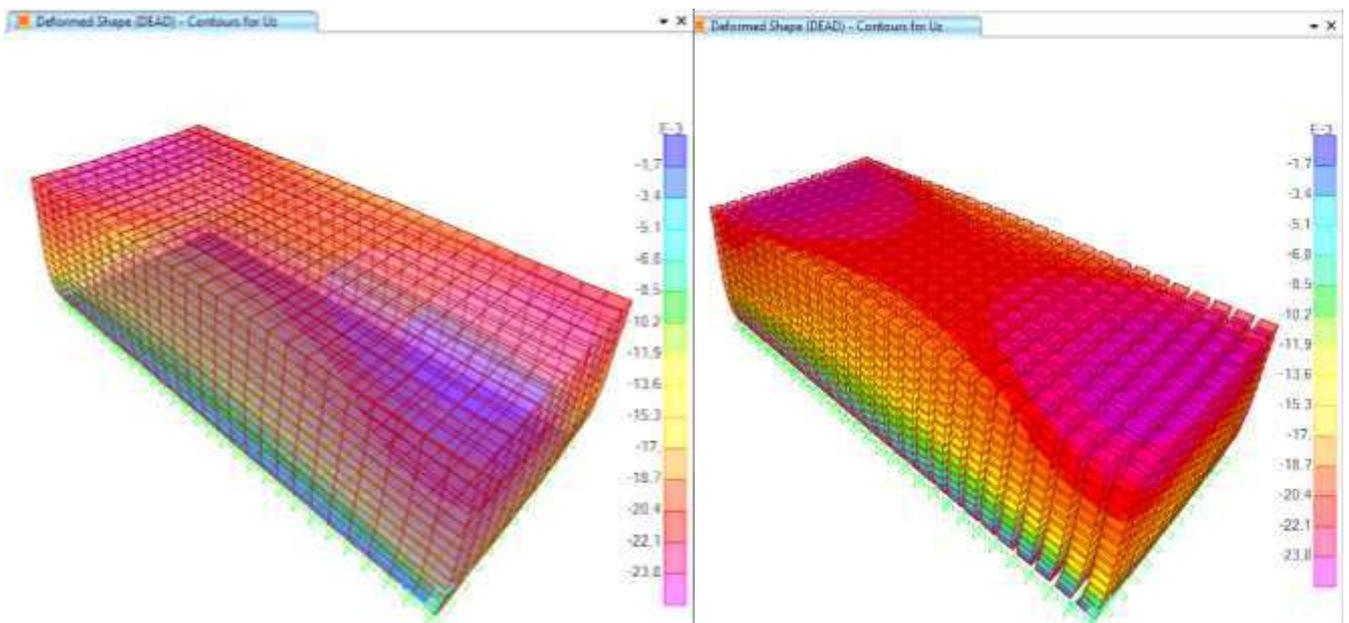
geomallas, para luego obtener las ventajas y porcentajes de mejoramiento de los asentamientos provocados por las cargas en una cimentación que se implementa geosintéticos.



**Figura 3.4.-** Escala de colores representativos para analizar los esfuerzos y asentamientos generados por las cargas en Software SAP 2000

### 3.5.1.2 Modelado de la cimentación SIN REFUERZO

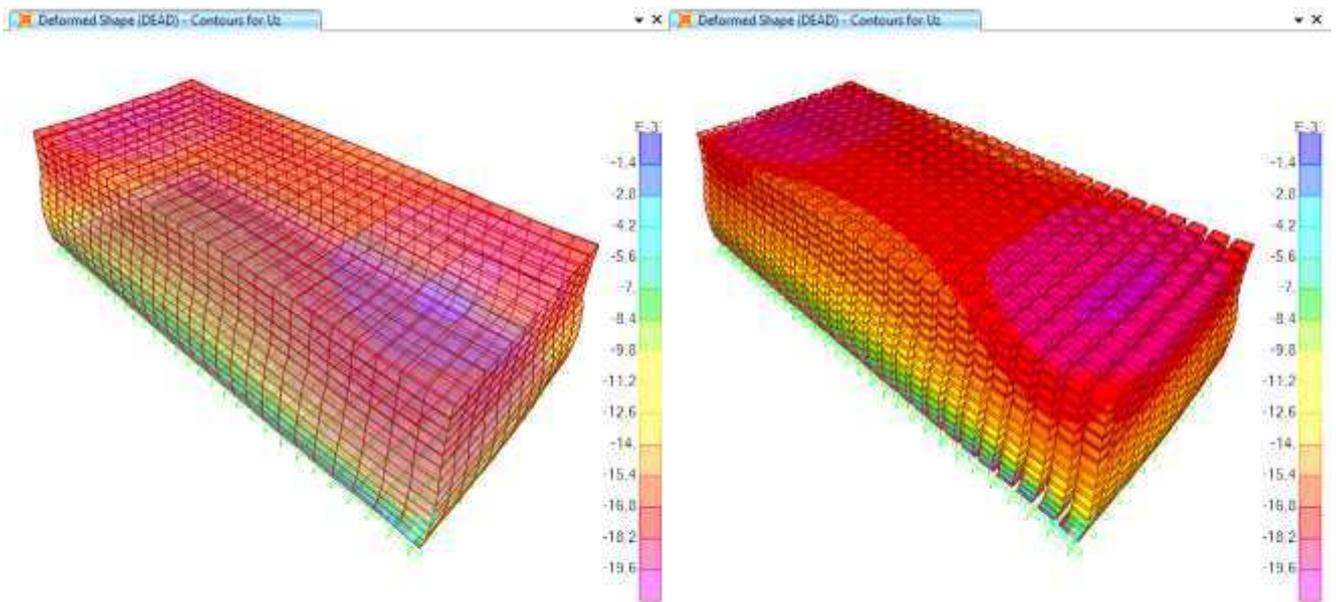
En el software se modeló una zapata corrida cimentada sobre un suelo Arcilla-Arenosa (CL) con dimensiones de 2 m de base y 10 m de largo, a una profundidad de 1,50 m. Se aplicó una carga de  $100 \text{ KN/m}^2$  y como se puede observar en la figura 3.5 se obtuvo un asentamiento máximo de 0,238 m sin ningún refuerzo.



**Figura 3.5.-** Resultado de asentamientos generados en el Software SAP 2000 en una zapata corrida sin refuerzos.

### 3.5.1.3 Modelado de la cimentación CON REFUERZO DE GEOTEXTIL

En el mismo ejemplo de aplicación se refuerza la zapata corrida, hasta con 5 capas de geotextil tejido, con una separación de cada 30 cm entre cada capa de refuerzo, y de igual manera se procedió a modelar en el software, aplicando la misma carga de  $100 \text{ KN/m}^2$  y como se puede observar en la figura 3.6 el asentamiento decrece con la aplicación de geotextil. En resumen, con este proceso de reforzamiento del suelo, se obtuvo un asentamiento de  $0,196 \text{ m}$  con 5 capas de refuerzo, mejorando en un **21,4%** el asentamiento sin tipo de refuerzo.



**Figura 3.6.-** Resultados de asentamientos generados en el Software SAP 2000 en una zapata corrida reforzada con geotextil tejido

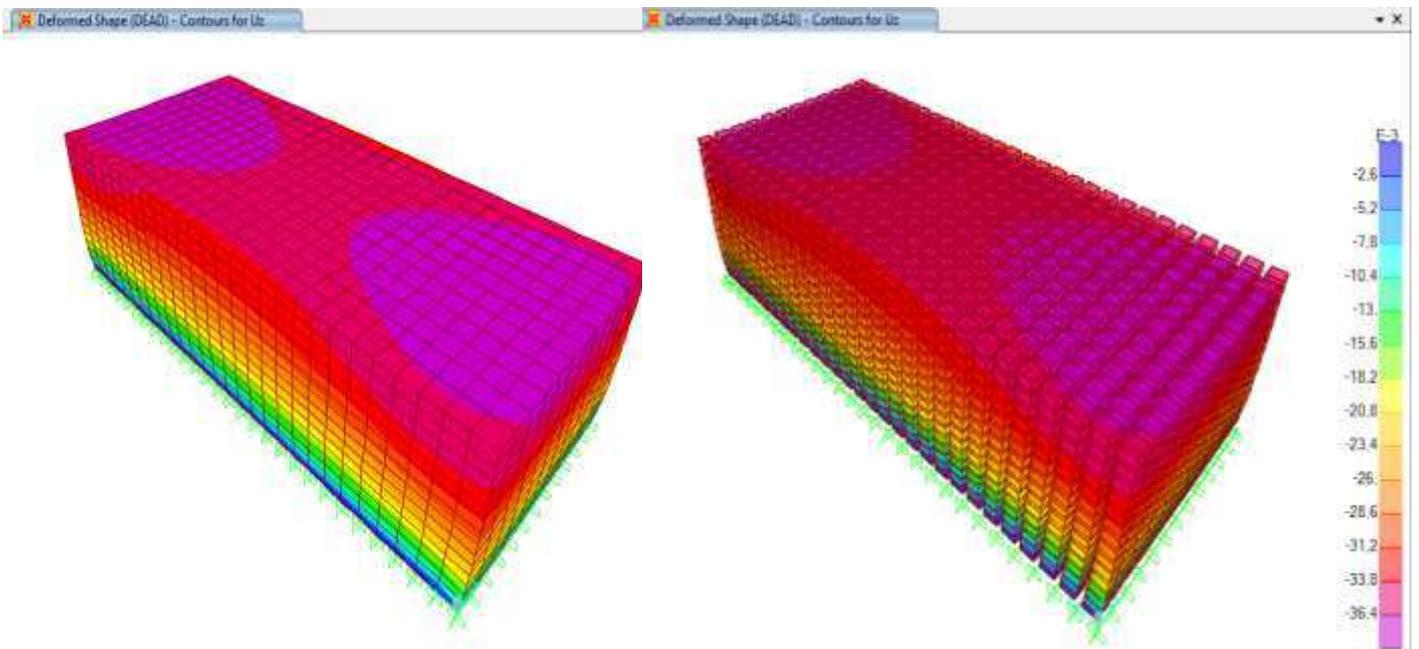
### 3.6 Modelado de la cimentación SIN refuerzo aplicado en un tipo de suelo Arena-Limosa (SM)

De igual manera se analiza los asentamientos que se pueden generar en un suelo Arena-Limosa No Plástica (SM), el mismo cuenta con una cohesión de  $20 \text{ Kn/m}^2$ , ángulo de fricción  $\phi$  de  $33^\circ$ , un peso específico de  $15,70 \text{ Kn/m}^3$ , coeficiente de Poisson de 0.28, y un módulo de elasticidad  $E_s = 4000 \text{ Kn/m}^2$  (Ver Tabla A, B y B-1 de Anexos).

**Tabla 3.16.-** Propiedades de las materiales utilizados para el analisis.

SUELO (SM)	GEOTEXTIL TEJIDO
$\gamma = 15.70 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 1.55 \text{ KN/m}^3$
$\phi = 33$	$t = 2 \text{ mm}$
$E_s = 4 \text{ MPa} = 4000 \text{ KN/m}^2$	$E_s = 1500000 \text{ KN/m}^2$
$\mu = 0.28$	$\mu = 0.2$

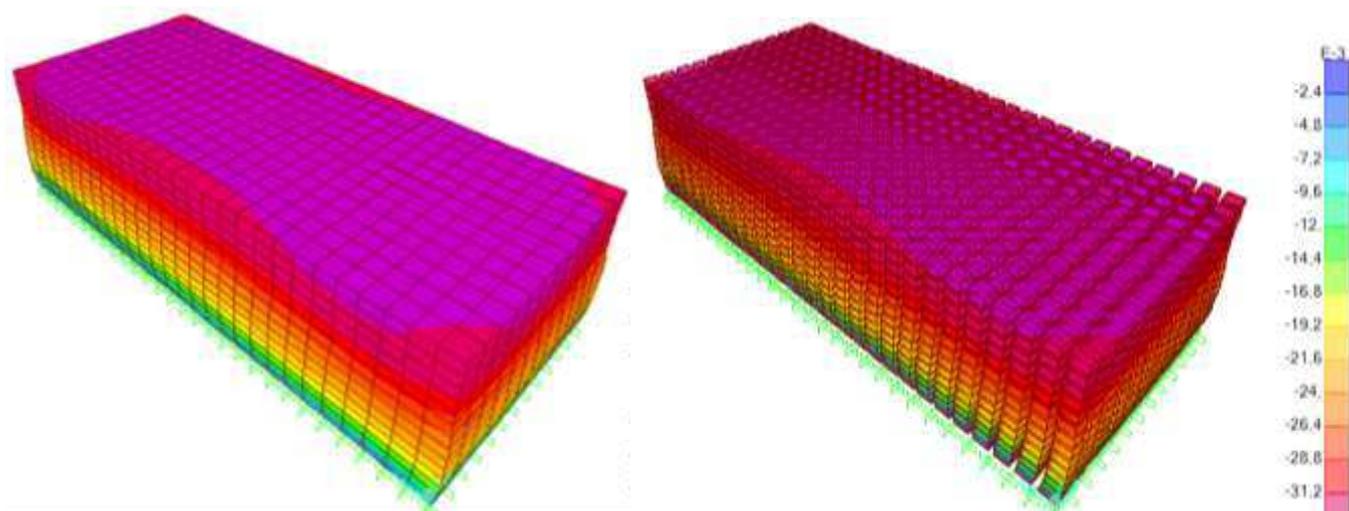
Con las mismas características se modela la zapata corrida, pero esta vez se realiza el análisis de la cimentación sobre un tipo de suelo Arena-Limosa (SM) para ver su comportamiento cuando esta se refuerza con varias capas de geomallas, se calculan los asentamientos de la cimentación generada por las cargas, el mismo que dio un resultado de 0,364 m de asentamientos sin refuerzos.



**Figura 3.7.-** Resultados de asentamientos generados en el Software SAP 2000 en una zapata corrida sin refuerzos.

### 3.6.1 Modelado de la cimentación CON REFUERZO DE GEOMALLAS.

En el mismo ejemplo de aplicación se refuerza la zapata corrida con 5 capas de geomallas, con dimensiones de 2 m de base y 10 m de largo, con una separación de cada 30 cm entre cada capa de refuerzo y de igual manera se procedió a modelar en el programa SAP 200, se le aplicó una carga de  $100 \text{ KN/m}^2$  en el mismo se obtuvo un asentamiento de 0,31 m reforzando la cimentación con Geosintéticos. En resumen, con este proceso de reforzamiento se obtuvo un asentamiento de 0,31 m con 5 capas de refuerzo, mejorando en un **17,4%** el asentamiento sin refuerzo.



**Figura 3.8.-** Resultados de asentamientos generados en Software SAP 2000 en una zapata corrida reforzada con geomallas.

### 3.6.2 Análisis comparativo de los resultados de Asentamientos provocados por las cargas.

**Tabla 3.17.-** Resultados de asentamientos generados en la cimentación, sin y con refuerzo de gesintéticos.

#### ASENTAMIENTOS CALCULADOS EN EL SOFTWARE SAP 2000

N· DE CAPAS	TIPO DE SUELO ANALIZADO	GEOSINTÉTICO	CONDICIÓN	ASENTAMIENTO	% DE MEJORAMIENTO DE ASENTAMIENTOS
0	ARCILLA ARENOSA (CL)	GEOTEXTIL	SIN REFUERZO	23,8 cm	-
5	ARCILLA ARENOSA (CL)	GEOTEXTIL	CON REFUERZO	19,5 cm	<b>22,05%</b>
0	ARENA LIMOSA (SM)	GEOMALLA	SIN REFUERZO	36,4 cm	-
5	ARENA LIMOSA (SM)	GEOMALLA	CON REFUERZO	31 cm	<b>17,40%</b>

Como se puede observar en la tabla 3.17, los resultados dejan ver en claro que existe un mejoramiento de asentamientos provocados por las cargas, mismos que van disminuyendo a medida que se refuerza la cimentación con mayor número de capas de geosintéticos.

En resumen, para una cimentación corrida, cimentada sobre un tipo de suelo Arcilla-Arenosa (CL), si la misma se refuerza con 5 capas de geotextil tejido el asentamiento disminuye de 23,8 cm a 19,5 cm; por lo tanto existe un mejoramiento de un **22,05%** con respecto al asentamiento generados sin ningún tipo de refuerzo. De igual manera si la zapata corrida cimentada sobre un tipo de suelo Arena-Limosa (SM), se la refuerza con 5 capas de geomallas el asentamiento disminuye de 36,4 cm a 31 cm; por lo tanto existe un mejoramiento de un **17,40 %** con respecto al asentamiento generados por las cargas en una edificación sin ningún refuerzo.

### **3.7 Diseño óptimo**

Para realizar un diseño óptimo, se debe realizar una serie de cambios en algunos parámetros como son **B, L, d, N y h**, mediante iteraciones realizar los respectivos cálculos como se indica en el capítulo 3, para poder concluir con la opción más efectiva y económica que nos permita reforzar el suelo de una manera práctica y fácil de aplicarlo, la cual nos brinda muchos beneficios, como mejorar las características iniciales del suelo, como son aumento de la capacidad portante y admisible del suelo, además que mediante este proceso de reforzamiento del suelo con geosintéticos se disminuyen notoriamente los asentamientos generados por las cargas y esto varía de acuerdo al número de capas de refuerzo que se considere.

### **3.8 Análisis de Costos**

Para establecer los costos-beneficios empleando geosintéticos en una cimentación para reforzar el suelo, se realiza un análisis de precios unitarios del geotextil a emplear y del proceso de preparación del suelo que se lleva a cabo para reforzar la cimentación con diferentes número de capas de geosintéticos, la cual va desde excavación del terreno, traslado del material, compactación del terreno, maquinarias empleadas y mano de obra necesario para la colocación de geotextiles para reforzar el suelo.

El precio referencial del geotextil empleado para el refuerzo del suelo se toma como referencia el precio de \$ 4,02 dólares/ $m^2$ , como costo de un geotextil tejido (Ver Tabla F-1 de Anexos).

Se establece el costo total para la construcción de la zapata corrida sin refuerzo, y posteriormente cuando la misma zapata es reforzada con varias capas de geotextil a diferentes profundidades y con diferente número de capas, para determinar el aumento monetario y costo total que representaría una obra de esta magnitud, para luego sacar conclusiones y recomendaciones para su aplicación. Además, se debe de tomar en consideración las múltiples ventajas que se pueden obtener implementando geosintéticos en las construcciones civiles en nuestro medio,

A continuación, se detalla los precios unitarios de cada rubro, el proceso constructivo que se debe llevar a cabo para la preparación del suelo, para la posterior construcción de una cimentación, y al final de este proceso de refuerzo, emitir comparaciones en el costo final de la obra.

**Tabla 3.18.- Analisis de Costos SIN reforzado del Suelo**

**PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL**

Profundidad a Cimentar  $Z = 2\text{m}$

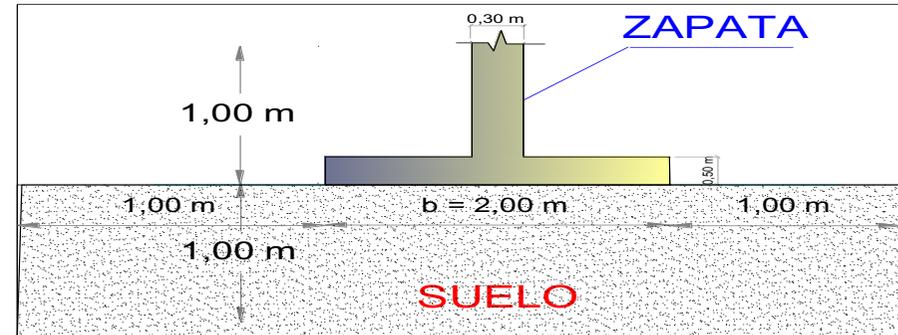
Área de la Zapara Corrida =  $(2\text{m} \times 10\text{m}) = 20\text{ m}^2$

Área de Excavar =  $(4\text{m} \times 12\text{m}) = 48\text{ m}^2$

Volumen a Excavar  $V = 96\text{ m}^3$



**VISTA EN PLANTA**



**VISTA EN CORTE**

**TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, ÁREA, VOLUMEN, EQUIPOS, TIEMPO Y COSTO TOTAL**

ITEM	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PROF. (m) LONGUIT.	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	EQUIPO DE TRABAJO	TIEMPO DE TRABAJO	NÚMERO DE VIAJES	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	EXCAVACIÓN DEL TERRENO	48	2	96 m <sup>3</sup>	EXCAVADORA	2 DÍAS	-	\$ 250,00	\$ 500,00
2	TRASPORTE DEL MATERIAL EXTRAIDO	48	2	134,4* m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	17 VIAJES	\$ 20,00	\$ 340,00
3	VOLUMEN DE LA ZAPATA	-	-	11,5 m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-
4	MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CANTERAS	48	1	67,2** m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	8 VIAJES	\$ 40,00	\$ 320,00
5	COMPACTACIÓN DEL SUELO	48	0,50 - 0,50***	-	COMPACTADORA (RODILLO)	6 HORAS	-	\$ 40,00	\$ 240,00
6	MANO DE OBRA	-	-	-	2 OBREROS	2 DÍAS	-	\$ 20,00	\$ 80,00
<b>TOTAL:</b>								<b>\$ 1.480,00</b>	

\*  $(48 \times 2 \times 1,40 = 134,4\text{m}^3)$  Al valor calculado de material se multiplica por **1,4** que es el Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra.

\*\*  $(48 \times 1,40 = 67,2\text{ m}^3)$  El material de mejoramiento (calculado se multiplica por **1,4** que es el Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra.

\*\*\* Para la compactación del suelo, se realiza 2 compactaciones a cada 50 cm de profundidad

**COSTO TOTAL:** Mil Cuatrocientos Ochenta Dólares Americanos.

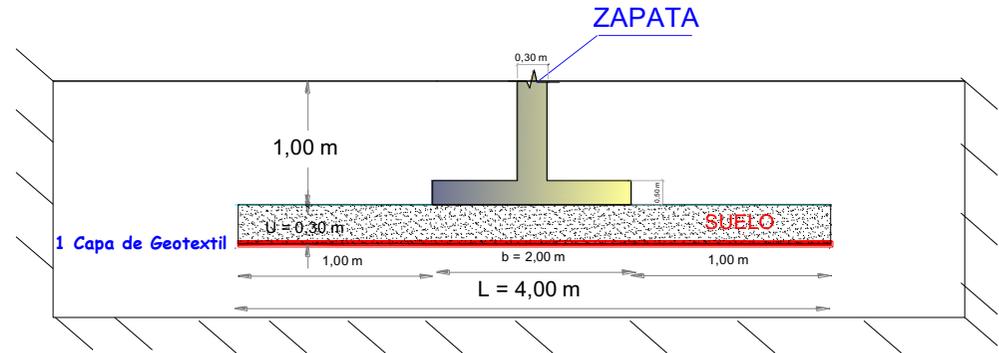
**Tabla 3.19.- Analisis de Costos, para el reforzado del suelo CON 1 CAPA DE GEOTEXTIL**

**PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA COLOCACION DE GEOTEXTIL**

Profundidad a Cimentar  $Z = 1,30$  m  
 Área de la Zapara Corrida =  $(2m \times 10m) = 20$  m<sup>2</sup>  
 Área de Excavar =  $(4m \times 12m) = 48$  m<sup>2</sup>  
 Volumen a Excavar  $V = 62,4$  m<sup>3</sup>



**VISTA EN PLANTA**



**VISTA EN CORTE**

**TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, ÁREA, VOLUMEN, EQUIPOS, TIEMPO Y COSTO TOTAL**

ITEM	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PROF. (m) LONGUIT.	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	EQUIPO DE TRABAJO	TIEMPO DE TRABAJO	NÚMERO DE VIAJES	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	EXCAVACIÓN DEL TERRENO	48	1,30	62,4 m <sup>3</sup>	EXCAVADORA	1 DÍA	-	\$ 250,00	\$ 250,00
2	TRASPORTE DEL MATERIAL EXTRAIDO	48	1,30	87,36* m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	11 VIAJES	\$ 20,00	\$ 220,00
3	VOLUMEN DE LA ZAPATA	-	-	11,5 m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-
4	MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CANTERAS	48	0,30	20,16** m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	3 VIAJES	\$ 40,00	\$ 120,00
5	COMPACTACIÓN DEL SUELO	48	0,30	-	COMPACTADORA MANUAL	3 HORAS	-	\$ 50,00	\$ 50,00
6	GEOTEXTIL TEJIDO (1 CAPA)***	48	-	-	-	-	-	\$ 4,02	\$ 192,96
7	MANO DE OBRA	-	-	-	3 OBREROS	2 DÍAS	-	\$ 20,00	\$ 120,00
<b>TOTAL:</b>								<b>\$ 952,96</b>	

\*  $(48 \times 1,30 \times 1,40 = 87,36$  m<sup>3</sup>) Al valor calculado de material, se multiplica por **1,4** que es el Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra.

\*\*  $(48 \times 0,30 \times 1,40 = 20,16$  m<sup>3</sup>) El material de mejoramiento calculado se multiplica por **1,4** (Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra).

\*\*\* Se realiza el reforzamiento del suelo con 1 capa de Geotextil Tejido a 30 cm de profundidad.

**COSTO TOTAL:** Novecientos Cincuenta y Dos Dólares Americanos.

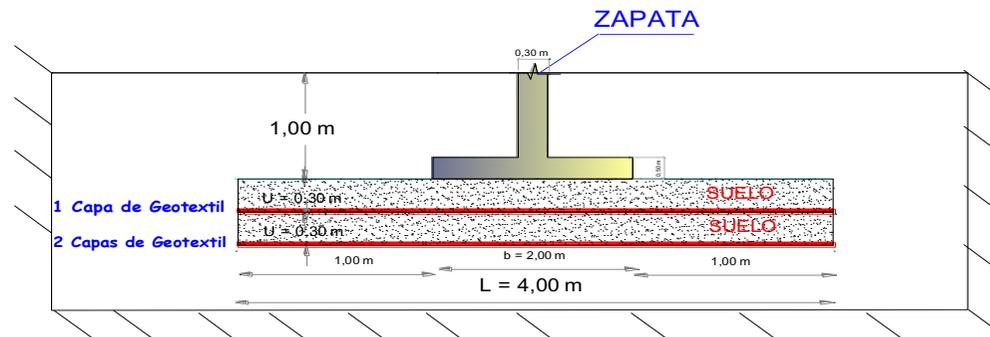
**Tabla 3.20.- Analisis de Costos, para el reforzado del suelo CON 2 CAPAS DE GEOTEXTIL**

**PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA COLOCACION DE GEOTEXTIL**

Profundidad a Cimentar  $Z = 1,60 \text{ m}$   
 Área de la Zapara Corrida =  $(2\text{m} \times 10\text{m}) = 20 \text{ m}^2$   
 Área de Excavar =  $(4\text{m} \times 12\text{m}) = 48 \text{ m}^2$   
 Volumen a Excavar  $V = 76,8 \text{ m}^3$



**VISTA EN PLANTA**



**VISTA EN CORTE**

**TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, ÁREA, VOLUMEN, EQUIPOS, TIEMPO Y COSTO TOTAL**

ITEM	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PROF. (m) LONGUIT.	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	EQUIPO DE TRABAJO	TIEMPO DE TRABAJO	NÚMERO DE VIAJES	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	EXCAVACIÓN DEL TERRENO	48	1,60	76,8 m <sup>3</sup>	EXCAVADORA	1 DÍA	-	\$ 250,00	\$ 250,00
2	TRASPORTE DEL MATERIAL EXTRAIDO	48	1,60	107,52* m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	13 VIAJES	\$ 20,00	\$ 260,00
3	VOLUMEN DE LA ZAPATA	-	-	11,5 m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-
4	MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CANTERAS	48	0,60	40,32** m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	5 VIAJES	\$ 40,00	\$ 200,00
5	COMPACTACIÓN DEL SUELO***	48	0,30 - 0,30m	-	COMPACTADORA MANUAL	6 HORAS	-	\$ 50,00	\$ 50,00
6	GEOTEXTIL TEJIDO (2 CAPAS)****	48	-	-	-	-	-	\$ 4,02	\$ 385,92
7	MANO DE OBRA	-	-	-	3 OBREROS	2 DÍAS	-	\$ 20,00	\$ 120,00
<b>TOTAL:</b>								<b>\$ 1.265,92</b>	

\*  $(48 \times 1,60 \times 1,4 = 107,52 \text{ m}^3)$  Al valor calculado de material, se lo multiplica por 1,4 que es el Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra.

\*\*  $(48 \times 0,60 \times 1,40 = 40,32 \text{ m}^3)$  El material de mejoramiento calculado se multiplica por 1,4 (Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra).

\*\*\* Se realiza la compactación del suelo en 2 capas a cada 30 cm de profundidad

\*\*\*\* Se realiza el reforzamiento del suelo con 2 capas de Geotextil Tejido a cada 30 cm de profundidad.

**COSTO TOTAL:** Mil Doscientos Sesenta y Cinco Dólares Americanos.

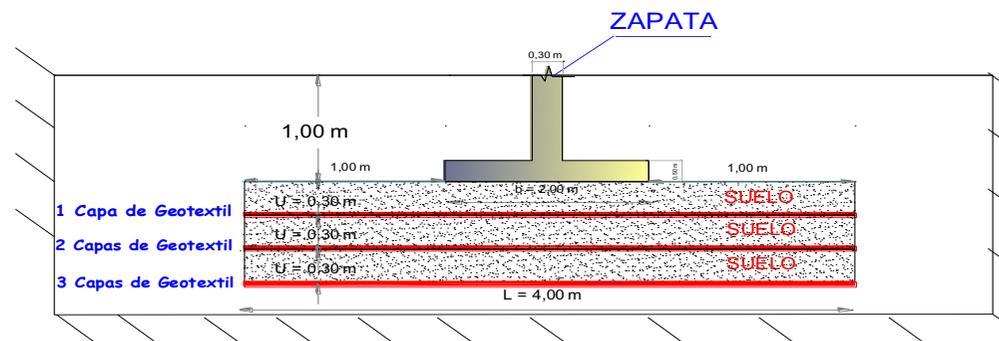
**Tabla 3.21.- Analisis de Costos, para el reforzado del suelo CON 3 CAPAS DE GEOTEXTIL**

**PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL**

**Profundidad a Cimentar Z = 1,90 m**  
**Área de la Zapara Corrida = (2m x 10m) = 20 m<sup>2</sup>**  
**Área de Excavar = (4m x 12m) = 48 m<sup>2</sup>**  
**Volumen a Excavar V = 91,2 m<sup>3</sup>**



**VISTA EN PLANTA**



**VISTA EN CORTE**

**TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, ÁREA, VOLUMEN, EQUIPOS, TIEMPO Y COSTO TOTAL**

ITEM	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PROF. (m) LONGUIT.	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	EQUIPO DE TRABAJO	TIEMPO DE TRABAJO	NÚMERO DE VIAJES	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	EXCAVACIÓN DEL TERRENO	48	1,90	91,20 m <sup>3</sup>	EXCAVADORA	1 DÍA	-	\$ 250,00	\$ 250,00
2	TRASPORTE DEL MATERIAL EXTRAIDO	48	1,90	127,68* m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	16 VIAJES	\$ 20,00	\$ 320,00
3	VOLUMEN DE LA ZAPATA	-	-	11,5 m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-
4	MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CANTERAS	48	0,90	60,48** m <sup>3</sup>	VOLQUETA (8 m <sup>3</sup> )	-	8 VIAJES	\$ 40,00	\$ 320,00
5	COMPACTACIÓN DEL SUELO***	48	0,30 - 0,30m	-	COMPACTADORA MANUAL	9 HORAS	-	\$ 50,00	\$ 50,00
6	GEOTEXTIL TEJIDO (3 CAPAS)****	48	-	-	-	-	-	\$ 4,02	\$ 578,88
7	MANO DE OBRA	-	-	-	3 OBREROS	2 DIAS	-	\$ 20,00	\$ 120,00
<b>TOTAL:</b>								<b>\$ 1.638,88</b>	

\* (48\*1,90\*1,40 = 127,68 m<sup>3</sup>) Al valor calculado de material se lo multiplica por **1,4** que es el Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra.

\*\* (48\*0,90\*1,40= 60,48 m<sup>3</sup>) El material de mejoramiento calculado se multiplica por **1,4** (Coeficiente de Esponjamiento en el movimiento de tierra).

\*\*\* Se realiza la compactación del suelo en 3 capas a cada 30 cm de profundidad

\*\*\*\* Se realiza el reforzamiento del suelo con 3 capas de Geotextil Tejido a cada 30 cm de profundidad.

**COSTO TOTAL:** Mil Seiscientos Treinta y Ocho Dólares Americanos.

### 3.9 COMPARACIÓN DE COSTOS - BENEFICIOS DEL REFORZAMIENTO DEL SUELO CON GEOTEXTIL

En la tabla 3.22 se puede evidenciar la diferencia de costos que existen entre la construcción normal de la cimentación para una zapata corrida, y la construcción de la misma zapata implementando varias capas de Geotextil, la diferencia entre ambos procesos de construcción es de **\$527,04** dólares, favorables al proceso de reforzamiento del suelo con geosintéticos debido a la menor cantidad de materiales necesario para el mejoramiento el cual se extrae de canteras, el precio varía de acuerdo a las capas que se le coloque para reforzar el suelo, pero se debe tener en cuenta que al implementar una capa de geotextil, se logra mejorar la capacidad portante de **1881 KN/m<sup>2</sup>** a **2269,36 KN/m<sup>2</sup>**, mejorando en un **20,65%** las condiciones del suelo. Y al colocar dos capas de Geotextil la diferencia de costos es de **\$214,00** dólares favorables, y se mejora la capacidad portante en un **28,09%**.

En resumen, si se colocan mayor número de capas de geotextil, aumenta en un bajo porcentaje el costo total de la obra, pero este aspecto debe quedar en segundo plano y no debería importar debido a que en toda construcción civil se pretende dar seguridad y efectividad en toda obra, como en esta aplicación que se demuestra que si se logra mejorar y reforzar la capacidad del suelo, por lo tanto de no se tendrá inconvenientes de problemas de asentamientos en las edificaciones.

**Tabla 3.22.-** Analisis de Costos-Beneficios del refuerzo del suelo con geotextil en un suelo Arena-Limosa (SM)

PROF.	SIN REFUERZO		CON REFUERZO			% DE REFORZAMIENTO DEL SUELO	COSTO POR N· DE CAPAS
		CAPACIDAD PORTANTE		N· CAPAS	CAPACIDAD PORTANTE		
-		1444,1 KN/m <sup>2</sup>	-	-	1881 KN/m <sup>2</sup>	-	\$ 1.480,00
<b>0,30 m</b>	SUELO COMPACTADO	1554 KN/m <sup>2</sup>	GEOTEXTIL	1	2269,36 KN/m <sup>2</sup>	20,64%	\$ 952,96
<b>0,60 m</b>	SUELO COMPACTADO	1694 KN/m <sup>2</sup>	GEOTEXTIL	2	2409,33 KN/m <sup>2</sup>	28,08%	\$ 1.265,92
<b>0,90 m</b>	SUELO COMPACTADO	1834 KN/m <sup>2</sup>	GEOTEXTIL	3	2549,31 KN/m <sup>2</sup>	35,52%	\$ 1.638,88
<b>1,20 m</b>	SUELO COMPACTADO	1974 KN/m <sup>2</sup>	GEOTEXTIL	4	2689,28 KN/m <sup>2</sup>	42,97%	\$ 1.901,84
<b>1,50 m</b>	SUELO COMPACTADO	2114 KN/m <sup>2</sup>	GEOTEXTIL	5	2827,77 KN/m <sup>2</sup>	50,30%	\$ 2.214,00

## CONCLUSIONES

- Se demuestra que para la función de refuerzo del suelo, implementando Geosintéticos se obtienen excelentes resultados, puesto que si se aplica para la construcción de una zapata corrida de una edificación, y la misma se refuerza con varias capas de geosintéticos, mejora la capacidad portante y admisible del suelo, además disminuyen los asentamientos provocadas por las cargas, por lo tanto es factible y se puede implementar los geosintéticos como material de refuerzo del suelo en las construcciones civiles en nuestro medio, ya que estos materiales pueden aplicarse en cualquier tipo de suelo, hasta en el más desfavorable como suelos arenosos y arcillosos los cuales están presentes en muchas partes de nuestra Ciudad de Manta.
- La metodología realizada y aplicada por MEYERHOF, para el cálculo de capacidad de carga última en una cimentación sin y con refuerzo de geosintéticos, demuestra que sí se puede mejorar la capacidad portante y admisible del suelo, además de ser una metodología muy confiable, puede aplicarse en diferentes tipos de suelos como arcillas y arenas, brindando excelentes resultados.  
Se establece que la metodología implementada por HUANG Y MENQ, es ideal para cuando se requiera reforzar un tipo de suelo Arena-Limosa, la misma que se puede utilizar geotextil o geomallas estableciendo buenos resultados, ya que se demostró que se puede mejorar hasta un 35% la capacidad portante y admisible del suelo.
- Aplicando la metodología de capacidad de carga última de MEYERHOF, para reforzar una zapata corrida, en un tipo de suelo Arcilla-Arenosa hasta con 5 capas de geotextil tejido se obtiene un mejoramiento relativo de un 19,31%, también se muestra un mejoramiento de un 50,4% aplicado la misma metodología, pero analizando un suelo Arena-Limosa, donde se obtuvieron mejores resultados, por tal razón se concluye que esta metodología se puede utilizar cuando se quiera reforzar suelos Arenosos. En cuanto al asentamiento generado por las cargas en un suelo Arcillo-Arenoso se obtuvieron valores de 0,234 m sin refuerzos, y el mismo desciende a 0,19 m con refuerzo de geosintéticos mejorando el asentamiento en un 23,14%. Utilizando la metodología DE HUANG Y MENQ, en un tipo de suelo Arena-Limosa, la capacidad portante y admisible del suelo para una zapata corrida reforzada con 5 capas de Geomalla espaciada cada 30 cm mejora en un 35,69%.

- Los resultados de asentamientos obtenidos en el software, basado en elementos finitos, dejan ver en claro que existe un mejoramiento relativo de los niveles de asentamientos ocurrido en la zapata producto de las cargas, los cuales decrecen en función que se aumentó el número de capas de geosintéticos, ya que estas trabajan de mejor forma entre menor sea la separación de los refuerzos. En resumen, para una zapata corrida, cimentada sobre un tipo de suelo Arcilla-Arenosa, reforzado con 5 capas de geotextil espaciada cada 30 cm, el asentamiento disminuye de 23,8 cm a 19,5 cm por la tanto existe un mejoramiento del 22,05% con respecto al asentamiento.

De igual manera en la misma zapata cimentada sobre un tipo de suelo Arena-Limosa, reforzada hasta con 5 capas de geomallas, el asentamiento disminuye de 36,4 cm a 31 cm; por la tanto existe un mejoramiento de un 17,40 %.

- Para el análisis Costo-Beneficio, se realizó una comparación de costos del proceso que se lleva a cabo para la construcción de una cimentación para una zapata corrida, del cual se obtuvo un precio total de \$1.480,00 dólares sin refuerzo, y un costo total de \$ 952,96 reforzándola con una capa de Geotextil, es decir que con este proceso de reforzamiento se puede lograr un ahorro de \$527,00 dólares y este valor varía de acuerdo al número de capas que se implemente, además se logró reforzar la capacidad portante del suelo de  $1881 \text{ KN/m}^2$  a  $2269,36 \text{ KN/m}^2$  mejorando el suelo en un 20,65%. Y reforzando el suelo con dos capas de geotextil a una distancia de 60 cm, espaciada cada 30 cm se obtuvo un costo de \$1.265,92 dólares, generando una diferencia de costos de \$214,08 dólares favorables con respecto al proceso normal que se desarrolla sin ningún refuerzo, y se logra mejorar la capacidad portante del suelo de  $1881 \text{ KN/m}^2$  a  $2409,33 \text{ KN/m}^2$  mejorando el suelo en un 28,09%, además se debe tomar en consideración que los asentamientos mejoran en un 17,40 %, lo cual es relativamente bueno para mejorar las condiciones del suelos. En resumen, los costos totales son menores con el proceso normal, y con este proceso se puede evitar problemas como asentamientos, inundaciones, deslizamientos, incluso se puede llegar a tener una edificación segura con un suelo resistente, que en caso de presencia de sismos o terremotos, la edificación no presente problemas de asentamiento, ni por pisos blandos que puedan ocasionar el colapso de muchas edificaciones.

- El análisis de costos, es muy importante en toda construcción civil, se puede concluir que este proceso es rentable, económico y óptimo para aplicarlo en nuestro medio, ya que se ha demostrado en esta investigación que el proceso de utilización de geotextil y geomalla conlleva a una reducción de costos, y se pueden aplicar a construcciones civiles pequeñas como de gran envergadura, obteniendo múltiples ventajas y beneficios como son seguridad y efectividad en una obra.

## **RECOMENDACIONES**

- Se debe tener claro las diferentes aplicaciones que se pueden realizar con cada uno de los Geosintéticos, para luego poder elegir el tipo de geosintéticos óptimo que puedan cumplir con los requerimientos para los cuales se va a utilizar.
- Analizando los tipos de geotextiles, geomallas y su clasificación, se recomienda que los geotextiles No tejidos deben ser utilizados únicamente como función de separación y drenaje, por lo que no se debe utilizar como refuerzo, ya que sus características y propiedades no lo permiten.
- Las capas de refuerzo deben ser calculadas y modeladas según la clase de construcción que se va llevar a cabo.
- Es recomendable en el caso de aplicar los Geosintéticos como refuerzo en una zapata de una cimentación, hacer una mayor cantidad de iteraciones con varias capas y modelar con diferentes valores de base y profundidad para lograr un resultado óptimo, y así llegar a comparar los costos-beneficios que se pueden lograr.
- Es importante que previamente se realicen los estudios de suelos para determinar las características físicas y mecánicas de los mismos, y así poder implementar las metodologías de acuerdo al tipo de suelo que se vaya a reforzar.
- Se debe evaluar la diferencia de precios de distintas marcas y proveedores para elegir la mejor opción. Además, es necesario verificar las especificaciones técnicas y que sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas cumplan con los diseños realizados para poder implementarlas en obras civiles sin ningún contratiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abramento M., (1995) Simposio de Aplicación de Geosintéticos. Durabilidad y comportamiento de largo plazo de geosintéticos, pp. 217-226. Brasil.
- Amanco R. (2007). Funciones y aplicaciones de los geosintéticos. Documento de apoyo - PAVCO, [www.pavco.com.com](http://www.pavco.com.com) Guatemala.
- Braja M Das (1985) Fundamentos de Ingeniería Geotectónica – Capítulo 11 Cimentaciones Superficiales. Capacidad de Carga y Asentamientos (2da Edición), México pag. 442
- Braja M DAS. (2011) “Principio de ingeniería de cimentaciones”. 4º Edición. México: International thomson editores, 2004. 376p. “Fundamentos de ingeniería geotécnica 2001. 862p.
- Bernuy Traverso Patricia (2004). Aplicación de los Geosintéticos en Obras Civiles- Ingeniera Técnica Comercial GEOSISTEMAS PAVCO SA
- Cevallos Jacinto, Zambrano Hugo (1996). Investigación e los parámetros geotécnicos en relación con los suelos arcillosos del cantón Manta. Ecuador
- Das, B.M., (2001) Strip foundation on geogrid-reinforced clay: a tentative design procedure, International offshore and polar engineering conference, 199, pp. 531-535. Los Angeles
- Geoestudios (2016) Estudios Geotecnicos y de riesgos sismicos de la zona de Tarqui de la ciudad de Manta de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015. Ecuador
- Geosyntetics, D. (2005). Uso de los geosintéticos. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Koerner, R. (1994 y 1997). Designing with Geosynthetics. Tercera y Cuarta Edición. Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Koerner, G. R. (1997). Data Base Development for Determination of Long Term Benefit/Cost of Geotextile Separators, Vol. 2.
- Koerner, R.M. (2014). Geosynthetic Applications in Unpaved and Paved Roads. 27th central PA Geotechnical conf. Hershey, PA, Designing With Geosynthetics. USA

- Maccaferri, América Latina (2017) Refuerzo y estabilización de suelos. Necesidades y Soluciones; MM110177 - 03/2013 (BRASIL) [www.maccaferri.com.ec](http://www.maccaferri.com.ec)
- MACCAFERRI, (2009) Manual Técnico de Refuerzo de Suelos, Brasil.
- Mayorga Garrido Andrea Elizabeth (2012) Aplicación Arquitectónica de los Geosintéticos en Guatemala, abril del 2012, Guatemala.
- Meyerhof, G., Hanna, A. M., 1980, Design charts for ultimate bearing capacity of foundations on sand overlying soft clay. Canada, pp. 300-303.
- Patra, C.R., Das, B.M., Bhoi, M., Shin, E.C., Eccentrically loaded strip foundation on geogrid-reinforced sand. Journal of Geotextiles and Geomembranes, 2006, pp. 254–259.
- PAVCO (2002). Especificaciones Técnicas: Geotextiles Tejidos y No tejidos y geodren planar con y sin tubería. Bogotá, Colombia.
- Pavco, G. (2012). Manual de diseño con geosintéticos. Geosistemas Pavco. Pivaltec S.A Colombia
- PAVCO S.A. 2005. Funciones y aplicaciones de geotextiles. (Disponible en: [http://www.pavco.com.co/files/data/20080902124448\\_s\\_1.pdf](http://www.pavco.com.co/files/data/20080902124448_s_1.pdf)). (s/f).
- Piegari, I. W. (2005). Catedra de cimentaciones de Geosintéticos.
- PIEGARI Walter, R. 2005. Catedra de cimentaciones de Geosintéticos. Mexico; *Geosintéticos*. (Disponible en: <http://www.utn/catedracimientos/geosinteticos2005.com.ar.pdf>). (s/f)
- Sánchez García Laura (1999) Los Geotextiles y su aplicación en carreteras, Instituto Tecnológico de la construcción A.C –México.
- Shukla, S. K. (2002). *Geosynthetics and their applications*. 1st edition, Thomas Telford Ltd. (2016). *An Introduction to Geosynthetic Engineering*.
- Wu, H., Huang, B., Shu, X., & Zhao, S. (2015). *Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular pavement base courses using loaded wheel tester. Geotextiles and Geomembranes*.
- XIX Conferencia Nabor Carrillo, Estructuras Térreas reforzadas con Geosintéticos: una solución rentable que combina dos disciplinas de Ingeniería, Fumio Tatsuoka, Profesor de Ingeniería Geotécnica, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Ciencias de Tokio.

## ANEXOS

<b>ANEXO A:</b> PARÁMETROS DE LOS ENSAYOS DE SUELOS (SPT) EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN - PARROQUIA TARQUI.....	89
<b>ANEXO A-1:</b> PARÁMETROS DE ENSAYOS DE SUELOS (SPT) EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN - BARRIO JOYAY.....	91
<b>ANEXO A-2:</b> PARÁMETROS DE ENSAYOS DE SUELOS (SPT) EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN - SAN MATEO.....	92
<b>ANEXO A-3:</b> PARÁMETROS DE LOS ENSAYOS DE SUELOS (SPT) - BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE.....	93
<b>ANEXO B:</b> TABLA DE RESÚMENES DE DATOS ESTADÍSTICOS DE COHESIÓN Y ÁNGULO DE ROZAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS.....	94
<b>ANEXO B-1:</b> VALORES MEDIOS DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y DE MÓDULO DE POISSON DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN ASTM.....	94
<b>ANEXO B-2:</b> VALORES APROXIMADOS DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y COHESIÓN DE LOS SUELOS.....	95
<b>ANEXO D-1</b> ESPECIFICACIONES Y DATOS TÉCNICOS DE GEOMALLA.....	96
<b>ANEXO D-2</b> ESPECIFICACIONES, DATOS TÉCNICOS DEL GEOTEXTIL TEJIDO.....	97
<b>ANEXO D-3</b> ESPECIFICACIONES Y DATOS TÉCNICOS DEL GEOTEXTIL NO TEJIDO.....	98
<b>ANEXO E:</b> DATOS TÉCNICOS GENERALES DE LOS GEOSINTÉTICOS.....	99
<b>ANEXO F-1</b> PRECIOS DE GEOTEXTILES TEJIDOS.....	100
<b>ANEXO F-2</b> PRECIOS DE GEOTEXTILES NO TEJIDOS.....	100
<b>ANEXO F-3</b> PRECIOS DE GEOMALLAS UNIAXIALES.....	101
<b>ANEXO F-4</b> PRECIOS DE GEOMALLAS BIAXIALES.....	101

**ANEXO A: PARÁMETROS DE LOS ENSAYOS DE SUELOS (SPT) EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN - PARROQUIA TARQUI**

PARROQUIA TARQUI		(ARENA LIMOSA)			1,6		
PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m2	COEFIC. DE POISSON	PESO ESPECIF. (Kn/m3)
0.00 – 0.30 m	*SM	4	4 MPa = 4000Kn/m2	27 - 33 -38	20	0,28	15,70
0.30 – 0.60 m	SM	4	4	27 - 33 -38	20	0,28	15,70
0.60 – 1.00 m	SM	4	4	27 - 33 -38	20	0,28	15,70
1.00 – 1.50 m	SM	3	4	27 - 33 -38	20	0,28	15,70
1.50 – 2.00 m	*ML	3	4	27 - 33 -38	20	0,28	15,70
2.00 – 3.00 m	ML	7	4	27 - 33 -38	20	0,28	15,70
3.00 – 4.00 m	SM	5	4	27 - 33 -38	20	0,28	15,70
4.00 – 5.00 m	ML	4	4	27 - 33 -38	20	0,28	15,70

**Donde:**

\***SM** = Arena Limosa, No Plástica, Compacidad muy Floja.

\***ML** = Mezcla de Limo y Arena, No Plástica, Consistencia Media

**PARROQUIA TARQUI**

**(ARCILLA)**

1,78

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m2	COEFIC. DE POISSON	PESO ESPECIF. (Kn/m3)
0.00 – 0.30 m	*CL	4	6 MPa = 6000Kn/m2	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46
0.30 – 0.60 m	CL	9	6	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46
0.60 – 1.00 m	CL	9	6	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46
1.00 – 1.50 m	*CH	9	6	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46
1.50 – 2.00 m	CL	9	6	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46
2.00 – 3.00 m	CL	10	6	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46
3.00 – 4.00 m	CL	9	6	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46
4.00 – 5.00 m	CL	16	6	20 - 25 - 29	50	0,45	17,46

**Donde:**

\***CL** = Arcilla Arenosa, Media Plástica, Consistencia Media

\***CH** = Arcilla Arenosa, Altamente Plástica, Consistencia Firme

**ANEXO A-1: PARÁMETROS DE ENSAYOS DE SUELOS (SPT) EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN - BARRIO JOCAY**

**BARRIO JOCAY - MANTA**

1,85

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m <sup>2</sup>	COEFIC. DE POISSON	PESO ESPECIF. (Kn/m <sup>3</sup> )
0.00 - 1.00 m	*MH	7	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45	18,15
1.00 - 3.00 m	MH	8	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45	18,15
3.00 - 4.00 m	MH	9	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45	18,15
4.00 - 5.00 m	MH	15	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45	18,15

**Donde:**

\*MH = Limo Arenoso con Alta Plasticidad

**BARRIO JOCAY - MANTA**

1,85

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m <sup>2</sup>	COEFIC. DE POISSON	PESO ESPECIF. (Kn/m <sup>3</sup> )
0.00 - 0,50 m	*SM	5	4	27-38	0,0- 0,2	0,28- 0,30	18,15
0,5 - 1.70 m	*ML	7	6 - 9,0	27-31	0,1- 0,3	0,45	18,15
1.70 - 3.00 m	*CL	8	6 - 9,0	20-29	0,2- 0,7	0,45	18,15
3.00 - 5.00 m	*MH	11	6 - 4,5	23-30	0,1- 0,4	0,45	18,15

**Donde:**

\*SM = Arena Limosa, No Plástica, Compacidad muy Floja.

\*ML = Suelo Limo Arenoso Inorganicos

\*CL = Arcilla Arenosa, Media Plástica, Consistencia Media

\*MH = Limo Arenoso con Alta Plasticidad

**ANEXO A-2: PARÁMETROS DE LOS ENSAYOS DE SUELOS (SPT) EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN - SAN MATEO**

**SECTOR MANTA AZUL - SAN MATEO**

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m2	COEFIC. DE POISSON
0.00 - 0,40 m	*ML	7	6 - 9,0	27-31	0,1- 0,3	0,45
0,40 - 0,80 m	ML	8	6 - 9,0	27-31	0,1- 0,3	0,45
0,80 - 2.00 m	*MH	10	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45
2.00 - 3.00 m	MH	14	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45
3.00 - 4.00 m	MH	17	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45
4.00 - 6.00 m	MH	18	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45

**SECTOR MANTA AZUL - SAN MATEO**

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m2	COEFIC. DE POISSON
0.00 - 0,20 m	ML	5	6 - 9,0	27-31	0,1- 0,3	0,45
0,20 - 1,20 m	ML	7	6 - 9,0	27-31	0,1- 0,3	0,45
1,20- 2.70 m	MH	10	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45
2.70 - 4.00 m	MH	18	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45
4.00 - 5.00 m	MH	33	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45
5.00 - 6.00 m	MH	39	6 - 4,5	34	0,1- 0,4	0,45

**Donde:**

\*ML = Suelo Limo Arenoso Inorganicos

\*MH = Limo Arenoso con Alta Plasticidad

**ANEXO A-3: PARÁMETROS DE LOS ENSAYOS DE SUELOS (SPT) - BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE**

**BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE**

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m2	COEFIC. DE POISSON	PESO ESPECIF. (Kn/m3)
0.00 - 0,30 m	*SM	9	4	27-38	0,0- 0,2	0,30- 0,28	17,66
0,80 - 1,30 m	*ML	2	6 - 9,0	27-33	0,1- 0,3	0,45	17,66
1,30- 1,60 m	ML	4	6 - 9,0	27-33	0,1- 0,3	0,45	17,66
1,60 - 2,50 m	SM	12	6 - 9,0	34	0,1- 0,3	0,45	17,66
2,50 - 3,50 m	ML	4	6 - 4,5	13-25	0,2- 0,8	0,45	17,66
3,50 - 4,00 m	ML	8	6 - 9,0	27-33	0,1- 0,3	0,45	17,66

**BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE**

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN Kn/m2	COEFIC. DE POISSON	PESO ESPECIF. (Kn/m3)
0.00 - 0,30 m	SM	7	4	27-38	0,0- 0,2	0,30- 0,28	17,66
0,80 - 1,30 m	ML	2	6 - 9,0	27-33	0,1- 0,3	0,45	17,66
1,30- 1,60 m	ML	2	6 - 9,0	27-33	0,1- 0,3	0,45	17,66
1,60 - 2,50 m	S- ML	15	6 - 9,0	34	0,1- 0,3	0,45	17,66
2,50 - 3,50 m	*CH	2	6 - 4,5	13-25	0,2- 0,8	0,45	17,66
3,50 - 4,00 m	ML	7	6 - 9,0	27-33	0,1- 0,3	0,45	17,66

**Donde:**

\***SM** = Arena Limosa, No Plástica, Compacidad muy Floja.

\* **ML** = Suelo Limo Arenoso Inorganicos

\***CH** = Arcilla Arenosa, Altamente Plástica, Consistencia Firme

**ANEXO B: TABLA DE DATOS ESTADÍSTICOS DE COHESIÓN Y ÁNGULO DE ROZAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS**  
(Fuente: Ignacio Morilla Abad – Ingeoexpert)

Tipo de Suelo	Ángulo de Rozamiento (Min-Max)	Cohesión (MPa)	Observaciones
GW	35 - 38,5 - 45	-	Los valores indicados son de tipo medio, y corresponden a nuestras naturales. Los valores altos pertenecen a muestras con baja humedad, consolidadas, mientras que las más bajas corresponden a muestras saturadas, poco consolidadas o sueltas
GP	32 - 37 - 43	-	
GM	34 - 38 - 42	0,0-0,1	
GC	28 - 33,5 - 38	0,0-0,3	
SW	30 - 36 - 41	-	
SP	29 - 35 - 40	-	
SM	27 - 32,5 - 38	0,0-0,2	
SM-SC	26 - 31 - 36	0,1-0,3	
SC	25 - 29,5 - 34	0,1-0,4	
ML	27 - 30 - 33	0,1-0,3	
ML-CL	23 - 28 - 31	0,2-0,5	
CL	20 - 25 - 29	0,2-0,7	
MH	23 - 27 - 30	0,1-0,4	
CH	13 - 19 - 25	0,2-0,8	

**ANEXO B-1: VALORES MEDIOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y MÓDULO DE POISSON DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN ASTM**  
(Fuente: Ignacio Morilla Abad – Ingeoexpert)

Tipo de Suelo	Módulo de Deformación (MPa)	Módulo de Poisson ( $\nu$ )
GW y GS	20	0,3
GW-GC y GW-GM	7,5	0,33
GP-GC y GP-GM	12,5	0,36
GP-GC y SW	8	0,35
SP	4	0,27
SW-SM	4	0,30
SP-SM	4	0,28
SW-SC y SP-SC	3	0,28
CL y ML	9	0,45
CL-CH y ML-MH	6	0,45
CH y MN	4,5	0,45

**ANEXO B-2: VALORES APROXIMADOS DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y COHESIÓN DE LOS SUELOS (Fuente: S. Navarro Hudiel)**

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Ángulo de fricción interna (·)</b>	<b>Cohesión C (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Arcilla semidura	15	0.25
Arcilla firme	16	0.10
Arcilla arenosa	22.5	0.05
Limo blando	22.5	0.03
Limo arenoso	32.5	0.02
Arena densa	35	0.00
Grava arenosa	35	0.00

**ANEXO C: FACTORES DE CAPACIDAD DE SOPORTE PARA LAS ECUACIONES DE MEYERHOF, HANSEN, Y VESIC (Para Ángulo de fricción del suelo)**

**Fuente: BRAJA M DAS**

$\phi$ deg.	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_\gamma (M)$	$N_\gamma (V)$
0	<b>5.14</b>	<b>1.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
5	<b>6.49</b>	<b>1.6</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>
10	<b>8.34</b>	<b>2.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>1.2</b>
15	<b>10.97</b>	<b>3.9</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>2.6</b>
20	<b>14.83</b>	<b>6.4</b>	<b>2.9</b>	<b>2.9</b>	<b>5.4</b>
25	<b>20.71</b>	<b>10.7</b>	<b>6.8</b>	<b>6.8</b>	<b>10.9</b>
26	<b>22.25</b>	<b>11.8</b>	<b>7.9</b>	<b>8.0</b>	<b>12.5</b>
28	<b>25.79</b>	<b>14.7</b>	<b>10.9</b>	<b>11.2</b>	<b>16.7</b>
30	<b>30.13</b>	<b>18.4</b>	<b>15.1</b>	<b>15.7</b>	<b>22.4</b>
32	<b>35.47</b>	<b>23.2</b>	<b>20.8</b>	<b>22.0</b>	<b>30.2</b>
34	<b>42.14</b>	<b>29.4</b>	<b>28.7</b>	<b>31.1</b>	<b>41.0</b>
36	<b>50.55</b>	<b>37.7</b>	<b>40.0</b>	<b>44.4</b>	<b>56.2</b>
38	<b>61.31</b>	<b>48.9</b>	<b>56.1</b>	<b>64.0</b>	<b>77.9</b>
40	<b>75.25</b>	<b>64.1</b>	<b>79.4</b>	<b>93.6</b>	<b>109.3</b>
45	<b>133.73</b>	<b>134.7</b>	<b>200.5</b>	<b>262.3</b>	<b>271.3</b>
50	<b>266.50</b>	<b>318.5</b>	<b>567.4</b>	<b>871.7</b>	<b>761.3</b>

## ANEXO D: DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE GEOSINTÉTICOS

### ANEXO D-1 ESPECIFICACIONES Y DATOS TÉCNICOS DE GEOMALLA BIAxIAL



#### FICHA TÉCNICA

GRUPO 04 FICHA 79 PROD. RELACIONADOS

Enero 2018

Página 1 / 1



#### 1. Producto **GEOMALLA BIAxIAL**

#### **GEOTEXGRID C 70 / 70**

#### 2. Definición y propiedades

Geomalla realizada con cables de poliéster pegados de alta tenacidad, unidos por un proceso de agujado de trama y urdimbre. Para ser cubierto antes de las 24 horas posteriores a su colocación.

Como refuerzo para estructuras de retención estándar, cimentaciones en suelos blandos y cimentaciones de carreteras.

Características	Norma	Unidad	Orientación	GEOTEXGRID C
				70 / 70
Gramaje	EN ISO 9864	g/m <sup>2</sup>	----	290 +/-10%
Resistencia a la tracción máxima	EN ISO 10319	kN/m	Longitudinal	70 Valor mínimo
			Transversal	70 Valor mínimo
Alargamiento a la rotura	EN ISO 10319	%	Longitudinal	10 +/-20%
			Transversal	10 +/-20%

Posee un pegado protector por el lado de la instalación.

#### 3. Campo de aplicación

Geotexgrid C 70/70 puede ser utilizado en:

- Confección de muros de contención.
- Contrafuertes en puentes y carreteras.
- Terraplenes para suelos de baja capacidad portante, carreteras y ferrocarriles.
- Plataformas de transferencia de carga con inclusiones rígidas.



Como ventajas están: Recomendado para estructuras a la vista por la alta fricción entre el suelo y la geomalla, mejor estabilización de suelos, también se evitan problemas debido a la presión del agua.

Suministrado en rollos de 100m. Anchura estándar de 5,3m (Otras medidas consultar)

Peso aprox. De 165kg.

## ANEXO D-2 ESPECIFICACIONES Y DATOS TÉCNICOS DEL GEOTEXTIL TEJIDO



### FICHA TÉCNICA

GRUPO 00 FICHA 00 GEOTEXTILES

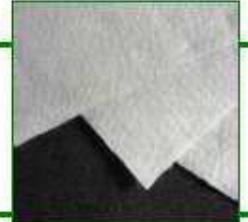
Rev.: Noviembre 2017

Página 1 / 1

## 1. Producto GEOTEXTIL TEJIDO

### GEOTESAN® NT 15

## 2. Descripción y características



**GEOTEXTIL TEJIDO** formado por fibras vírgenes 100% de polipropileno, unidas mecánicamente por un proceso de agujado con posterior termofijado. Campo de aplicación: en carreteras y otras zonas de tráfico, construcciones ferroviarias, movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención, sistemas de drenaje, control de la erosión (protección costera y revestimiento de taludes). Usos previstos: Drenaje, Filtración, Refuerzo y Separación.

PROPIEDAD	NORMA	UNIDADES		CALIFICADOR
		US/ IMPERIAL	METRIC	
<b>FISICAS</b>				
GRAMAJE	ASTM D-5261	3.7 oz/yd <sup>2</sup>	125 g/m <sup>2</sup>	Típico
ESPESOR	ASTM D-5199	45 mils	1.15 mm	Típico
<b>MECANICAS</b>				
RESISTENCIA A TRACCIÓN	ASTM D-4632	123 lbs	546 N	Típico
ALARGAMIENTO	ASTM D-4632	60%	60%	Típico
RESIST AL PUNZONADO (CBR)	ASTM D-6241	351 lbs	1.56 kN	Típico
RESIST AL PUNZONADO	ASTM D-4833	66 lbs	294 N	Típico
RESIST AL RASGADO	ASTM D-4533	45 lbs	200 N	Típico
RESIST AL ESTALLIDO	ASTM D 3786	160 psi	1100 kPa	Típico
<b>DURABILIDAD</b>				
RESIST UV % RETENIDO A LAS 500 hrs	ASTM D-4355	70%	70%	Típico
<b>HIDRÁULICA</b>				
POROMETRÍA (AOS)	ASTM D-4751	170 US Std. Sieve	0.079 mm	Típico
PERMISIVIDAD	ASTM D-4491	2.97 sec <sup>-1</sup>	2.97 sec <sup>-1</sup>	Típico
PERMEABILIDAD	ASTM D-4491	4 gpm/ft <sup>2</sup>	0.3 cm/sec	Típico
<b>PRESENTACIÓN</b>				
DIMENSIÓN DEL ROLLO		13 ft x 328 ft	4 m x 100 m	
DIÁMETRO		15 in	38 cm	
PESO ESTIMADO DEL ROLLO		152 lbs	68.75 kg	

El valor Típico es el valor medio de las probetas ensayadas.

A su vez para aquellas propiedades evaluadas en sentido longitudinal y transversal se ha calculado su valor medio.

## ANEXO D-3 ESPECIFICACIONES Y DATOS TÉCNICOS DE GEOTEXTIL NO TEJIDO



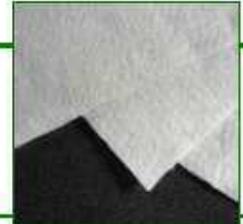
### FICHA TÉCNICA

GRUPO 00 FICHA 10 GEOTEXTILES

Rev.: Octubre 2017 Página 1 / 1

#### 1. Producto

### GEOTESAN<sup>®</sup> NT 35



#### 2. Descripción y características

Geotextil no tejido formado por fibras vírgenes 100% de polipropileno, unidas mecánicamente por un proceso de agujado con posterior termofijado. Campo de aplicación: en carreteras y otras zonas de tráfico, construcciones ferroviarias, movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención, sistemas de drenaje, control de la erosión (protección costera y revestimiento de taludes). Usos previstos: Drenaje, Filtración, Refuerzo y Separación.

PROPIEDAD	NORMA	UNIDADES		CALIFICADOR
		US/ IMPERIAL	METRIC	
<b>FISICAS</b>				
GRAMAJE	ASTM D-5261	8.8 oz/yd <sup>2</sup>	300 g/m <sup>2</sup>	Typical
ESPESOR	ASTM D-5199	79 mils	2.0 mm	MARV
<b>MECANICAS</b>				
RESISTENCIA A TRACCIÓN	ASTM D-4632	247 lbs	1100 N	MARV
ALARGAMIENTO	ASTM D-4632	50%	50%	MARV
RESIST AL PUNZONADO (CBR)	ASTM D-6241	787 lbs	3.5 kN	MARV
RESIST AL PUNZONADO	ASTM D-4833	135 lbs	600 N	MARV
RESIST AL RASGADO	ASTM D-4533	90 lbs	400 N	MARV
<b>DURABILIDAD</b>				
RESIST UV % RETENIDO A LAS 500 hrs	ASTM D-4355	70%	70%	MARV
<b>HIDRÁULICA</b>				
POROMETRIA (AOS)	ASTM D-4751	170 US Std. Sieve	0.075 mm	MaxARV
PERMISIVIDAD	ASTM D-4491	1.6 sec <sup>-1</sup>	1.6 sec <sup>-1</sup>	MARV
PERMEABILIDAD	ASTM D-4491	4 gpm/ft <sup>2</sup>	0.3 cm/sec	MARV
<b>PRESENTACIÓN</b>				
DIMENSIÓN DEL ROLLO		18 ft x 262 ft	5.5 m x 80 m	
DIÁMETRO		21in	53 cm	
PESO ESTIMADO DEL ROLLO		291 lbs	132 kg	

El MARV (Minimun average roll values) es calculado en la dirección más débil.

## ANEXO E: DATOS TÉCNICOS GENERALES DE LOS GEOSINTÉTICOS

DATOS TÉCNICOS	VALOR	UNIDAD	NORMA
Resistencia a la tracción longitudinal	15.0, -2.0	KN/m	UNE-EN ISO 10319
Resistencia a la tracción transversal	14.0, -2.0	KN/m	UNE-EN ISO 10319
Elongación longitudinal en rotura	100, ± 20	%	UNE-EN ISO 10319
Elongación transversal en rotura	70, ± 20	%	UNE-EN ISO 10319
Resistencia al punzonamiento (CBR)	2.5, -0.5	KN	UNE-EN ISO 12236
Perforación dinámica	16, + 3	mm	UNE EN 918
Medida de abertura	160, ± 30	µm	UNE-EN ISO 12956
Permeabilidad al agua	0.0614, -0.00921	m/s	UNE-EN ISO 11058
Capacidad de del flujo de agua en el plano	1.5 Exp-6, -0.5 Exp-6	m <sup>2</sup> /s	UNE EN ISO 12958

### ■ Datos Técnicos Adicionales

DATOS TÉCNICOS ADICIONALES	VALOR	UNIDAD	NORMA
Nº Nódulos/m <sup>2</sup>	1907	-	-
Resistencia a la compresión	180 ± 20%	KN/m <sup>2</sup>	UNE-EN ISO 604
Modulo de elasticidad	1500	N/mm <sup>2</sup>	ISO 178
Absorción de agua	1	mg/4d	DIN 53495
Rango de temperaturas	-30 - 80	°C	-
Volumen de aire en nódulos	5.9	l/m <sup>2</sup>	-

Nota: El peso específico del Poliéster usado en la fabricación de todos los geotextiles es de 1,38

## ANEXO F PRECIOS REFERENCIALES DE LOS GEOSINTÉTICOS

### ANEXO F-1 PRECIOS DE GEOTEXTILES TEJIDOS

#### Geotextiles Tejidos



Los geotextiles tejidos son hechos a base de cintas planas de polipropileno, proporcionan separación para obtener suelos de cimentación de buena calidad. Este producto previene que se mezclen los suelos de cimentación con los agregados de base.

GEOTEXTILES TEJIDOS						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES DEL ROLLO			PRECIO \$/m <sup>2</sup>
			ANCHO (m)	LONG (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	
521717	GG Geotextil Tejido 500X - T 1700	PP	3,80	132	501,6	4.024
521718*	GG Geotextil Tejido 550X - T 2100	PP	3,80	110	418	4.614
521719*	GG Geotextil Tejido 600X - T 2400	PP	3,80	110	418	5.315
521796	GG Geotextil Tejido HP 270 (3000)	PP	3,81	91,44	348	8.303
521798	GG Geotextil Tejido HP 570 (4000)	PP	4,57	91,44	418	10.964
521800	GG Geotextil Tejido HP 665 (6000)	PP	4,57	91,44	418	13.957

### ANEXO F-2 PRECIOS DE GEOTEXTILES NO TEJIDOS

#### Geotextiles No Tejidos

Los geotextiles no tejidos de polipropileno están hechos a base de fibras de polipropileno para separación y drenaje de suelos. Estos productos combinan la alta durabilidad con excelentes propiedades hidráulicas y físicas y ofrecen alta durabilidad con altas velocidades de flujo de agua, proporcionando una extraordinaria contención de suelos. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen drenaje de subsuperficies y separación de caminos.



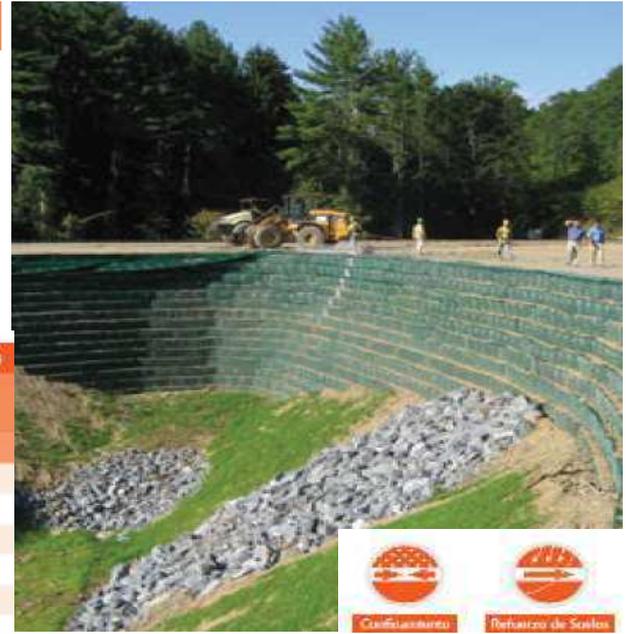
GEOTEXTILES NO TEJIDOS						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES DEL ROLLO			PRECIO \$/m <sup>2</sup>
			ANCHO (m)	LONG (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	
521776	GG Geotextil No Tejido 135N - NT 1600 S	PP	3,50	110	385	2.971
521778	GG Geotextil No Tejido 140NL - NT 1600	PP	3,50	110	385	3.051
521780	GG Geotextil No Tejido 140NC - NT 1800	PP	3,50	110	385	3.838
521782	GG Geotextil No Tejido 140N - NT 2000	PP	3,50	110	385	4.543
521784	GG Geotextil No Tejido 160N - NT 2500	PP	3,50	110	385	4.768
521786	GG Geotextil No Tejido NW200 - NT 3000	PP	3,50	110	385	5.990
521788	GG Geotextil No Tejido 180N - NT 4000	PP	3,50	110	385	7.747
521790	GG Geotextil No Tejido 110N - NT 5000	PP	3,50	110	385	9.543
521793	GG Geotextil No Tejido 1120N - NT 6000	PP	3,50	110	385	10.915
521712*	GG Geotextil No Tejido 135N - NT 1600 S	PP	3,80	110	418	2.971
521713*	GG Geotextil No Tejido 140NL - NT 1600	PP	3,80	110	418	3.051
521736*	GG Geotextil No Tejido 140NC - NT 1800	PP	3,80	110	418	3.838
521714*	GG Geotextil No Tejido 140N - NT 2000	PP	3,80	110	418	4.543

## ANEXO F-3 PRECIOS DE GEOMALLAS UNIAXIALES

### Geomallas uniaxiales

Las geomallas uniaxiales están tejidas y revestidas con polímero y poliéster. Son de alta resistencia y se utilizan para refuerzo de suelos. Son útiles para aplicaciones de suelo mecánicamente estabilizado como muros reforzados internamente, muros de contención segmentados (MCS) y taludes muy inclinados.

Ofrecen altas resistencias de diseño a largo plazo (LTDS del inglés) y una excelente interacción con el suelo. Están hechas con poliéster tejido de alto peso molecular y alta tenacidad para brindar un rendimiento a largo plazo.



#### GEOMALLAS UNIAXIALES PARA REFUERZO DE MUROS Y TERRAPLENES (SOFTWARE DE DISEÑO)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES DEL ROLLO			PRECIO
			ANCHO (m)	LONG (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	
521810	2XT (Res. Ult 29 kN/m)	PE	3,66	45,7	167,3	7.815
521811	3XT (Res. Ult 51,1 kN/m)	PE	3,66	45,7	167,3	8.470
521768	5XT (Res. Ult 68,6 kN/m)	PE	3,66	45,7	167,3	9.818
521812	7XT (Res. Ult 86,1 kN/m)	PE	3,66	60,6	221,8	11.599
521813	8XT (Res. Ult 108 kN/m)	PE	3,66	60,6	221,8	13.110
521814	10XT (Res. Ult 138,6 kN/m)	PE	3,66	60,6	221,8	16.185



## ANEXO F-4 PRECIOS DE GEOMALLAS BIAXIALES



### Geomallas biaxiales

Las geomallas biaxiales BXG se utilizan para aplicaciones de refuerzo de capa de base y estabilización de suelos. Este producto ofrece alta resistencia con baja deformación y por su diseño brinda la máxima capacidad de carga y resistencia al corte. Las geomallas BXG están hechas con polipropileno de alto peso molecular y alta tenacidad que proporciona alta resistencia de carga pasiva. Tienen un recubrimiento de polímero que brinda una interacción óptima con todo tipo de suelos.

#### GEOMALLAS BIAXIALES PARA REFUERZO

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES DEL ROLLO		PRECIO
			ANCHO (m)	LONG (m)	
521890*	Geomalla coextruida G2020	PP	3,95	75	6.701
521891*	Geomalla coextruida G3030	PP	3,95	50	8.042
521895*	Geomalla coextruida G5050	PP	3,95	50	10.300

