PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CIVIL

TRABAJO DE DISERTACIÓN DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

INFLUENCIA DE LA DISPOSICIÓN DE GEOMALLAS EN LA RESISTENCIA DEL SUELO GRANULAR SUJETO A LA APLICACIÓN DE UNA CARGA AXIAL

LINO JAVIER CÓNDOR ANDRADE

KAREN MICHELLE OÑATE BARRENO

DIRECTOR: ING. JORGE ALBUJA, MSC

QUITO, 2019

DECLARACIÓN

Certifico que entiendo el significado de plagio y que la investigación presentada es mi propio trabajo, excepto donde específicamente se indique lo contrario. Al firmar este documento, estoy de acuerdo en que este trabajo puede ser sometido a una prueba electrónica de plagio en cualquier momento y ofreceré una versión adicional de este trabajo en un formato apropiado cuando se solicite:

Nombre: Lino Javier Cóndor Andrade **ID:** 1719739615 **Firma**:_____

Nombre: Karen Michelle Oñate Barreno **ID:** 1724008097 **Firma**:_____

AGRADECIMIENTO

Nuestra gratitud a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por abrirnos sus puertas y permitirnos formar parte de ella, especialmente a la Facultad de Ingeniería - Escuela Civil, que con su valioso aporte en conocimientos contribuyó en nuestro desarrollo y formación profesional.

Agradecemos al Laboratorio de Materiales de Construcción de la PUCE y a sus distintas áreas de trabajo, por la ayuda brindada a lo largo de nuestra carrera y en el desarrollo de la presente investigación.

A todos los Ingenieros que forman parte de la Escuela de Civil, por sus conocimientos y experiencias impartidas durante nuestra formación, en especial a los Ingenieros: Jorge Albuja, Juan C. Montero y Guillermo Realpe, quienes con paciencia y profesionalismo nos guiaron en la adecuada elaboración de este trabajo y la culminación de la carrera.

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres, Freddy y Marivel, quienes son mi ejemplo de esfuerzo y dedicación, que siempre confiaron en mí y a quienes debo todo lo soy.

Y a mi hermano, Gabriel, por ser mi fuente de motivación día a día y mi apoyo incondicional en todo momento.

Karen Oñate

Dedico esta investigación a mis padres, Patricia y Javier, quienes me apoyaron incondicionalmente, y me han ayudado a formarme como la persona que soy el día de hoy.

Lino Cóndor

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la determinación de la influencia de la disposición de geomallas en la capacidad portante al corte del suelo granular sujeto a la aplicación de una carga axial. Donde se emplean las geomallas como material geosintético que permite el reforzamiento del suelo. Posteriormente se realiza un análisis tomando en cuenta las cargas que resiste el suelo y la capacidad de carga que presenta. Para ello, se ha propuesto el ensayo de un modelo suelo-geomalla, el cual hace uso de la arena como material reforzado y geomallas de polipropileno tipo biaxial y multiaxial distribuidas respectivamente en el suelo.

Actualmente, la utilización de geosintéticos es muy común y su empleo es de gran aceptación en el campo de la ingeniería civil, ya que, se le atribuye principalmente factores como: su bajo costo, estética, confiabilidad, técnicas de construcción simples y la capacidad de adaptarse a las diferentes condiciones del sitio (Abdi & Zandieh, 2014).

En la investigación se utilizan las expresiones correspondientes a la capacidad de carga última para suelo no saturado, de manera que se determine la capacidad de carga que puede resistir el modelo suelo-geomalla y la capacidad de carga que presenta el suelo al colocarse en él distintos tipos de distribución de geomallas, con ello, la presente investigación pueda ser usada como referencia para la optimización del uso de geomallas de acuerdo a su distribución en los suelos de fundación en nuestro País.

Palabras Clave:

Arena, Geomalla, Reforzamiento, Carga Axial, Desplazamiento, Capacidad de Carga.

ABSTRACT

The objective of this research work is to determine the influence of the geogrid arrangement on the bearing capacity of the granular soil subject to the application of an axial load, where geogrids are used as a geosynthetic material that allows the reinforcement of the soil. Subsequently, an analysis is made taking into account the loads the soil resists and the bearing capacity that it presents. For this purpose, a soil geogrid model has been proposed, which uses sand as a reinforced material and polypropylene geogrids of biaxial and multi-axial type distributed respectively in the soil.

Currently, the use of geosynthetics is very common and its use is widely accepted in the field of civil engineering, as it is attributed mainly factors such as: low cost, aesthetics, reliability, simple construction techniques and the ability to adapt to different site conditions (Abdi & Zandieh, 2014).

The research uses the expressions corresponding to the ultimate bearing capacity for unsaturated soil, so as to determine the bearing capacity that can resist the soil-geogrid model and the bearing capacity that the soil presents when different types of distribution of geogrids are placed in it. Whit this, the research can be used as a reference for the optimization of the use of geogrids according to their distribution in the foundation in our country

Key words:

Sand, Geogrid, Reinforcement, Axial Load, Displacement, Bearing Capacity.

CONTENIDO

RESUMEN **5**
ABSTRACT **6**
ÍNDICE DE FIGURAS **11**
ÍNDICE DE GRÁFICAS **14**
ÍNDICE DE TABLAS **16**
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS **18**
ÍNDICE DE ANEXOS **20**
SIMBOLOGIA **23**
Capítulo 1: Generalidades **26**
1.1 Introducción 26
1.2 Alcance 29
1.3 Disposición del Plan 30
1.4 Objetivos 31
1.4.1. Objetivo General 31
1.4.2. Objetivos Específicos 31
Capítulo 2: El Suelo y los Suelos Granulares **32**
2.1. Origen de los suelos 32
2.2. Propiedades Generales de los Suelos 36
2.2.1. Propiedades físicas de los suelos 37
2.2.2 Diagrama trifásico de los suelos 37
2.2.3 Clasificación de los Suelos 41
2.2.4 Distribución de Tamaños de Partículas y Gradación 42
2.2.4.1 Curva Granulométrica 46
2.2.5 Propiedades Generales de las Arenas 48
2.2.6 Suelos no saturados 49
2.3 Propiedades del suelo granular a ensayar 51
2.3.1 Gravedad Específica 53
2.3.2 Clasificación Manual Visual 54
2.3.3 Peso Unitario 55
2.3.4 Granulometría 55
2.3.5 Contenido de Humedad 58
2.3.6 Compactación Modificada del Suelo 59

2.3.7 Densidad Natural del Suelo 62
Capítulo 3: Geo-sintéticos y Geomallas **64**
3.1 Geo-sintéticos 64
3.1.1 Reseña Histórica de los Geo sintéticos 64
3.1.2 Descripción de los Geo-sintéticos 65
3.1.3 Aplicaciones de los Geo-sintéticos 66
3.1.4 Objetivos de los Geo-sintéticos 71
3.1.5 Tipos de Geo-sintéticos 71
3.1.6 Función de los Geo-sintéticos 72
3.2 Geomallas 73
3.2.1 Reseña Histórica de las Geomallas 73
3.2.2 Descripción de las Geomallas 74
3.2.3 Fabricación de las Geomallas 75
3.2.4 Usos de las Geomallas 76
3.2.5 Clasificación de Geomallas 80
3.2.6 Tipos de Geomallas utilizadas en la Investigación 84
Capítulo 4: Cimentaciones y Capacidad de Carga **88**
4.1. Cimentaciones 88
4.2. Capacidad de Carga Última del Suelo 92
4.2.1 Teoría de Capacidad de Carga Última para Suelos Saturados 93
4.2.2 Teoría de Capacidad de Carga para Suelos No Saturados 97
4.2.3 Capacidad de Carga Bruta vs Capacidad de Carga Ultima Neta 98
4.2.4 Factores de Seguridad 98
4.2.5 Interacción Geomalla, Suelo y Cimentación 99
4.2.6 Distribución de Esfuerzos 100
4.3 Capacidad de Carga del Suelo Reforzado 105
4.3.1 Método de Binquet y Lee (1975) 105
4.3.2 Método de Sharma et al (2009) 109
Capítulo 5: Metodología de Investigación **113**
5.1 Metodología de Pre-investigación 113
5.1.1 Elección del Material 113
5.1.2 Elección de Compactación del Suelo 113
5.1.3 Elección del Molde 127
5.1.4 Distribución de Geomallas 133

5.2 Metodología de Verificación.....136
5.2.2 Ensayo de Suelo No Saturado – Muestra 1.....138
5.2.3 Ensayo de Suelo Saturado – Muestra 2.....142
Capítulo 6: Ensayos de Laboratorio del Suelo.....**146**
6.1 Ensayo de Tracción de Geomallas.....146
6.2 Ensayo de Corte Directo.....147
6.3 Densidad Natural.....150
6.3.1 Densidad Natural - Muestra SG.....150
6.3.2 Densidad Natural - Muestra DU (B).....150
6.3.3 Densidad Natural - Muestra DT (B).....150
6.3.4 Densidad Natural - Muestra DTI (B).....151
6.3.5 Densidad Natural – Muestra DU (M).....151
6.3.6 Densidad Natural – Muestra DT (M).....151
6.3.7 Densidad Natural – Muestra DTI (M).....151
6.4 Prueba de Carga Axial.....152
6.4.1 Ensayo de Carga Axial - SG.....152
6.4.2 Ensayo de Carga Axial con Geomalla Biaxial.....153
6.4.3 Ensayo de Carga Axial con Geomalla Multiaxial.....154
6.5 Textura de Suelo en Compactación Modificada.....156
Capítulo 7: Análisis y Comparación de Resultados.....**158**
7.1 Curvas Resultantes.....158
7.2 Muestra Sin Geomalla.....158
7.3 Muestras con Geomalla Biaxial.....159
7.4 Muestras con Geomalla Multiaxial.....163
7.5 Comparación Global de Resultados.....167
7.2 Cálculo Experimental de Capacidad de Carga del Suelo.....168
7.3 Tipo de falla generada.....173
7.4 Mejor arreglo de geomalla.....175
Capítulo 8: Discusión de Resultados.....**178**
8.1 Cálculo Teórico de Capacidad de Carga Última del Suelo.....178
8.1.1 Cálculo Teórico de Capacidad de Carga Última - Suelo No Reforzado.....178
8.2.2 Cálculo Teórico de Capacidad de Carga para Suelo Reforzado.....185
8.2 Cálculo de Capacidad de Carga mediante el Programa OPTUM G2.....188
8.2.1 Cálculo de Capacidad de Carga para Suelo No Reforzado.....189

8.2.2 Cálculo de la Capacidad de Carga para Suelo Reforzado.....192

8.3 Resumen de Resultados Experimentales, Resultados Numéricos y Resultados Teóricos.....194

8.4 Gráficas de Disipación de Esfuerzo (kg/cm^2) vs Profundidad (cm).....195

8.4.1 Bulbo de Presiones - SG.....197

8.5 Gráficas obtenidas mediante los ensayos de verificación.....199

8.5.1 Gráfica y Datos de la curva Carga (kg) vs Desplazamiento (mm) para la muestra con S=64.15%.....199

8.5.2 Gráfica y Datos de la curva Carga (kg) vs Desplazamiento (mm) para la muestra con S=83.87%.....200

8.5.3 Resumen de los resultados del ensayo de verificación.....201

8.6 Comparación de resultados experimentales, teóricos y numéricos.....201

Capítulo 9: Conclusiones y Recomendaciones.....204

9.1 Conclusiones.....204

9.2 Recomendaciones.....208

Capítulo 10: Fuentes Bibliográficas.....211

11.1 Anexo 1: Cálculos de Propiedades del Suelo Seleccionado.....214

11.1.1 Gravedad Específica.....214

11.1.2 Peso Unitario.....214

11.1.3 Granulometría de los Suelos.....217

11.1.4 Compactación Modificada.....222

11.1.5 Densidad Natural.....224

11.1.6 Porosidad.....226

11.1.7 Corte Directo.....227

11.2 Anexo 2: Especificación Técnica de Geomallas.....233

Geomalla Biaxial – Modelo Bx 1100.....233

11.3 Anexo 3: Ejemplo de Cálculo de Compactación con Maquina Universal.....234

11.4 Anexo 4: Tablas y Gráficas de Compactación en la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 toneladas......235

11.4.1 Muestras Sin Geomalla.....235

11.4.2 Muestras con Geomalla Biaxial.....253

11.4.3 Muestras con Geomalla Multiaxial.....298

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1::Angulosidad de los suelos. Tomado de Ishibashi & Hazarika, 2010, p.13. 35
Figura 2: Relaciones entre las Fases del Suelo. Tomado de Rodríguez y Hermilo, 2013, p.42. 38
Figura 3: Serie de tamices con su apertura en (mm). Tomado de Ishibashi y Hazarika, 2010, p. 21.....43
Figura 4: Designación de las partículas según su tamaño. Tomado de Rodríguez y Hermilo. p. 53.....44
Figura 5: Tamaños de partícula y métodos de medición. Tomado de Rodríguez y Hermilo. p. 54.....45
Figura 6: Clasificación de los suelos. Tomado de Ishibashi y Hazarika, 2010, p.20. 45
Figura 7: Curvas Granulométricas de algunos suelos. Tomado de Juárez y Rico, 1975, p. 100. 46
Figura 8: Curva SWCCs para arena, limo y arcilla. Tomado de Unsaturated Soil Mechanics, 2004, pág. 42.....51
Figura 9: Separación de capas con geotextil. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 108.....67
Figura 10: Disminución de superficie de falla con geomalla. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 136.....68
Figura 11: Beneficios de geotextil en taludes. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 351.....69
Figura 12: Sistema de drenaje con geodren. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 252.....70
Figura 13: Capa de granular con implantación de geomalla. Recuperado de Tensar information bulletin.....77
Figura 14: Paredes MSE. Recuperado de: Shored Mechanically Stabilized Earth (SMSE) Wall Systems Design Guidelines.....79
Figura 15: Geomalla uniaxial extruida. Tomado de: Geosoft PAVCO, 2009, p. 14. 81
Figura 16: Geomalla biaxial extruida. Tomado de: Geosoft PAVCO, 2009, p. 14. 81
Figura 17: Geomalla biaxial tejida. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 29. 82
Figura 18: Geomalla multiaxial. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 30.....83
Figura 19: Geomalla biaxial. Tomado de: Tensar- Product Specification, 2018, pg. 4. 84
Figura 20: Geomalla multiaxial. Recuperado de Tensar: Product Specification, 2011, pg. 1. 86
Figura 21: Zapata Aislada. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 160.....89
Figura 22: Zapata Combinada. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 160.....90
Figura 23: Zapata corrida. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 160.....90
Figura 24: Viga de Cimentación. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 161.....91
Figura 25: Losa de Cimentación. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 161.....91

Figura 26: Tipos de Rotura del Suelo. Tomado de: Egoavil y Gonzáles, 2012, pg. 30. 97
Figura 27: Falla en cimentación poco profunda reforzada por geomallas. Tomado de: Zhang et al., 2009, pg. 41.....100
Figura 28: Carga Concentrada en el semiespacio. Tomado de: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.273.....102
Figura 29: Bulbo de Presiones. Tomado de: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.277.....104
Figura 30: Plano de Rotura y Zonas bajo la Cimentación según Binquet y Lee. Tomado de Egoavil y Gonzáles, 2012, p.69 106
Figura 31: Distribución de Esfuerzos Bajo la Cimentación de Binquet y Lee. Tomado de: Egoavil y Gonzáles, 2012, p.70. 106
Figura 32: Geometría de la tensión en el refuerzo. Tomado de Egoavil y Gonzáles, 2012, p.71.....106
Figura 33: Equilibrio de Esfuerzos Cimentaciones Reforzadas y No Reforzadas. Tomado de Egoavil y Gonzáles, 2012, p.70 107
Figura 34: Factores adimensionales I, M, J. Tomado de: Egoavil y Gonzáales, 2012, p.73109
Figura 35: Mecanismos de Fallas en Suelos Reforzados con Geomallas. Tomado de:Egoavil y Gonzáales, 2012, p.83 110
Figura 36: Mecanismo de Falla en Zona Reforzada. Tomado de: Egoavil y Gonzáales , 2012, p.86.....111
Figura 37: Proceso de Compactación con Proctor Modificado. Elaboración Propia 116
Figura 38: Distribución Uniforme (DU) de geomallas en el molde. Elaboración propia 121
Figura 39: Distribución Trapezoidal (DT) de geomallas en el molde. Elaboración propia ..122
Figura 40: Distribución Trapezoidal Invertida (DTI) de geomallas en el molde. Elaboración propia 122
Figura 41: Molde de madera. Elaboración Propia.....128
Figura 42: Partes del molde de madera. Elaboración Propia. 128
Figura 43: Nivel del suelo en el molde de madera. Elaboración Propia. 128
Figura 44: Molde metálico. Elaboración Propia. 131
Figura 45: Partes del molde metálico. Elaboración Propia. 131
Figura 46: Nivel del suelo en el molde metálico. Elaboración Propia. 131
Figura 47: Distribución Uniforme de Geomallas en el Suelo ((DU). Elaboración Propia. ...133
Figura 48: Modelo de Distribución Uniforme de Geomallas en el Suelo ((DU). Elaboración Propia. 134
Figura 49: Distribución Trapezoidal de Geomallas en el Suelo (DT). Elaboración Propia. .134
Figura 50: Modelo de Distribución Trapezoidal de Geomallas en el Suelo (DT). Elaboración Propia. 135
Figura 51: Distribución Trapezoidal Inversa de Geomallas en el Suelo Granular (DTI). Elaboración Propia. 135
Figura 52: Modelo de Distribución Trapezoidal Inversa de Geomallas en el Suelo Granular (DTI). Elaboración Propia.....136
Figura 53: Estructura del ensayo en el marco de carga manual. Elaboración Propia. 136
Figura 54: Modos de Falla de una Cimentación. Tomado de: Mamani Luis, 2014, pg. 165. 174
Figura 55: Grafica de Falla de Terzaghi Aproximada. Elaboración Propia. 176

Figura 56: Modelo 2D utilizado en el programa de cálculo Optum G2. Obtenido del programa Optum G2 188
Figura 57: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2 190
Figura 58: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.1. Obtenido del programa Optum G2 190
Figura 59: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2 191
Figura 60: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2 193
Figura 61: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2 193
Figura 62: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2 193
Figura 63: Bulbo de Presiones – SG. Elaboración Propia. 197
Figura 64: Bulbo de Presiones – DU (B). Elaboración Propia 197
Figura 65: Bulbo de Presiones – DU (M). Elaboración Propia 198
Figura 66: Bulbo de Presiones – DT (B). Elaboración Propia 198
Figura 67: Bulbo de Presiones – DT (M). Elaboración Propia 199
Figura 68: Bulbo de Presiones – DTI (B). Elaboración Propia. 199
Figura 69: Bulbo de Presiones – DTI (M). Elaboración Propia. 199

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Curva Granulométrica de Arena de San Antonio. Elaboración propia. 57
Gráfica 2: Curva Granulométrica de Arena de Pifo. Elaboración propia 58
Gráfica 3: Curva de Compactación 1 de Arena de San Antonio en (g/cm^3). Elaboración Propia. 60
Gráfica 4: Curva de Compactación 2 de Arena de San Antonio en (g/cm^3). Elaboración Propia. 60
Gráfica 5: Curva de compactación de Arena de Pifo en g/cm3.Elaboracion Propia.....61
Gráfica 6: Factor de Profundidad. Elaboración Propia. 95
Gráfica 7: Esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal – Sin Saturar. Elaboración Propia. 148
Gráfica 8: Esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal – Saturado. Elaboración Propia.....149
Gráfica 9: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.....152
Gráfica 10: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.....153
Gráfica 11: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.....153
Gráfica 12: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.....154
Gráfica 13: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.....154
Gráfica 14: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.....155
Gráfica 15: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.....155
Gráfica 16: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 158
Gráfica 17: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 158
Gráfica 18: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 159
Gráfica 19: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 159
Gráfica 20: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 160
Gráfica 21: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 160
Gráfica 22: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 161
Gráfica 23: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia 161
Gráfica 24: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 162
Gráfica 25: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 162
Gráfica 26: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 163
Gráfica 27: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 163
Gráfica 28: Esfuerzo vs. Desplazamiento. Gráfica completa. Elaboración Propia. 164
Gráfica 29: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 164
Gráfica 30: Esfuerzo vs. Desplazamiento - Gráfica completa. Elaboración Propia.....165
Gráfica 31: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 165
Gráfica 32: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 166
Gráfica 33: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 166
Gráfica 34: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia. 167
Gráfica 35: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia. 167
Gráfica 36: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia. 168
Gráfica 37: Esfuerzo vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.....169
Gráfica 38: Longitud del refuerzo de geomalla en función del ancho de la zapata B. Elaboración propia. 176
Gráfica 39: Factor de Profundidad. Elaboración Propia. 181

Gráfica 40: Curva SWCCs para arena, limo y arcilla. Tomado de Unsaturated Soil Mechanics, 2004, pág. 42.....184
Gráfica 41: Factores adimensionales I, M, J. Tomado de: Egoavil y Gonzáles, 2012, p.737.2. 186
Gráfica 42: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia. 195
Gráfica 43: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia. 196
Gráfica 44: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia. 196
Gráfica 45: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia. 200
Gráfica 46: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia. 200
Gráfica 47: Grafico de barras del porcentaje de incremento de la capacidad de carga (BCR%) de los datos experimentales. Elaboración Propia. 202
Gráfica 48: Grafico de barras del porcentaje de incremento de la capacidad de carga (BCR%) de los datos del modelamiento numérico. Elaboración Propia. 203
Gráfica 49: Grafico de barras del porcentaje de incremento de la capacidad de carga (BCR%) de los cálculos teóricos. Elaboración Propia. 203

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades y comportamientos de las arenas. Tomado de Ishibashi y Hazarika, 2010, p.51.....48
Tabla 2: Resultados de la gravedad específica de la arena de San Antonio. Elaboración propia 53
Tabla 3: Resultados de la clasificación manual visual. Elaboración propia 55
Tabla 4: Resultados del peso unitario. Elaboración Propia.....55
Tabla 5: Serie de tamices utilizado para el tamizado del material. Elaboración propia.....56
Tabla 6: Parámetros Derivados de la Granulometría de Arena de San Antonio. Elaboración Propia 57
Tabla 7: Parámetros Derivados de la Granulometría de Arena de Pifo. Elaboración Propia..58
Tabla 8: Resultados promedios del ensayo Proctor Modificado – Arena de San Antonio. Elaboración Propia.....61
Tabla 9: Resultados obtenidos del ensayo Proctor Modificado – Arena de Pifo. Elaboración Propia. 61
Tabla 10: Porcentajes de Compactación de Muestras. Elaboración Propia. 63
Tabla 11: Usos del geosintético en función del tipo de geosintético. Recuperado de Principles and Practice of Ground Improvement, pg 32. 72
Tabla 12: Propiedades, Integridad Estructural y Durabilidad de las geomallas biaxiales BX1100. Tomado de: Tensar- Product Specification, 2018, pg. 4. 85
Tabla 13: Propiedades de la geomalla multiaxial TX5. Tomado de Tensar- Product Specification, 2011, pg. 1.....87
Tabla 14: Valores de "KB". Tomado de: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.276. 103
Tabla 15: Cargas utilizadas para la Muestra 1. Elaboración Propia.....137
Tabla 16: Cargas utilizadas para la Muestra 2. Elaboración Propia.....138
Tabla 17: Resistencia Paralela a la producción. Elaboración Propia. 146
Tabla 18: Resistencia perpendicular a la producción. Elaboración Propia. 147
Tabla 19: Angulo de resistencia al corte y cohesión del suelo - Sin Saturar. Elaboración Propia. 148
Tabla 20: Angulo de resistencia al corte y cohesión del suelo- Saturado. Elaboración Propia. 149
Tabla 21: Comprobación de la Densidad Muestra SG. Elaboración Propia. 150
Tabla 22: Comprobación de la Densidad Muestra DU (B). Elaboración Propia. 150
Tabla 23: Comprobación de la Densidad Muestra DT (B). Elaboración Propia.....151
Tabla 24: Comprobación de la Densidad Muestra DTI (B). Elaboración Propia. 151
Tabla 25: Comprobación de la Densidad Muestra DU (M). Elaboración Propia. 151
Tabla 26: Comprobación de la Densidad Muestra DT (M). Elaboración Propia.....151
Tabla 27: Comprobación de la Densidad Muestra DTI (M). Elaboración Propia.....152
Tabla 28: Resumen de Esfuerzos y Cargas Máximas a los 21 mm. Elaboración Propia.....169
Tabla 29: Datos para el Cálculo de Capacidad de Carga. Elaboración Propia. 178
Tabla 30: Datos para el Cálculo de Capacidad de Carga. Elaboración Propia. 182
Tabla 31: Resultados Optum G2. Elaboración propia.....194

Tabla 32: Resumen de Resultados Experimentales, Numéricos y Teóricos. Elaboración Propia. 194
Tabla 33: Datos para la elaboración de la curva. Elaboración Propia.....200
Tabla 34: Datos para la elaboración de la curva. Elaboración Propia.....201
Tabla 35: Resumen de los ensayos de verificación. Elaboración Propia. 201

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Cantera de Pifo. Tomado de: Urgiles y Boada, 2001, Pg. 38. 52
Fotografía 2: Cantera de Pifo. Tomado de: Urgiles y Boada, 2001, Pg. 42. 53
Fotografía 3: Sistema de drenaje con geotextil. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 213. 70
Fotografía 4: Geomalla soldada. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 28. 80
Fotografía 5: Geomalla uniaxial. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 30. 82
Fotografía 6: Geomalla biaxial. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 29. 83
Fotografía 7: Alternativa de compactación 1. Elaboración Propia. 117
Fotografía 8: Colocación y nivelación del material en el molde. Elaboración Propia 119
Fotografía 9: Placa de madera para compactar. Elaboración Propia 119
Fotografía 10: Alternativa de compactación 2. Elaboración Propia. 119
Fotografía 11: Toma de lecturas de altura de cada capa. Elaboración Propia. 120
Fotografía 12: Colocado de Geomallas. Elaboración Propia. 123
Fotografía 13: Ubicación de cimentación. Elaboración Propia. 124
Fotografía 14: Acople entre placa de fuerza y cimentación. Elaboración propia. 125
Fotografía 15: Muestra de suelo reforzado ensayado. Elaboración Propia. 125
Fotografía 16: Desmontaje de molde metálico. Elaboración Propia. 125
Fotografía 17: Retiro de material granular. Elaboración Propia. 126
Fotografía 18: Deformación de Geomalla Biaxial. Elaboración Propia. 126
Fotografía 19: Deformación de Geomalla Triaxial. Elaboración Propia. 126
Fotografía 20: Molde de madera – Vista 1. Elaboración Propia. 129
Fotografía 21: Molde de madera – Vista 2. Elaboración Propia. 129
Fotografía 22: Molde Metálico – Vista 1. Elaboración Propia. 132
Fotografía 23: Molde Metálico – Dos caras. Elaboración Propia. 132
Fotografía 24: Molde Metálico – Caras y Base. Elaboración Propia. 132
Fotografía 25: Disposición de los deformímetros. Elaboración Propia. 137
Fotografía 26: Preparación del ensayo: Deformímetros y colocación de la caja. Elaboración Propia. 141
Fotografía 27: Disposición de los equipos a utilizar antes de ensayar. Elaboración Propia. 141
Fotografía 28: Medición de la falla post ensayo. Elaboración Propia. 142
Fotografía 29: Prueba para saturar el suelo, se lo dejo reposar 3 días al suelo con agua. Elaboración Propia. 144
Fotografía 30: Preparación del ensayo, eliminación del exceso de agua. Elaboración Propia. 145
Fotografía 31: Disposición de los equipos a utilizar antes de ensayar. Elaboración Propia. 145
Fotografía 32: Medición de la falla post ensayo y medida de la densidad del suelo. Elaboración Propia. 145
Fotografía 33: Textura del material compactado con la humedad óptima. Elaboración Propia. 156
Fotografía 34: Comprobación de la resistencia a rayarse del material compactado con la humedad óptima. Elaboración Propia. 156
Fotografía 35: Comprobación de la facilidad del moldeo del material compactado con la humedad óptima. Elaboración Propia. 156

Fotografía 36: Falla por punzonamiento y falla general por corte en la muestra no saturada de los ensayos de verificación(S=37%). Elaboración Propia. 174
Fotografía 37: Falla por punzonamiento y falla general por corte en la muestra no saturada de los ensayos de verificación(S=43%). Elaboración Propia. 175

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Granulometría de Arena de San Antonio: Curva Granulométrica 1. Elaboración Propia. 217
Anexo 2: Granulometría de Arena de San Antonio: Curva Granulométrica 2. Elaboración Propia. 218
Anexo 3: Curvas Granulométricas de Arena de San Antonio. Elaboración Propia. 218
Anexo 4: Granulometría de Arena de Pifo: Curva Granulométrica 1. Elaboración Propia. .219
Anexo 5: Granulometría de Arena de Pifo: Curva Granulométrica 2. Elaboración Propia. .219
Anexo 6: Curvas Granulométricas de Arena de Pifo. Elaboración Propia. 219
Anexo 7: *Curva Granulométrica Promedio de Arena de San Antonio. Elaboración Propia.* 220
Anexo 8: *Curva Granulométrica Promedio de Arena de Pifo. Elaboración Propia.*....221
Anexo 9: Resultados de Proctor Modificado de la Arena de San Antonio. Elaboración Propia. 222
Anexo 10: Curva de Compactación 1 de Arena de San Antonio en (g/cm^3). Elaboración Propia. 222
Anexo 11: Curva de Compactación 2 de Arena de San Antonio en (g/cm^3). Elaboración Propia. 223
Anexo 12: Resultados de Proctor Modificado de la Arena de Pifo. Elaboración Propia.....223
Anexo 13:: Curva de compactación de Arena de Pifo en g/cm3.Elaboracion Propia.....224
Anexo 14: Grafica de Angulo de Fricción vs. Porosidad. Elaboración Propia. 226
Anexo 15: Especificación Técnica de Geomalla Biaxial Bx 1100. Tomado de: Tensar Corp. Pg. 4. 233
Anexo 16: Tabla de Alturas Medidas para Compactación de una Capa. Elaboración Propia. 234
Anexo 17: Cálculos de Muestra 1 – SG. Elaboración Propia. 238
Anexo 18: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – SG. Elaboración Propia. 238
Anexo 19: Gráfica Esfuerzo vs. Desplazamiento Muestra 1 – SG. Elaboración Propia.....239
Anexo 20: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 – SG. Elaboración Propia. 239
Anexo 21: Cálculos de Muestra 2 – SG. Elaboración Propia. 240
Anexo 22: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – SG. Elaboración Propia. 241
Anexo 23: Gráfica Esfuerzo vs. Deformación Muestra 2 – SG. Elaboración Propia 241
Anexo 24: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 – SG. Elaboración Propia. 242
Anexo 25: Cálculos de Muestra 3 – SG. Elaboración Propia. 248
Anexo 26: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – SG. Elaboración Propia. 249
Anexo 27: Gráfica Esfuerzo vs. Desplazamiento Muestra 3 – SG. Elaboración Propia....249
Anexo 28: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 – SG. Elaboración Propia. 250
Anexo 29: Cálculos de Muestra 4 – SG. Elaboración Propia. 251
Anexo 30: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 4 – SG. Elaboración Propia. 252
Anexo 31: Gráfica Esfuerzo vs. Deformación Muestra 4 – SG. Elaboración Propia 252
Anexo 32: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 4 – SG. Elaboración Propia 253
Anexo 33: Cálculos de Muestra 1 – DU (B). Elaboración Propia. 255
Anexo 34: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DU (B). Elaboración Propia. ...256
Anexo 35: Gráfica Esfuerzo vs. Desplazamiento Muestra 1 – DU (B). Elaboración Propia 256
Anexo 36: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DU (B). Elaboración Propia 257

Anexo 37: Cálculos de Muestra 2 – DU (B). Elaboración Propia. 259
Anexo 38: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DU (B). Elaboración Propia. ...259
Anexo 39: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DU (B). Elaboración Propia.....260
Anexo 40: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DU (B). Elaboración Propia 260
Anexo 41: Cálculos de Muestra 3 – DU (B). Elaboración Propia. 262
Anexo 42: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DU (B). Elaboración Propia. ...262
Anexo 43: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DU (B). Elaboración Propia.....263
Anexo 44: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DU (B). Elaboración Propia 263
Anexo 45: Cálculos de Muestra 4 – DU (B). Elaboración Propia. 265
Anexo 46: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 4 – DU (B). Elaboración Propia. ...265
Anexo 47: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 4 – DU (B). Elaboración Propia.....266
Anexo 48: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 4 –DU (B). Elaboración Propia 266
Anexo 49: Cálculos de Muestra 1 – DT (B). Elaboración Propia.....272
Anexo 50: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DT (B). Elaboración Propia. 272
Anexo 51: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DT (B). Elaboración Propia 273
Anexo 52: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DT (B). Elaboración Propia.....273
Anexo 53: Cálculos de Muestra 2 – DT (B). Elaboración Propia.....276
Anexo 54: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DT (B). Elaboración Propia. 276
Anexo 55: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DT (B). Elaboración Propia 277
Anexo 56: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DT (B). Elaboración Propia.....277
Anexo 57: Cálculos de Muestra 3 – DT (B). Elaboración Propia.....280
Anexo 58: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DT (B). Elaboración Propia.....280
Anexo 59: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DT (B). Elaboración Propia 281
Anexo 60: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DT (B). Elaboración Propia.....281
Anexo 61: Cálculos de Muestra 1 – DTI (B). Elaboración Propia.....285
Anexo 62: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DTI (B). Elaboración Propia....285
Anexo 63: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DTI (B). Elaboración Propia.....286
Anexo 64: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DTI (B). Elaboración Propia.....286
Anexo 65: Cálculos de Muestra 2 – DTI (B). Elaboración Propia.....288
Anexo 66: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DTI (B). Elaboración Propia....288
Anexo 67: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DTI (B). Elaboración Propia.....289
Anexo 68: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DTI (B). Elaboración Propia.....289
Anexo 69: Cálculos de Muestra 3 – DTI (B). Elaboración Propia.....296
Anexo 70: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DTI (B). Elaboración Propia....297
Anexo 71: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DTI (B). Elaboración Propia.....297
Anexo 72: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DTI (B). Elaboración Propia.....298
Anexo 73: Cálculos de Muestra 1 – DU (M). Elaboración Propia.....304
Anexo 74: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DU (M). Elaboración Propia....305
Anexo 75: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DU (M). Elaboración Propia.....305
Anexo 76: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DU (M). Elaboración Propia.....306
Anexo 77: Cálculos de Muestra 2 – DU (M). Elaboración Propia.....308
Anexo 78: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DU (M). Elaboración Propia....309
Anexo 79: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DU (M). Elaboración Propia.....309
Anexo 80: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DU (M). Elaboración Propia.....310
Anexo 81: Cálculos de Muestra 3 – DU (M). Elaboración Propia.....318

Anexo 82: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DU (M). Elaboración Propia....318
Anexo 83: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DU (M). Elaboración Propia.....319
Anexo 84: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DU (M). Elaboración Propia.....319
Anexo 85: Cálculos de Muestra 1 – DT (M). Elaboración Propia.....322
Anexo 86: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DT (M). Elaboración Propia....322
Anexo 87: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DT (M). Elaboración Propia 323
Anexo 88: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DT (M). Elaboración Propia 323
Anexo 89: Cálculos de Muestra 2 – DT (M). Elaboración Propia.....325
Anexo 90: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DT (M). Elaboración Propia....326
Anexo 91: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DT (M). Elaboración Propia 326
Anexo 92: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DT (M). Elaboración Propia 327
Anexo 93: Cálculos de Muestra 3 – DT (M). Elaboración Propia.....333
Anexo 94: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DT (M). Elaboración Propia...334
Anexo 95: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DT (M). Elaboración Propia 334
Anexo 96: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DT (M). Elaboración Propia 335
Anexo 97: Cálculos de Muestra 1– DTI (M). Elaboración Propia.....337
Anexo 98: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DTI (M). Elaboración Propia...337
Anexo 99: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DTI (M). Elaboración Propia 337
Anexo 100: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 – DTI (M). Elaboración Propia.....338
Anexo 101: Cálculos de Muestra 2– DTI (M). Elaboración Propia.....340
Anexo 102: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DTI (M). Elaboración Propia.341
Anexo 103: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DTI (M). Elaboración Propia 341
Anexo 104: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 – DTI (M). Elaboración Propia.....342
Anexo 105: Cálculos de Muestra 3– DTI (M). Elaboración Propia.....347
Anexo 106: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DTI (M). Elaboración Propia.348
Anexo 107: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DTI (M). Elaboración Propia 348
Anexo 108: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 – DTI (M). Elaboración Propia.....349

SIMBOLOGIA

$V = Volumen\ total$

$W = Peso\ total$

$V_S = Volumen\ de\ sólidos$

$V_w = Volumen\ de\ agua$

$V_g = Volumen\ de\ aire$

$W_S = Peso\ de\ sólidos$

$W_W = Peso\ del\ agua$

$W_g = Peso\ del\ aire$

$n = Porosidad$

$e = Relación\ de\ Vacíos$

$S = Grado\ de\ Saturación\ (\%)$

$W_o = Humedad\ inicial\ (\%)$

$\Upsilon m = Peso\ específico\ de\ la\ masa\ del$ suelo $\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm3}}\ \text{o}\ \frac{\text{ton}}{\text{m3}}\right)$

$\Upsilon s = Peso\ especifico\ del\ suelo$

$G_s = Gravedada\ Específica$

$Cu = Coeficiente\ de\ Uniformidad$

$Cc = Coeficiente\ de\ Curvatura$

$SG = Suelo$ sin $geomalla$

$DU\ (B) = Distribucion\ uniforme\ con\ geomalla\ biaxial$

$DT\ (B) = Distribucion\ trapezoidal\ con\ geomalla\ biaxial$

$DTI\ (B) = Distribucion\ trapezoidal\ invertidacon\ geomalla\ biaxial$

$DU\ (M) = Distribucion\ uniforme\ con\ geomalla\ multiaxial$

$DT\ (M) = Distribucion\ trapezoidal\ con\ geomalla\ multiaxial$

$DTI\ (M) = Distribucion\ trapezoidal\ invertida\ con\ geomalla\ multiaxial$

$\gamma_{máx} = Densidad\ seca\ máxima\ \left(\frac{gr}{cm^3}\right)$

$W_{opt} = Humedad\ óptima\ (\%)$

$\sigma_n = Esfuerzo\ Normal\ (KPa)$

$\tau = Esfuerzo\ Cortante\ (KPa)$

$\emptyset = Ángulo\ de\ fricción\ del\ suelo$

$c = cohesión\ del\ suelo$

$B = Ancho\ de\ zapata$

$L = Longitus\ de\ zapata$

$Df = Profundiad\ de\ desplante$

$\tau f = Esfuerzo\ Cortante\ (KPa)$

$q = Sobrecarga$

$\gamma_h = Densidad\ Humeda\ del\ Suelo\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$

$\gamma_d = Densidad\ Seca\ del\ Suelo\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$

$M_{Sh} = Masa\ de\ suelo\ húmedo\ mas\ anillo\ (gr)$

$M_{anillo} = Masa\ de\ anillo\ para\ densidad\ (gr)$

$D_{anillo} = Diametro\ del\ anillo\ para\ densidad\ (cm)$

$H_{anillo} = Altura\ del\ anillo\ para\ densidad\ (cm)$

$q_u = Capacidad\ de\ carga\ última\ del\ suelo$

$f_{cs}, f_{qs}, f_{\gamma s} = Factores\ de\ forma$

$f_{cd}, f_{qd}, f_{\gamma d} = Factores\ de\ profundidad$

$f_{ci}, f_{qi}, f_{\gamma i} = Factores\ de\ inclinación$

$\beta = Ángulo\ de\ inclinación$

$q_{u,net} = Capacidad\ de\ carga\ última\ neta$

$q_d = Capacidad\ de\ carga\ de\ diseño$

$F_1, F_2, F_3, F_4, = Fuerzas\ verticales\ según\ Binquet\ y\ Lee$

$S_1 y\ S_2 = Fuerza\ cortante\ según\ Binquet\ y\ Lee$

$T = Fuerza\ desarrollada\ en\ el\ refuerzo\ según\ Binquet\ y\ Lee$

$q_{u(R)} = Capacidad\ de\ suelo\ reforzado$

$BCR = Relación\ de\ la\ capacidad\ de\ carga$

$M_{sumergida} = Masa\ de\ suelo\ sumergida\ para\ Gs\ (kg)$

$M_{sss} = Masa\ de\ suelo\ saturada\ superficie\ seca\ para\ Gs\ (gr)$

$M_{matraz} = Masa\ del\ matraz\ para\ Gs\ (gr)$

$M_{ma+w+suelo} = Masa\ del\ matraz, agua\ y\ suelo\ para\ Gs\ (gr)$

$M_{seca+recipiente} = Masa\ de\ suelo\ seca\ y\ recipiente\ para\ Gs\ (gr)$

$M_{recipiente} = Masa\ del\ recipiente\ para\ Gs\ (gr)$

$M_{matraz+w} = Masa\ del\ matraz\ con\ agua\ para\ Gs(gr)$

$\gamma_{obtenida} = Densidad\ seca\ obtenida\ en\ ensayo\ de\ densidad\ natural\ \left(\frac{g}{cm3}\right)$

$\%W_{real} = Porcentaje\ de\ humedad\ real\ en\ ensayo\ de\ densidad\ natural\ (\%)$

$V_{capa} = Volumen\ de\ la\ capa\ (cm^3)$

$W_{saco} = Humedad\ del\ saco\ (\%)$

$M_{molde} = Masa\ del\ molde\ para\ peso\ unitario\ (gr)$

$V_{molde} = Volumen\ del\ molde\ para\ peso\ unitario\ (gr)$

$M1_{molde+suelto} = Masa\ del\ molde\ con\ suelo\ seco, muestra\ 1\ (gr)$

$M1_{molde+compact} = Masa\ del\ molde\ con\ suelo\ compactado, muestra\ 1\ (gr)$

$M2_{molde+suelto} = Masa\ del\ molde\ con\ suelo\ seco, muestra\ 2\ (gr)$

$M2_{molde+compac} = Masa\ del\ molde\ con\ suelo\ compactado, muestra\ 2\ (gr)$

$\gamma_{suelto} = Peso\ unitario\ suelto\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$

$\gamma_{compactado} = Peso\ unitario\ compactado\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$

$\gamma_{húmeda} = Densidad\ húmeda\ \left(\frac{gr}{cm^3}\right)$

$M_{húmeda} = Masa\ húmeda\ (kg)$

$M_{seca} = Masa\ seca\ (kg)$

$M_{capa1} = Masa\ del\ saco\ a\ colocar\ (kg)$

$M_{agua} = Masa\ de\ agua\ (kg)$

$V_{capa} = Volumen\ de\ la\ capa\ 1\ (cm^3)$

$M_{capa1} = Masa\ de\ la\ capa\ 1\ (kg)$

$\gamma_{húmeda1} = Densidad\ humeda\ de\ la\ capa\ 1\ \left(\frac{gr}{cm^3}\right)$

$\gamma_{seca} = Densidad\ seca\ de\ la\ capa\ 1\ \left(\frac{gr}{cm^3}\right)$

$\%\gamma = Porcentaje\ respecto\ a\ la\ densidad\ seca\ maxima\ (\%)$

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Introducción

El suelo es considerado uno de los factores más importantes en proyectos de Ingeniería Civil, ya que constituye el medio receptor de las cargas provenientes de la superestructura. Estas cargas son transmitidas a través de la cimentación, la cual las distribuye y las dispersa en el suelo adyacente (Jiménez, 1980). Por lo que, el material soportante debe tener la capacidad de carga suficiente para poder resistir todas las solicitaciones a las que se enfrenta la estructura, sin sufrir deformaciones excesivas (Jiménez, 1980).

De los diferentes tipos de suelos, se utilizará una arena mal gradada con limo (SP) como material reforzado en el modelo planteado en la presente investigación, el suelo se compone en su mayoría de arena, razón por la cual posee poca capacidad de retención de agua, filtrándose la misma hacia los estratos inferiores. (Villalaz, 2014)

Adicionalmente, en la ejecución de un proyecto de Ingeniería, después de realizar un estudio de la capacidad de carga del suelo para conocer la estabilidad y comportamiento funcional de la estructura, puede ser necesario mejorar las propiedades del suelo o excavar a un estrato más profundo para poder cumplir con las solicitaciones de la estructura (Durán, 2015).

Para ello, a lo largo del tiempo se han desarrollado técnicas de reforzamiento de suelos, de manera que permitan mejorar la capacidad de carga de estos. Entre las técnicas desarrolladas, se busca un reemplazo o reforzamiento de las propiedades mecánicas del suelo mediante el empleo de elementos de refuerzo tales como barras, fibras,

textiles y otros materiales que permitan absorber los esfuerzos de tensión a los que se enfrenta el suelo (Latha & Somwanshi, 2009).

> "Varios elementos como barras, tiras, mallas, fibras, textiles y combinaciones de diferentes materiales metálicos como el acero y aluminio mejores conocidos como geosintéticos han sido utilizados para el reforzamiento del suelo. La geomalla es el geosintético más usado para mejorar la capacidad de carga y reducir los asentamientos de un suelo de fundación." (Latha & Somwanshi, 2009, p1)

Respecto a la implementación de geosintéticos, específicamente al uso de geomallas, permite crear una resistencia Geomalla-Suelo capaz de recibir, transmitir y distribuir las cargas de manera uniforme. Además, su instalación in situ es simple, incluso con condiciones climáticas desfavorables. (Latha & Somwanshi, 2009).

En los últimos años los geosintéticos para reforzamiento de suelo o GRS han ganado gran popularidad en el campo de la construcción ya que reemplazan a los pilotes rígidos de hormigón como contrafuertes para soportar superestructuras de puentes de mediana o pequeña extensión (Abdi & Zandieh, 2014).

Entre las aplicaciones de los geosintéticos como refuerzo, se encuentra la estabilización de estructuras de tierra, por ejemplo: cimentaciones, muros de contención, terraplenes y taludes.

Es muy común la utilización de geosintéticos y su empleo es de gran aceptación en el campo ingenieril por su bajo costo, estética, confiabilidad, técnicas de construcción simples y la capacidad de adaptarse a las diferentes condiciones del sitio. Los

geosintéticos han sido utilizados en la ingeniería geotécnica durante las tres últimas décadas, su utilización se rige a la separación de materiales y al refuerzo para mejorar la estabilidad de terraplenes, muros entre otros (Abdi & Zandieh, 2014).

El reforzamiento de suelos de cimentaciones, mediante la implementación de geosintéticos como las geomallas, ha sido investigado por lo largo del tiempo y de acuerdo con los estudios realizados, coinciden que la longitud de geomalla de refuerzo a colocarse en el suelo está en un rango de 5 a 8 veces o de 3 a 6 veces el ancho de la cimentación y el numero óptimo de capas para el reforzamiento es de 3 a 4 siempre y cuando se utilice un arreglo uniforme de las mismas (Latha & Somwanshi, 2009), de esta manera se obtendrá la máxima capacidad de carga del suelo. Algunos de los estudios realizados sobre suelos granulares reportan que el arreglo o configuración de geosintético utilizado tiene efectos muy significativos en la resistencia de este tipo de suelo (Abu Farsakha, M., Chen, Q. and Sharma, 2013).

Los principales parámetros de control que se debe tomar en cuenta al momento de ejecutar los ensayos en suelos reforzados con geomallas son los siguientes: (Guido, V.A., Chang, D.K., Sweeney, 1987)

- Profundidad de capas de geomalla
- Número de capas de geomalla
- Dimensión de cada capa de geomalla

También, en pruebas realizadas a escala in situ se puede evaluar de manera útil el diseño y comportamiento del suelo-estructura, sin embargo, realizar este tipo de pruebas resulta costoso por su propia naturaleza, ya que, es difícil simular las

condiciones del sitio para la realización de esta clase de estudios (Adams, M.T., Collin, 1997).

Entre otros estudios realizados, se ha investigado sobre la implementación de geomallas en la construcción de carreteras, en donde, se encontró que la respuesta de asentamiento y distribución de presión se encuentran íntimamente relacionadas con la configuración de capas de geomalla de refuerzo (Tsukada, Y; Isoda, T; Yamanouchi, 1993).

En el presente trabajo se desarrolla el mecanismo de mejoramiento de un suelo granular mediante la implementación de distintas distribuciones de geomallas, debido a que investigaciones recientes han revelado que su implementación aporta un notable aumento de capacidad de carga, y ayuda a disminuir sus asentamientos, cuando se trabaja con cimentaciones superficiales. (Latha & Somwanshi, 2009).

1.2 Alcance

El presente trabajo de titulación pretende analizar y evaluar el comportamiento del suelo frente a la aplicación de carga uniaxial sobre un área constante, al modificar la distribución de capas de geomallas de refuerzo colocadas en el subsuelo. Las distribuciones de geomalla a implementarse son: Distribución Uniforme "DU", trapezoidal "DT", trapezoidal invertido "DTI" y los tipos de geomallas a utilizarse son: geomalla biaxial y geomalla multiaxial.

Para lo anteriormente mencionado, se realizarán ensayos de laboratorio de manera que se obtengan parámetros suficientes para realizar el análisis. Con los resultados obtenidos se evaluarán los efectos de cada distribución y tipo de geomalla respecto a la carga uniaxial aplicada, con la finalidad de encontrar un arreglo de geomalla óptimo.

Para el desarrollo de esta propuesta de investigación se realizarán modelos de prueba, con los cuales se ensayará el suelo granular con y sin arreglos de geomalla, dichos modelos serán elaborados mediante un proceso de compactación que se seleccionará a partir de una pre-investigación.

1.3 Disposición del Plan

La investigación comienza con la definición y propiedades de los suelos granulares (Capítulo 2), definición y principales características de las geomallas (Capítulo 3). A continuación, se hace una breve introducción de las cimentaciones, y las teorías de capacidad de carga utilizadas en la investigación (Capítulo 4). Posteriormente, se presenta la metodología de investigación utilizada en la pre investigación y en el sistema suelo-estructura en estudio (Capitulo 5), una vez determinada la metodología de investigación se ejecutan los ensayos de laboratorio al suelo con y sin reforzamiento (Capítulo 6), se presentan el análisis y comparación de resultados (Capítulo 7) y se realizan una discusión de los resultados (Capitulo 8). Finalmente, se desarrollan las conclusiones y recomendaciones de la investigación (Capítulo 9), se citan las fuentes bibliográficas utilizadas (Capítulo 10) y se adjuntan los anexos los cuales poseen el sustento teórico y práctico de la presente investigación (Capítulo 11).

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Determinación de la resistencia a la carga uniaxial de un suelo granular, reforzado con diferentes arreglos de geomallas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar la naturaleza y propiedades de los suelos granulares.
- Identificar la naturaleza y propiedades de geomallas biaxial Bx 1100 y multiaxiales Tx 5, además de los tipos de arreglo de geomallas a utilizarse.
- Caracterizar a los componentes del sistema: suelo y geomalla a través de ensayos de laboratorio.
- Analizar y evaluar los resultados de cada distribución de geomallas utilizadas en el suelo.

Capítulo 2: El Suelo y los Suelos Granulares

Suelo se refiere a todo agregado natural de partículas minerales que son separables por desintegración mecánica o descomposición química (Terzaghi & Peck, 2013). Trata de un conjunto de partículas que varían "vectorialmente", de manera que poseen una organización y propiedades definidas. Por consiguiente, respecto a un eje horizontal, el suelo no varía de manera significativa, a diferencia de su eje vertical, en el cual varía en cuanto aumenta su profundidad (Juarez & Rico, 1975)

El término ¨suelo¨, varía en función de los intereses de cada profesión, ejemplificando, el Geólogo considera al suelo como todo el material que se encuentre cerca de la superficie. Por otro lado, el Agrónomo, considera al suelo como la parte superficial de la tierra que posee capacidad de sustentar vida vegetal. Sin embargo, para el ingeniero el suelo puede ser desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas, o lutitas suaves, es decir, que considera como suelo a todo tipo de material terroso. Además, el agua se considera como parte integral del suelo, debido a que juega un papel fundamental en su comportamiento (Juárez & Rico, 1976).

Debido a la existencia de varios tipos de suelos, es común utilizar los términos como grava, arena limo y arcilla, para diferenciar los distintos tamaños de las partículas del suelo (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

2.1. Origen de los suelos

El origen de los suelos se lo puede describir a través del ciclo natural de desintegración de la roca y descomposición de la materia orgánica. La formación de las rocas se da a partir del magma líquido, que se encuentra en lo profundo de la tierra, a una profundidad aproximada de 2885 km de la superficie terrestre (Young, 1975a).

El origen de los suelos se lo puede describir a través del ciclo natural de desintegración de la roca y descomposición de la materia orgánica. La formación de las rocas se da a partir del magma líquido, que se encuentra en lo profundo de la tierra, a una profundidad aproximada de 2885 km de la superficie terrestre (Young, 1975a).

El magma se solidifica al alcanzar una profundidad de 4 a 6 km por debajo de los océanos, el magma solidificado son rocas denominadas como ígneas, rocas tales como son el basalto, el granito, entre otros tipos de rocas (Ishibashi & Hazarika, 2010b).

Posteriormente, los suelos se forman mediante el desgaste de las rocas al verse afectadas por varios tipos de ataques del medio ambiente como la erosión por agua y aire, la intrusión de plantas en las rocas, la expansión y la contracción térmica, entre otros fenómenos ambientales. Luego, las partículas de las rocas erosionadas son transportadas mediante el viento y el agua, para después ser depositadas a una cierta distancia de donde sucedió la erosión. Durante el transporte las partículas sufren ataques químicos y físicos que provocan una disminución en el tamaño de las partículas (Ishibashi & Hazarika, 2010b).

Los mecanismos de ataque, o desintegradores se pueden considerar de dos tipos:

- **Desintegración Mecánica:** en donde se forman las arenas, limos y en casos especiales las arcillas. Se produce por la intemperización de las rocas, mediante agentes físicos, como la congelación del agua en juntas y grietas, cambios periódicos de temperaturas, plantas, efectos de organismos, entre otros (Juárez & Rico, 1976).
- **Desintegración Mecánica:** en donde se forman las arenas, limos y en casos especiales las arcillas. Se produce por la intemperización de las rocas, mediante

agentes físicos, como la congelación del agua en juntas y grietas, cambios periódicos de temperaturas, plantas, efectos de organismos, entre otros (Juárez & Rico, 1976).

- **Desintegración Química:** usualmente se forman las arcillas, al modificarse la constitución mineralógica o química de las rocas. El factor más importante en la descomposición es el agua, y los mecanismos de ataque como la carbonación, la deshidratación, y la oxidación (Juárez & Rico, 1976).

La temperatura del lugar juega un papel muy importante en la formación de los suelos, de tal manera que, en los lugares fríos se dan más formaciones arenosas o limosas, es decir, que poseen un tamaño de partículas mayor. Por otro lado, en zonas húmedas y cálidas, se dan formaciones arcillosas. Sin embargo, existe un caso especial que se da en los desiertos, donde el suelo predominante es la arena, debido a la ausencia de agua (Juárez & Rico, 1976).

La influencia del intemperismo puede dar lugar a la formación de: suelos residuales y suelos transportados. Los suelos residuales, son aquellos que al desgastarse se mantienen en el sitio de erosión. Y es suelo transportado cuando las partículas depositadas pueden ser removidas y redepositadas en otra zona mediante agentes geológicos (Juárez & Rico, 1976).

Los depósitos del talud se crean por la combinación del escurrimiento de aguas en las laderas de colinas y montes y se ven ayudados por la gravedad. Estos depósitos suelen ser sueltos, heterogéneos, y con material grueso predominante. Además, los torrentes de agua transportan materiales de mayor tamaño, dependiendo de la velocidad de las

crecientes de agua, estos materiales son depositados de forma graduada, donde los materiales más finos terminan en las zonas planas de los valles (Juárez & Rico, 1976).

Es más, los depósitos cerca de los lagos son de grano fino debido a las bajas velocidades a las que fluye el agua y los depósitos marinos suelen estar estratificados reflejando las características de las costas adyacentes. También, las grandes presiones y abrasiones provocadas por el movimiento de las masas de hielo forman estratos heterogéneos que van desde grandes bloques hasta materiales muy finos, formando los depósitos glaciares (Juárez & Rico, 1976).

De manera similar, el arrastre de viento forma dos tipos de suelos: el loess, y los médanos. El loess, es un suelo constituido por una mezcla de arenas finas cuarzosas, algo feldespáticas y limos, su estructura se conforma de manera cohesiva. En cambio, los médanos, son aglomeraciones de arena suelta que fueron detenidas por un obstáculo mientras eran transportadas por el viento, constituidas por algo de mica y arenas cuarzosas uniformes (Juárez & Rico, 1976).

Sumado a esto, el comportamiento mecánico e hidráulico en los suelos gruesos, se ve condicionado por la compactación del suelo, y la orientación de las partículas, por lo que, la composición mineral de los suelos pasa a ser secundaria (Juárez & Rico, 1976).

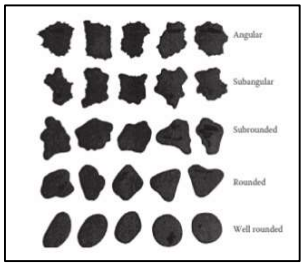


Figura 1::Angulosidad de los suelos. Tomado de Ishibashi & Hazarika, 2010, p.13.

2.2. Propiedades Generales de los Suelos

El suelo es un material único, de naturaleza compleja, cuyas características se las describe a continuación:

- El suelo se compone de una parte solida o granular, una parte líquida conformada por el agua, y una parte gaseosa que es el aire existente entre partículas del suelo. Por lo que, al suelo no se lo puede considerar como un material sólido continuo (Ishibashi & Hazarika, 2010b).
- El suelo se compone de una parte solida o granular, una parte líquida conformada por el agua, y una parte gaseosa que es el aire existente entre partículas del suelo. Por lo que, al suelo no se lo puede considerar como un material sólido continuo (Ishibashi & Hazarika, 2010b).
- El comportamiento del suelo depende del tamaño de las partículas y de la cantidad de agua que exista en el mismo. Por ejemplo, un suelo que posea un mayor tamaño de partículas tendrá mayor capacidad para que exista un flujo de agua mediante la porosidad del suelo. Así mismo, cuando un suelo se encuentra húmedo, este se hincha, y cuando un suelo se seca, este se contrae (Ishibashi & Hazarika, 2010b).
- El suelo posee características que dependen del tiempo, por lo que es susceptible a fluir con el paso del tiempo. Además, el suelo es un material no isotrópico, es decir, que sus propiedades físicas no son idénticas en todas las direcciones, debido a la formas de las partículas que lo componen y la dirección en la que se depositan bajo la acción de la gravedad (Ishibashi & Hazarika, 2010b).

2.2.1. Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas de los suelos usualmente limitan el uso del mismo en la agricultura y en el campo ingenieril. Además, como las propiedades físicas (textura, , porosidad, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje y consistencia) son más difíciles de alterar que las propiedades químicas (capacidad de intercambio catiónico y pH) comúnmente las propiedades físicas determinan el uso del suelo (Young, 1975b).

Las propiedades físicas de los suelos usualmente limitan el uso del mismo en la agricultura y en el campo ingenieril. Además, como las propiedades físicas (textura, , porosidad, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje y consistencia) son más difíciles de alterar que las propiedades químicas (capacidad de intercambio catiónico y pH) comúnmente las propiedades físicas determinan el uso del suelo (Young, 1975b).

En ingeniería la fuerza, la compresibilidad, la permeabilidad, el cambio de volumen, la compactibilidad y la susceptibilidad al congelamiento son las propiedades más importantes. Además, las estructuras ingenieriles se diseñan con más confianza si se conoce las propiedades del suelo y los posibles cambios que pueden tener con el medio que les rodea y con el paso del tiempo (Young, 1975b).

2.2.2 Diagrama trifásico de los suelos

El suelo puede ser modelado en un diagrama de tres fases en el cual se encuentra la parte sólida, la parte líquida y la parte gaseosa. El diagrama de la Figura 2 muestra la distribución designada para las distintas fases del suelo (Powrie, 2010).

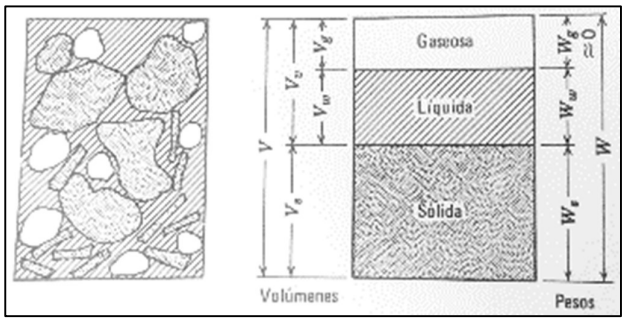


Figura 2: Relaciones entre las Fases del Suelo. Tomado de Rodríguez y Hermilo, 2013, p.42.

Partiendo de la Figura 2, es posible relacionar los volúmenes de cada fase del suelo, de manera que, se puede encontrar las siguientes relaciones: porosidad, relación de vacíos y grado de saturación. La porosidad y la relación de vacíos en el suelo indican de forma relativa el porcentaje del volumen de poros que existen en una muestra de suelo (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

- **Porosidad (n):** es la relación entre el volumen de vacíos o huecos y el volumen total, puede multiplicarse por 100 para expresar su valor en porcentaje.

$$n = \frac{volumne\ de\ vacíos}{volumen\ total} = \frac{Vg + Vs}{V}$$

- **Relación de vacíos (e):** es el cociente entre el volumen de vacíos o poros y el volumen de las partículas sólidas, expresada en forma decimal y puede llegar a ser mayor a la unidad.

$$e = \frac{volumen\ de\ vacíos}{volumen\ de\ sólidos} = \frac{Vv}{Vs}$$

En el diagrama se muestra como el suelo se divide en componentes individuales designados como Volumen de sólidos (Vs), Volumen de agua (Vw), Volumen de aire (Va), Peso de los sólidos (Ws), Peso del agua (Ww) y Peso del aire (Wa), en donde el

peso del aire será igual a cero. El Volumen total y el Peso total se lo designa como V y W respectivamente (Powrie, 2010).

El volumen de vacíos es igual al volumen del agua más el volumen del aire. Además, en base a este diagrama se pueden determinar las siguientes propiedades (Powrie, 2010).

- **Grado de saturación (S):** indicador del porcentaje de volumen de vacíos que se encuentran rellenos de agua. El porcentaje de saturación del suelo va desde 0% en suelos completamente secos, al 100% en suelos completamente saturados. Los suelos que se encuentran en un rango entre el 0 % al 100 % se llaman suelos parcialmente saturados (Powrie, 2010).

$$S = \frac{volumen\ de\ agua}{volumen\ de\ vacios} = \frac{Vw}{Vv}$$

S= 0%; suelo seco

S=100%; suelo saturado

S= 0% - 100%; suelo parcialmente saturado

- **Contenido de agua (w_o):** la relación entre pesos de fases comúnmente utilizada es el contenido de agua, se define como el peso de agua dividido para el peso de las partículas sólidas en un elemento de suelo.

  El contenido de agua o humedad del suelo se obtiene mediante el siguiente proceso: se pesa el suelo natural, el cual se pone a secar en el horno, se pesa el suelo seco y por último se calcula la humedad mediante de la diferencia entre

los pesos inicial y seco dividida para el peso seco (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

Para un suelo completamente seco el contenido de agua es del 0%, y los suelos completamente saturados suelen estar en un porcentaje superior a varias decenas. Adicionalmente para suelos altamente arcillosos con estructura abierta que se encuentran en ambientes marinos puede llegar a un porcentaje superior al 200% (Powrie, 2010).

$$w_o = \frac{peso\ inicial - peso\ seco}{peso\ seco} * 100 = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

- **Peso específico ($\boldsymbol{\gamma}$):** se define como la relación entre el peso de las partículas minerales dividido por su volumen, su valor es expresado en unidades de peso por volumen, por ejemplo, en gr/cm^3 o ton/m^3 (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

  Peso específico de la masa del suelo ($\Upsilon \boldsymbol{m}$): relación entre el peso de los sólidos más el peso del agua y el volumen de la masa del suelo**.**

$$\Upsilon m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{Ws + Ww}{Vm}$$

  Peso específico de la fase sólida (Υs): relación entre el peso de los sólidos y el volumen de los sólidos.

$$\Upsilon s = \frac{W_s}{V_s}$$

Peso unitario seco (Υd): relación entre el peso de los sólidos para el volumen total de la masa de suelo. El peso unitario seco del suelo considera un volumen constante sin tomar en cuenta la contracción del suelo, y remueve matemáticamente el volumen del agua.(Powrie, 2010)

$$\Upsilon d = \frac{peso\ del\ sólido}{volumen\ total} = \frac{Ws}{V}$$

- **Gravedad específica (Gs):** es la relación que existe entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua. El peso unitario del agua en unidades internacionales es de 9.81 kN/m^3.

  La mayoría de los suelos poseen un valor de gravedad específica que se encuentra en el rango de 2.65 a 2.70. Esto implica que la partícula de suelo sólida es de 2.65 a 2.70 veces más pesadas que el peso del agua en el mismo volumen. En algunos casos asumir un valor de gravedad específica entre 2.65 a 2.70, no presenta diferencias en los resultados respecto a su gravedad especifica que se presenta en realidad (Powrie, 2010).

$$Gs = \frac{Ws/V_S}{\gamma_W}$$

2.2.3 Clasificación de los Suelos

Debido a la gran complejidad y la infinita variedad con la que los diferentes tipos de suelos se presentan en la naturaleza, la Mecánica de Suelos desarrolló sistemas de clasificación desde un inicio, esto debido al poco conocimiento que se tenía sobre los suelos y fundándose en los criterios puramente descriptivos nacieron varios sistemas

de clasificación, los cuales están basados en las características granulométricas (Juarez & Rico, 1975).

Debido a la gran complejidad y la infinita variedad con la que los diferentes tipos de suelos se presentan en la naturaleza, la Mecánica de Suelos desarrolló sistemas de clasificación desde un inicio, esto debido al poco conocimiento que se tenía sobre los suelos y fundándose en los criterios puramente descriptivos nacieron varios sistemas de clasificación, los cuales están basados en las características granulométricas (Juarez & Rico, 1975).

El objetivo de la clasificación de los suelos es brindar la base sobre la cual se logre agrupar a los suelos de acuerdo a sus propiedades físicas y apariencia para poder compararlos, describir sus propiedades y estimar su conveniencia al ser utilizado en obras civiles (Berry & Reid, 1993).

Las características físicas y de apariencia que presenta un suelo granular dependen esencialmente de la distribución de las partículas del suelo, por otro lado, en suelos arcillosos sus características dependen de la adherencia y plasticidad de los suelos, las cuales están relacionadas con su composición mineralógica, contenido de humedad y textura natural. Por lo tanto, si utilizamos un material granular para el desarrollo de la presente investigación, el suelo será clasificado de acuerdo con la distribución de tamaños de las partículas, como se detalla más adelante (Berry & Reid, 1993).

2.2.4 Distribución de Tamaños de Partículas y Gradación

La definición de tamaño de una partícula depende de la dimensión medida y de su forma obtenido mediante la realización de métodos habituales como el análisis granulométrico por tamizado para partículas de tamaño superior a 0.06 mm y el análisis

hidrométrico o por sedimentación para partículas de tamaño menor a 0.06 mm (Lambe & Whitman, 1972).

El análisis granulométrico por tamizado consiste en la separación de las partículas del suelo, mecánicamente se emplea una serie de tamices, hasta llegar a un tamiz que posea una medida de 75 um, o también conocido como tamiz N° 200. Esto se debe a que hasta este tamiz las partículas pueden separarse de manera mecánica. En cambio, si un gran porcentaje del suelo son partículas con tamaños de partícula menor a 0.075 mm, se debe hacer un análisis hidrométrico del suelo (Powrie, 2010).

La numeración de los tamices para hacer la granulometría del agregado grueso se lo realiza en función del número de aperturas que puedan entrar en el tamaño de una pulgada. Ejemplificando, el tamiz No. 4, es calculado a partir de dividir 1 pulgada para 4 espaciamientos menos el tamaño del espesor de los cables (Powrie, 2010).

U.S. Standard Sieve Numbers and Openings

U.S. Standard Sieve No.	Opening in mm
4	4.75
10	2.00
20	0.85
40	0.425
60	0.25
100	0.15
140	0.106
200	0.075

Figura 3: Serie de tamices con su apertura en (mm). Tomado de Ishibashi y Hazarika, 2010, p. 21.

Las partículas retenidas sobre el tamiz #200, es decir, la grava y la arena, son llamados suelos granulares o no cohesivos. Adicionalmente, el limo es considerado como un suelo transitorio entre los suelos cohesivos y los suelos granulares, y la arcilla se considera como un suelo cohesivo. (Powrie, 2010).

Por otro lado, el análisis hidrométrico se basa en la Ley de Stokes en el cual se deja sedimentar una suspensión de material (suelo) cuya densidad se determina con el hidrómetro a medida que transcurre el tiempo, se determina el diámetro equivalente de las partículas que al sedimentarse se encuentran a la altura del bulbo del hidrómetro (Montero, 2004).

Para poder distinguir los tipos de suelos, el tamaño de partículas juega un papel muy importante. Por ello, existen varias clasificaciones para los tipos de suelos, las cuales tienen diferencias mínimas dependiendo en el estándar en que se basan. Ejemplificando, en un inicio, se dividía al suelo en tres o cuatro fracciones debido al poco avance que existía en los métodos de división de las partículas del suelo. Luego, al aparecer con la técnica del cribado, existió la posibilidad de realizar las gráficas de las curvas granulométricas. Posteriormente, se amplió la curva granulométrica mediante la aplicación de la técnica de análisis de suspensión de partículas (Juárez & Rico, 1976).

Para describir el tamaño de las partículas del suelo, se cita su dimensión cuando se asigna un nombre arbitrario a una cierta gama de tamaños previamente fijada, la Tabla 1 brinda una serie de nombres con la gama de tamaños correspondientes y en la figura 4 se muestran los tamaños de diferentes partículas y los campos de aplicación de algunos métodos para dicha apreciación (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

Bloques	> 30 cm
Boleos (bolos)	15 a 30 cm
Grava	2.0 mm (ó 4.76 mm) a 15 cm
Arena	0.06 (ó 0.076 mm) a 2.0 mm (ó 4.76 mm)
Limo	0.002 a 0.06 mm (ó 0.074 mm)
Arcilla	< 0.002 mm

Figura 4: Designación de las partículas según su tamaño. Tomado de Rodríguez y Hermilo. p. 53.

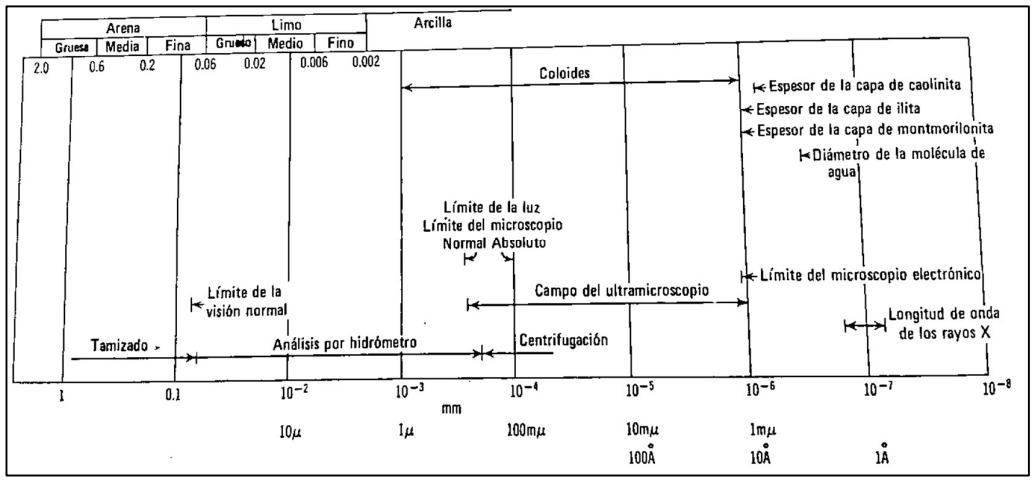


Figura 5: Tamaños de partícula y métodos de medición. Tomado de Rodríguez y Hermilo. p. 54.

Actualmente, existen varias clasificaciones para los tipos de suelos, las cuales tienen diferencias mínimas entre sí. Por ejemplo, en la Figura 5 se muestra la clasificación de los suelos según la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y según la Unified Soil Classification System (USCS). (Powrie, 2010)

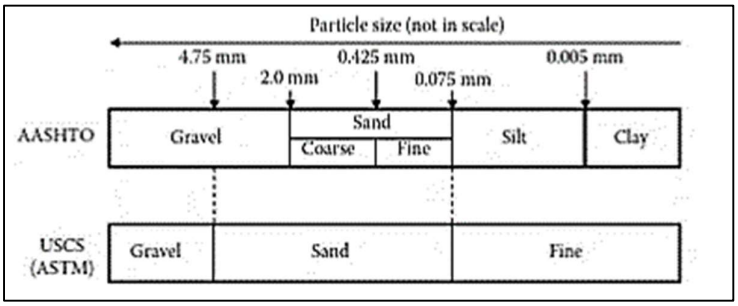


Figura 6: Clasificación de los suelos. Tomado de Ishibashi y Hazarika, 2010, p.20.

2.2.4.1 Curva Granulométrica

Una vez obtenidos los resultados de la separación de material por tamizado y la información obtenida del análisis hidrométrico. Específicamente con la relación existente entre las aperturas de los tamices, y el porcentaje pasante de cada tamiz, se puede graficar la curva granulométrica en escala semi logarítmica. La grafica granulométrica consiste en un eje de las ordenadas referidas a un porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente y, por otro lado, el eje de las abscisas se dibujará en escala logarítmica o semi logarítmica para determinar fácilmente los tamaños finos y muy finos que en escala natural resultan ser muy comprimidos y de difícil visualización (Juarez & Rico, 1975).

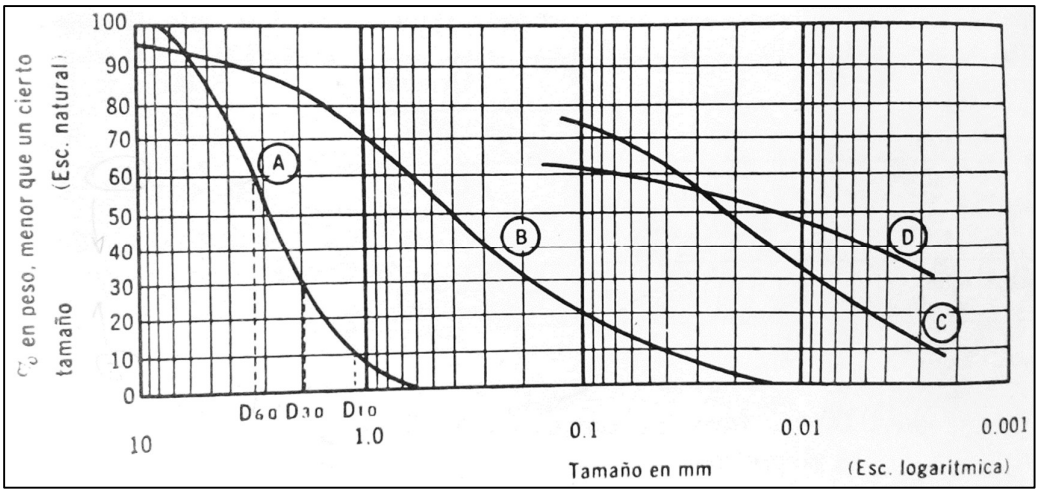


Figura 7: Curvas Granulométricas de algunos suelos. Tomado de Juárez y Rico, 1975, p. 100.

La forma que toma la curva granulométrica da inmediatamente una idea de la distribución granulométrica del suelo, es decir, un suelo con partículas de un solo tamaño será representado por una línea vertical mientras que una curva muy tendida indica la variedad de tamaños de partículas que posee el suelo (Juarez & Rico, 1975).

Combinando la información que se obtiene en la separación de material por tamizado y la información obtenida por el análisis hidrométrico. Específicamente con la relación existente entre las aperturas de los tamices, y el porcentaje pasante de cada tamiz, se puede plotear la curva granulométrica en escala semi logarítmica (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

Adicionalmente, con los datos de la curva granulométrica se puede determinar el D_{10}, el D_{30}, el D_{50} y el D_{60} que interceptan el 10%, 30%, 50% y 60% del material, los cuales representan el porcentaje de partículas del suelo más pequeñas que su diámetro indicado. El valor de D_{50}, también es llamado como el tamaño de grano medio, y el D_{10} es llamado el tamaño de grano efectivo. Una vez obtenidos dichos porcentajes es posible medir de alguna forma la uniformidad que presenta el suelo mediante el coeficiente de uniformidad (Cu) propuesto por Allen Hazen en la siguiente expresión: (Juarez & Rico, 1975)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

El coeficiente de uniformidad indica la variación de los tamaños de partículas que presenta el suelo, es uniforme cuando el coeficiente es menor a 4 para gravas y menor a 6 para arenas, valores mayores a los anteriormente señalados, son clasificados como suelos bien gradados (Ishibashi & Hazarika, 2010a). Por otro lado, como un dato complementario al análisis granulométrico se puede definir el coeficiente de curvatura del suelo a través de la siguiente expresión:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Si el coeficiente de curvatura se encuentra entre valores de 1 y 3, el suelo tiene un equilibrio relativo entre los diferentes tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio (Juarez & Rico, 1975).

Los coeficientes de curvatura y uniformidad indican como se va a comportar las partículas de suelo, de manera que, un suelo bien gradado es más estable debido a que, las partículas finas llenan los vacíos del suelo dejados por las partículas más grandes. Por otro lado, un arreglo uniforme posee un menor mecanismo de enclavamiento, por lo que, es menos estable (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

2.2.5 Propiedades Generales de las Arenas

Propiedades y comportamiento de las arenas	
Tamaño de las partículas	Grande >0.075 mm
Estructura	Formaciones de cristal
Forma	Angular a redonda
Carga superficial	Despreciable
Superficie específica	Pequeña
Fuerzas interactivas	Despreciable
Plasticidad	No plástico
Resistencia al corte	Por fricción
Cambio de volumen	Instantáneo, pequeño

Tabla 1: Propiedades y comportamientos de las arenas. Tomado de Ishibashi y Hazarika, 2010, p.51.

2.2.6 Suelos no saturados

En la presente investigación se escribe un breve resumen de los suelos no saturados y sus propiedades, debido a que sus propiedades afectan de manera directa a los resultados obtenidos en los ensayos del laboratorio.

Existen varios problemas ingenieriles los cuales se encuentran directamente relacionados con los suelos saturados. Estos problemas se listan a continuación(Lu & Likos, 2004):

- **Problemas relacionados con el flujo**
    - Balance hídrico entre la atmósfera y el suelo
    - Tasa neta de recarga de la zona saturada
    - Diseño de cubiertas para almacenamiento y contención de residuos subterráneos
    - Transporte y remediación de contaminantes
- **Problemas relacionados con los esfuerzos**
    - Estabilidad de taludes bajo condiciones climáticas cambiantes
    - Presiones laterales
    - Excavación y estabilidad de pozos
    - Capacidad de carga para cimientos poco profundos
    -
- **Problemas relacionados con la deformación**
    - Hinchazón y contracción de suelos

- Colapso del suelo
- Consolidación y asentamiento de suelos no saturados
- Compactación del suelo

De los problemas listados en la parte superior, se puede destacar que la compactación del suelo y la capacidad de carga para cimientos pocos profundos afectan de manera directa en nuestra investigación.

2.2.6.1 Regímenes de succión y la curva característica del suelo-agua

La succión del suelo depende del contenido de humedad del sistema suelo, agua, aire. Cuando se tiene un bajo contenido de humedad, el agua en los poros se encuentra en películas delgadas entre las superficies de las partículas y se obtiene valores altos de succión. Por otro lado, a valores altos de contenido de humedad del suelo se obtiene bajos valores de succión. Además, la succión depende del tipo del suelo, por ejemplo, existe una mayor succión en las arcillas debido a la gran cantidad de agua de poros necesaria para satisfacer las energías de hidratación. Por otro lado, en las arenas se necesita una menor cantidad de energía por lo que la fuerza de succión va a ser menor. De manera general, los mecanismos de hidratación de la superficie de las partículas y los efectos capilares dominan la saturación y la succión de los suelos. (Lu & Likos, 2004)

Dependiendo del tipo de suelo se han desarrollado curvas características suelo-agua o SWCC. Este tipo de curvas describe la relación constitutiva correspondiente entre la succión del suelo, y el contenido de agua de este. La forma de cada curva refleja las influencias de las propiedades del material, donde se incluye el tamaño de los poros,

el tamaño de las partículas, la densidad, el contenido orgánico del suelo, y la mineralogía que afecte a la retención de agua en los poros.(Lu & Likos, 2004)

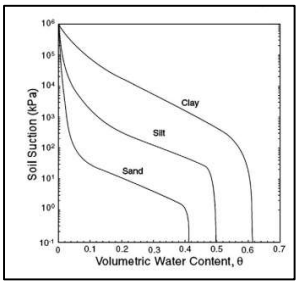


Figura 8: Curva SWCCs para arena, limo y arcilla. Tomado de Unsaturated Soil Mechanics, 2004, pág. 42

2.3 Propiedades del suelo granular a ensayar

En la presente investigación se utilizó un suelo granular tipo Arena, el cual fue obtenido de dos diferentes canteras para su posterior análisis y poder realizar una selección del tipo de material más conveniente utilizar en el desarrollo de la investigación.

El primer material se obtuvo de la cantera de San Antonio, y el segundo de la cantera de Pifo. La Arena obtenida de la cantera de San Antonio, se comercializa como arena fina, y tiene un color café, mientras que la arena obtenida de la cantera de Pifo, se comercializa como polvo azul, debido a su color gris azulado.

La cantera de Pifo se ubica al Este de la población con el mismo nombre, en las coordenadas 0°12´25.75¨S; 78°18´56.54¨, la cantera forma parte del afloramiento relacionado al Antisana con reservas mayores a 10'000.000 m^3. El material obtenido de esta cantera presenta resistencia a la abrasión del 22%, con ello se constata que se trata de rocas de calidad superior. Su utilización como un agregado para el hormigón

resulta complejo debido a la presencia de rocas espumosas y masivas (Urgiles & Boada, 2011).



Fotografía 1: Cantera de Pifo. Tomado de: Urgiles y Boada, 2001, Pg. 38.

La cantera de San Antonio se ubica al Noroeste de San Antonio de Pichincha en el borde Sureste del cráter Pululahua cuyo yacimiento se encuentra muy bien desarrollado, con coordenadas 0°00´25.99¨N; 78°28´20.62¨O. Posee reservas de más de 10 millones de metros cúbicos y las rocas poseen una resistencia a la abrasión del 34%, por lo que se los puede considerar un buen material, pero, no llega a los límites de calidad para realizar un micro pavimento (Urgiles & Boada, 2011).



Fotografía 2: Cantera de Pifo. Tomado de: Urgiles y Boada, 2001, Pg. 42.

Para conocer las propiedades de los materiales anteriormente mencionados y seleccionar el suelo a utilizar, se han realizado varios ensayos para su identificación. A continuación, se describen los ensayos realizados y los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

2.3.1 Gravedad Específica

Gravedad específica es la relación de la masa de un agregado respecto a la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas del agregado. Es utilizada para calcular el volumen que ocupa los agregados en varias mezclas, como son las mezclas de hormigón hidráulico, mezclas de asfalto, entre otras (ASTM, 2015).

La norma utilizada para realizar el cálculo de la gravedad específica de la arena corresponde a la ASTM C128-15 "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate".

Para el cálculo de la gravedad específica se utilizó el procedimiento gravimétrico y los resultados obtenidos en el laboratorio son los siguientes:

Resultados		
Gravedad Específica	**Arena de San Antonio**	**Arena de Pifo**
	2,61	2,64

Tabla 2: Resultados de la gravedad específica de la arena de San Antonio. Elaboración propia

2.3.2 Clasificación Manual Visual

La norma utilizada para realizar la clasificación manual visual del material a ensayar corresponde a la norma ASTM D2488-17 "Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual -Manual Procedures)". Esta norma describe un procedimiento para identificar suelos mediante una examinación manual visual (Borings, 1998).

Se obtienen los siguientes resultados:

Parámetro	Arena de San Antonio	Arena de Pifo
Color	Café claro	Gris
Olor	Ninguno	Ninguno
Humedad	Seco	Seco
Reacción a HCL	Ninguna	Ninguna
Consistencia	Muy suave	Muy suave
Estructura	Homogénea	Homogénea
Rango de Partículas	<5 % grava, >80 % arena y <15% limo y arcilla	<5 % grava, > 90 % arena y <5% limo y arcilla
Máximo tamaño de partículas	Arena mediana	Arena mediana
Dureza	Desmorona	Desmorona
Resistencia Seca	Ninguna	Ninguna
Dilatancia	Rápida	Rápida
Tenacidad	Ninguna	Ninguna

Plasticidad	No Plástico	No Plástico

Tabla 3: Resultados de la clasificación manual visual. Elaboración propia

2.3.3 Peso Unitario

La norma utilizada para calcular el peso unitario corresponde a la norma ASTM C29/C29M-17a "Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weigth") and Voids in Aggregate". La norma describe el método para determinar la densidad bulk o peso unitario (ASTM C29/C29M, 2016).

Los resultados obtenidos son:

Descripción	Arena de San Antonio	Arena de Pifo
Peso unitario suelto (gr/cm3)	1,47	1,69
Peso unitario compactado (gr/cm3)	1,59	1,83

Tabla 4: Resultados del peso unitario. Elaboración Propia.

2.3.4 Granulometría

La gradación de partículas de un suelo es un indicador de las propiedades ingenieriles del suelo, así, la conductividad hidráulica, la compresibilidad, y la resistencia al corte se relacionan de manera directa con la granulometría del suelo (ASTM D7928, 2019).

Se obtuvo la curva granulométrica de los materiales a partir de ensayos mecánicos para la parte gruesa del material, y mediante el ensayo por hidrómetro para la parte fina del mismo.

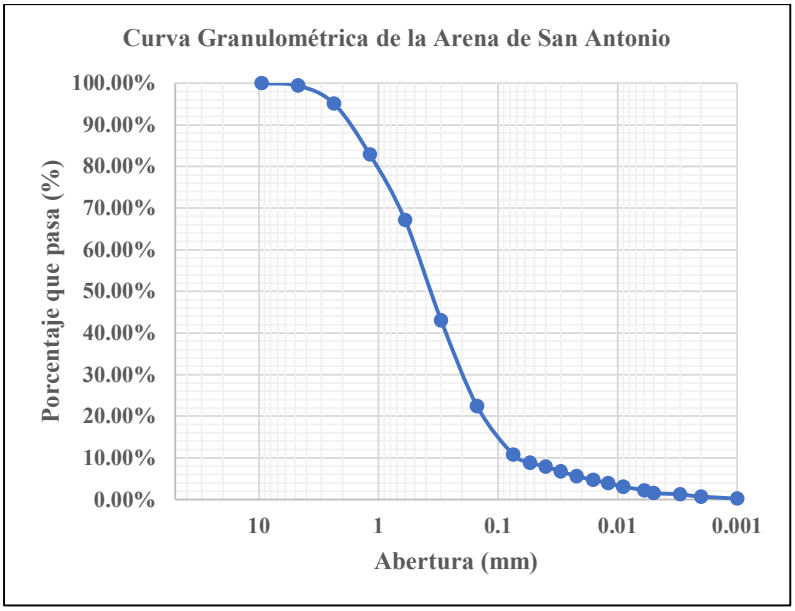
Para la granulometría de la parte gruesa se realizó el tamizado mecánico que se describe en la norma ASTM D2487-17 "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)", la serie de tamices utilizada es:

Serie de tamices	
Tamiz	**Abertura(mm)**
#3/8	9.5
#4	4.7
#8	2.36
#16	1.18
#30	0.6
#50	0.3
#100	0.15
#200	0.075

Tabla 5: Serie de tamices utilizado para el tamizado del material. Elaboración propia.

Los valores para definir la curva granulométrica de los agregados finos se obtuvieron en base a la norma ASTM D7928-17 "Standard Test Method for Partivle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis".

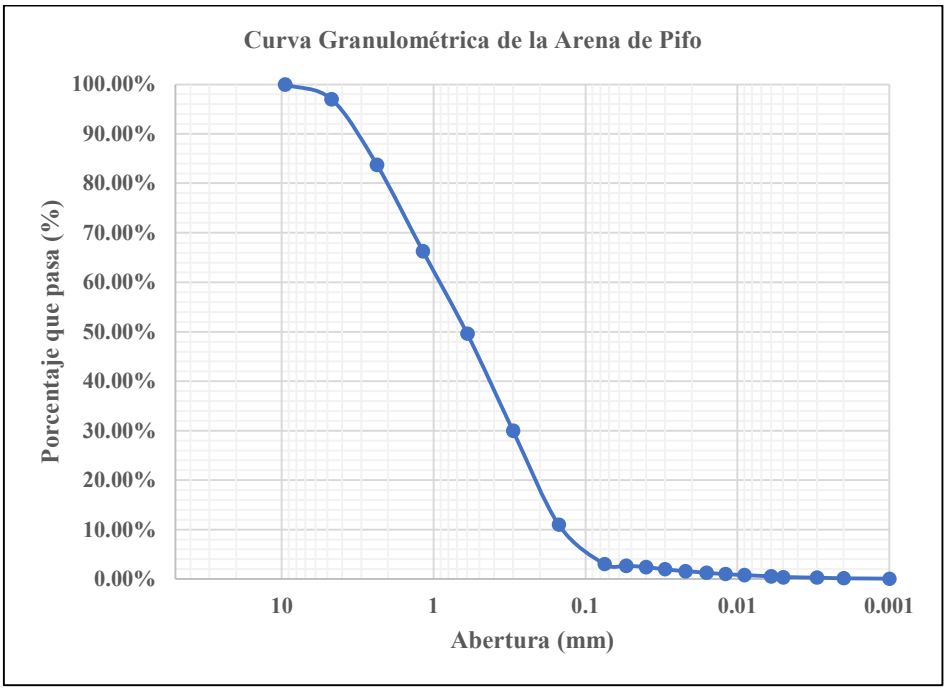
Una vez realizados los ensayos de granulometría a los materiales en estudio se obtienen las siguientes curvas granulométricas, es importante recalcar que se realizaron dos granulometrías para verificar la gran dispersión de resultados, obteniéndose la siguiente curva granulométrica promedio.



Gráfica 1: Curva Granulométrica de Arena de San Antonio. Elaboración propia.

Parámetros derivados de la Granulometría	
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	6,90
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0,74
Tipo de Material	SP-SM (Arena Pobremente Gradada con Limo)

Tabla 6: Parámetros Derivados de la Granulometría de Arena de San Antonio. Elaboración Propia



Gráfica 2: Curva Granulométrica de Arena de Pifo. Elaboración propia

Parámetros derivados de la Granulometría	
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	6,53
Coeficiente de Curvatura (Cc)	0,46
Tipo de Material	SP (Arena Pobremente Gradada)

Tabla 7: Parámetros Derivados de la Granulometría de Arena de Pifo. Elaboración Propia

2.3.5 Contenido de Humedad

El contenido de humedad del suelo es obtenido mediante el método que se describe en la norma ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.(ASTM, 2010)

Bajo esta norma se determina el contenido de humedad contenido en una masa de roca, suelo o materiales similares, en donde se produce una reducción de la masa del material debido a la pérdida de agua mediante el secado (ASTM, 2010).

El contenido de humedad de los suelos analizados es variable debido a que el material fue almacenado en costales y apilados en una zona no cubierta. Por lo que, los cambios de temperatura, la lluvia y la exposición de los costales influian en la humedad de cada uno.

Por esta razón, el suelo presentó una humedad variable entre el 1.4% hasta el 5.3% y algunos costales se encontraban completamente húmedos por lo que realizó un proceso de secado antes de tomar la humedad del saco.

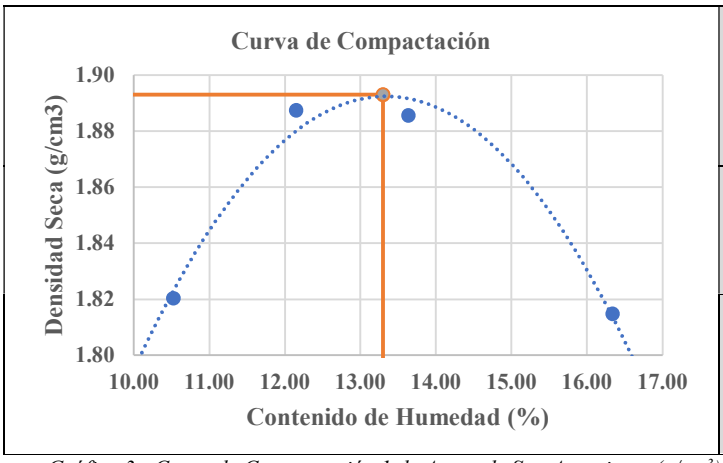
2.3.6 Compactación Modificada del Suelo

La compactación del suelo se la realiza mediante el método que se describe en la norma ASTM D1557-12 "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft^3 (2,700 kN-m/m^3)) (ASTM:D698-12, 2012)".

Para la compactación se utilizó el Proctor Modificado ya que, su aplicación simula una compactación con maquinaria en obra. Además, mediante este método se llega a conocer el contenido de humedad necesario para llegar a un porcentaje de compactación requerido, así, se podrá realizar un control en obra y obtener las propiedades deseadas (ASTM D 1557, 2012).

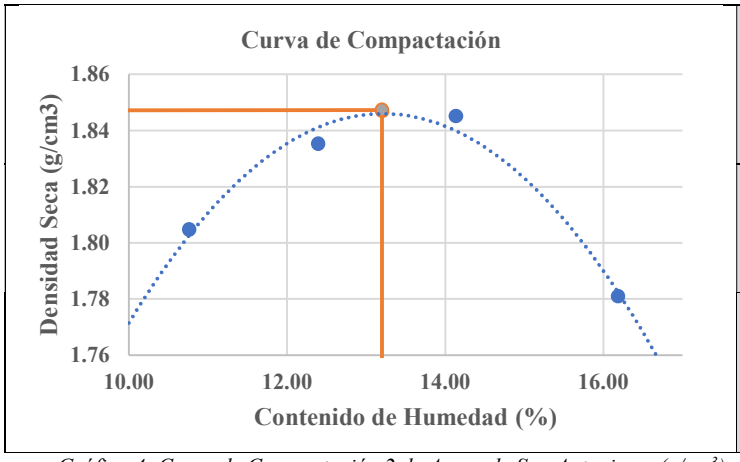
Mediante este ensayo se obtiene la curva de compactación y se logra determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario de los suelos, llegando a conocer la cantidad de agua necesaria para poder llegar a un porcentaje de compactación requerido para obtener las propiedades solicitadas en un proyecto de ingeniería (ASTM:D698-12, 2012).

Para la Arena de San Antonio se obtuvieron dos Curvas de Compactación, las cuales son:



Contenido de Humedad máximo (%)	13.3
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	1,89
Peso Unitario Seco Máximo (KN/m3)	18.53

Gráfica 3: Curva de Compactación 1 de Arena de San Antonio en (g/cm³). Elaboración Propia.



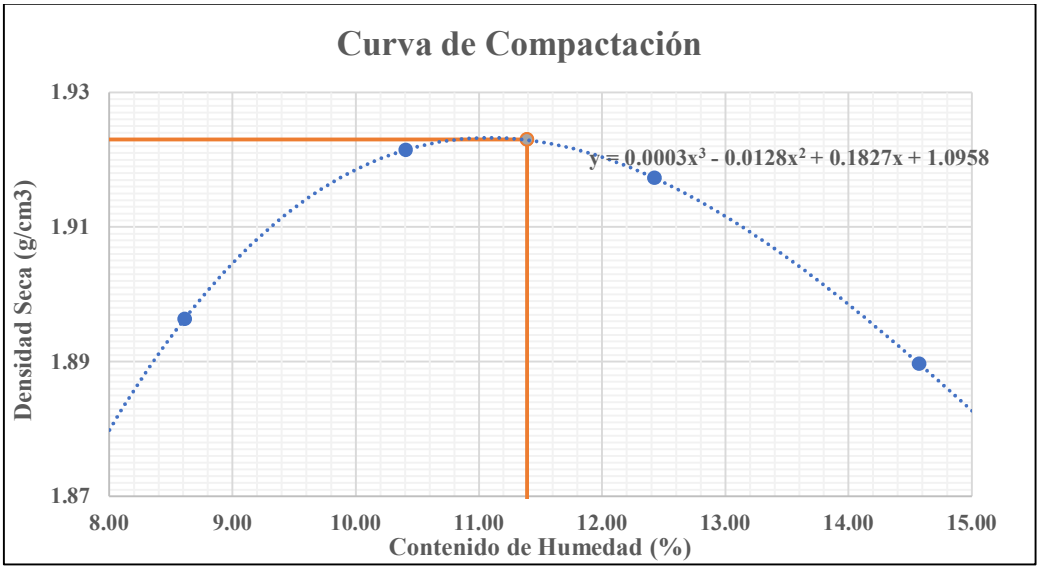
Contenido de Humedad máximo (%)	13.2
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	1.84
Peso Unitario Seco Máximo (KN/m3)	18.04

Gráfica 4: Curva de Compactación 2 de Arena de San Antonio en (g/cm³). Elaboración Propia.

Contenido de Humedad Máximo (%)	13.3
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	1,87
Peso Unitario Seco Máximo (KN/m3)	18.34

Tabla 8: Resultados promedios del ensayo Proctor Modificado – Arena de San Antonio. Elaboración Propia.

El resultado obtenido para la arena de Pifo es el siguiente:



Gráfica 5: Curva de compactación de Arena de Pifo en g/cm3.Elaboracion Propia.

Contenido de Humedad Óptimo (%)	11,39
Densidad Seca Máxima (g/cm^3)	1,92
Peso Unitario Seco Máximo (KN/m^3)	18.83

Tabla 9: Resultados obtenidos del ensayo Proctor Modificado – Arena de Pifo. Elaboración Propia.

2.3.7 Densidad Natural del Suelo

Una vez realizados los ensayos de carga axial en los modelos de prueba, se procedió a desmontar dos paredes del molde (caja) para extraer un cubo pequeño de suelo ya compactado. De esta manera, se realizará un ensayo de densidad natural al cubo de suelo tallado para verificar la densidad del suelo natural utilizado y obtener el porcentaje de compactación deseado, los cálculos y resultados obtenidos se desarrollan a detalle en el Capítulo 6 de la presente investigación.

Para la determinación de la densidad natural se utilizó el método con parafina de acuerdo con la norma ASTM D7263 "Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density of Soil Specimens". El ensayo consiste en la determinación de la densidad de un suelo mediante la extracción de una muestra inalterada del mismo, el procedimiento se basa en el Principio de Arquímedes, en el cual se determina el volumen de una muestra de suelo a través del volumen de agua que se desplaza.

Conocido el volumen y peso de la muestra se podrá determinar el peso unitario de la muestra, es importante recalcar que para proteger la muestra se utiliza parafina y su volumen será descontado del volumen total al final.

El ensayo se realizó a 7 muestras de suelo ya compactado correspondientes a muestras de suelo:

1. Sin reforzamiento de geomalla (SG)
2. Con reforzamiento de geomalla biaxial en distribución uniforme DU (B)
3. Con reforzamiento de geomalla biaxial en distribución trapezoidal DT (B)

4. Con reforzamiento de geomalla biaxial en distribución trapezoidal invertida DTI(B)
5. Con reforzamiento de geomalla multiaxial en distribución uniforme DU (M)
6. Con reforzamiento de geomalla multiaxial en distribución trapezoidal DT (M)
7. Con reforzamiento de geomalla multiaxial en distribución trapezoidal invertida DTI(M)

Se obtienen los siguientes resultados:

Descripción	**Porcentaje de Compactación**
SG	88,93%
DU (B)	82,94%
DT(B)	85,94%
DTI (B)	85,13%
DU (M)	88,82%
DT (M)	88,50%
DTI (M)	87,33%

Tabla 10: Porcentajes de Compactación de Muestras. Elaboración Propia.

Capítulo 3: Geo-sintéticos y Geomallas

3.1 Geo-sintéticos

3.1.1 Reseña Histórica de los Geo sintéticos

El uso de los geo-sintéticos se ha dado desde la antigüedad mediante la implementación de métodos arcaicos, por ejemplo, los romanos para la construcción de sus carreteras tendían varas tejidas sobre terrenos pantanosos, de igual manera, en el Medio Oriente se colocaba bambú, caña, o juncos para mejorar la función estructural del suelo. Los primeros geo-sintéticos fueron hechos con fibras tejidas a mano a los cuales, posteriormente, se los denominó como geotextiles (Koerner, 1998).

Así mismo, entre otras investigaciones realizadas han encontrado que en los primeros intentos para estabilizar los suelos pantanosos o blandos se implementó la adición de troncos de árboles, arbustos pequeños y similares materiales, de manera que, el suelo forme una masa mucho más consolidada. Esto se debe a que, el material fibroso adicionado mejoraba las propiedades del suelo, adecuándolo para el propósito previamente establecido (Koerner, 1998).

Luego, con el transcurso de los años, mediante el progreso de la civilización humana se ha logrado el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías en el campo de la construcción. Estos nuevos materiales poseen características superiores y son fáciles de adaptar al medio e influyen de manera positiva cuando se los aplica en diferentes obras de ingeniería (Koerner, 1998).

Ejemplificando, uno de los primeros usos que se le dio a los geo-sintéticos fue como material de refuerzo de carreteras, investigación impulsada por el Departamento de

Carreteras de Carolina del Sur en 1926. El procedimiento de esta investigación consistió en colocar una tela gruesa de algodón sobre la base de tierra imprimada, posteriormente, se aplicó el asfalto caliente, el cual se colocó en una capa fina de arena. Luego se verificó que la tela colocada se encontraba deteriorada, sin embargo, las carreteras se mantenían en buen estado, debido a que, la tela de algodón redujo el agrietamiento y las fallas localizadas en la misma. En total se publicaron ocho experimentos de este tipo, y se lo determinó como una investigación precursora para la aplicación de geo-sintéticos en varios ámbitos de la construcción (Koerner, 1998).

Posteriormente, en los años 40 la implementación de geo sintéticos se hizo frecuente, ya que se fabricaron polímeros sintéticos para la producción de geotextiles tejidos y no tejidos; los cuales eran utilizados inicialmente en la construcción de diques para proteger las costas. De igual manera, en 1953 se usaron geo-sintéticos para cerrar todos los brazos de mar que se encuentran en el oeste de Scheldt y el Canal de Rótterdam, debido a una inundación de 150 000 hectáreas al Sur Oeste de Holanda, en donde alrededor de 2000 personas perdieron su vida. Consecuentemente, debido a su fácil implementación, y variedad en su uso, los geo-sintéticos se han generalizado en todo el mundo (Koerner, 1998).

3.1.2 Descripción de los Geo-sintéticos

Etimológicamente la palabra **geo-sintético** se compone de dos vocablos, **geo** que proviene del prefijo griego que significa tierra, y **sintético,** el cual es un producto fabricado a través de procedimientos industriales (Koerner, 1998).

De manera general, se conoce a un geo-sintético como un material que proviene del procesamiento de materiales sintéticos, y sirven para mejorar la estructura y

comportamiento del suelo. Para la fabricación de los geo-sintéticos se utiliza una variedad de polímeros como: poliéster, polipropileno, polietileno, nylon, fibra de vidrio y poliamida, los cuales resultan ser resistentes a la degradación biológica y química (Segovia & Hidalgo, 2001).

Por otro lado, en la Norma ASTM D4439 define a un geo-sintético como: "Un material geo-sintético que consiste en juegos de costillas paralelas conectadas, con aperturas de tamaño suficiente para permitir el trabajo del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante"(ASTM D4439, 2018).

Al mismo tiempo, se puede definir un geo-sintético como un producto que por lo menos un componente del mismo está hecho a base de polímero sintético o polímero natural, presentándose como filtro, manto, lamina o como una estructura tridimensional, que es comúnmente utilizado en contacto con el suelo u otros materiales en el campo de la ingeniería civil y geotecnia. Además, los geo-sintéticos se derivan de las fibras artificiales compuestas de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, convirtiéndose los dos primeros en los más utilizados hoy en día (Geosoft PAVCO, 2009).

3.1.3 Aplicaciones de los Geo-sintéticos

Los geo-sintéticos pueden ser aplicados en la construcción y edificación de proyectos que involucran todas las ramas de la ingeniería civil como por ejemplo en: obras viales, obras hidráulicas, sistemas para el control de erosión del suelo, aplicaciones medioambientales, entre otras (Geosoft PAVCO, 2009).

En teoría, los geo-sintéticos realizan cinco funciones principales cuando trabajan en conjunto con el suelo, que son:

- **Separación:** ayudan en la separación de subrasante en vías y las capas granulares para salvaguardar la integridad de los materiales y mejorar su funcionamiento. La separación de capas se realiza con geotextiles de manera que su utilización elimina la instalación de material adicional, así como se emplea en diseños tradiciones. Al implementar el geotextil, este trabaja como una barrera contra la migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando el transporte de agua

  El geotextil deberá retener las partículas y evitar el lavado de partículas finas siempre y cuando cumpla con la resistencia para mantener la continuidad sin que ocurra falla tensión, punzonamiento o estallido por concentración de esfuerzos en el suelo de fundación (Geosoft PAVCO, 2009).

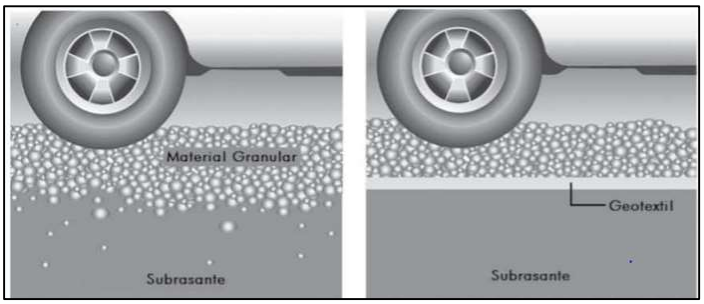


Figura 9: Separación de capas con geotextil. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 108.

- **Estabilización:** los geosintéticos son utilizados para la estabilización de suelos poco competentes para soportar cargas de tráfico, al implementar los geosintéticos se puede mejorar el desempeño de un pavimento disminuyendo los esfuerzos aplicados sobre la subrasante, como resultado se obtiene una sección reforzada que permite una aplicación mayor de cargas con deformaciones menores (Geosoft PAVCO, 2009).

  Generalmente se utilizan geomallas biaxiales o geotextiles tejidos como herramienta para incrementar la resistencia en las vías. Para estructuras de pavimento el geosintético es colocado sobre la subrasante provocando un mejoramiento de las propiedades mecánicas

de los materiales, incremento de capacidad portante del sistema, incrementando la vida útil de la vía y disminuyendo la superficie de falla del suelo (Geosoft PAVCO, 2009).

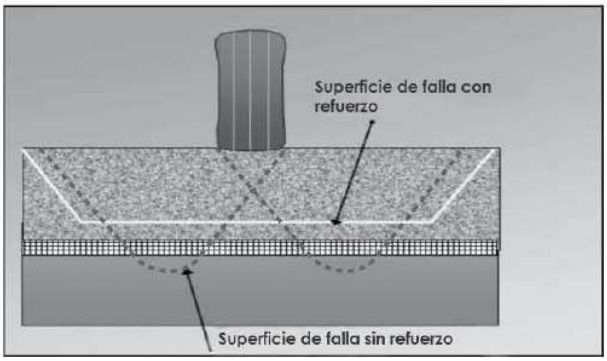


Figura 10: Disminución de superficie de falla con geomalla. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 136.

- **Refuerzo:** el suelo es un material que presenta buena resistencia a la compresión, pero es muy deficiente para asumir esfuerzos de tracción, es por ello, que cuando se combina el suelo con elementos capaces de absorber tracción como los geosintéticos se habla de estructuras reforzadas. Implementar geosintéticos en el suelo produce un confinamiento lateral, el cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado (Geosoft PAVCO, 2009).

  Por ejemplo, los terraplenes sobre suelos blandos pueden transmitir esfuerzos cortantes que superen la resistencia al corte del suelo de fundación en la base del mismo, para ello si se coloca una capa de geotextil en la base, permitirá desarrollar un refuerzo a la tracción, disminuyendo los desplazamientos horizontales, verticales y asentamientos diferenciales con la posibilidad de incremento en la altura del terraplén, cabe recalcar que no disminuirá los asentamientos por consolidación primaria ni secundaria (Geosoft PAVCO, 2009).

  Por otro lado, es posible el reforzamiento de taludes con inclinaciones menores a 70°, se busca el espesor de capa y longitud de geotextil para garantizar la estabilidad interna del

talud. Comúnmente se utilizan geotextiles tejidos para su reforzamiento, los beneficios técnicos que se obtienen son: a) reducción del volumen del terreno, b) evita la construcción de muros de contención rígidos, c) área plana adicional y d) reconstrucción de taludes en deslizamientos (Geosoft PAVCO, 2009).

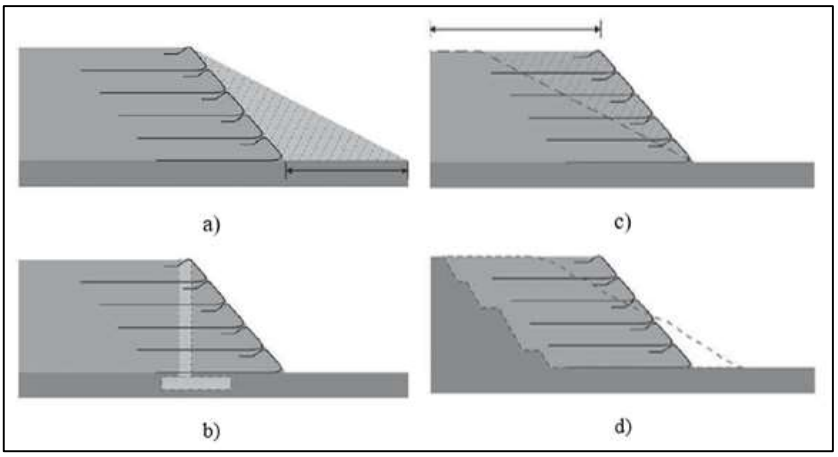


Figura 11: Beneficios de geotextil en taludes. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 351.

Además, se puede realizar el reforzamiento de cimentaciones cuando la presión de contacto genera esfuerzos cortantes que superan la resistencia al corte del suelo de fundación, dando como resultado una falla por capacidad portante o por asentamiento en la cimentación. La capacidad de carga última de cimentaciones superficiales se mejora al incluir un refuerzo de tensión en el suelo que la soporta, obteniéndose los mismos beneficios de reforzamiento de terraplenes mediante la aplicación de geotextiles y geomallas (Geosoft PAVCO, 2009).

- **Drenaje:** los geosintéticos son utilizados en obras de drenaje y/o subdrenaje para vías como aporte en la calidad de las mismas, ya que el exceso de agua en algunos suelos afecta a su resistencia, existe susceptibilidad en los cambios volumétricos y mecanismo de transmisión de presiones. El sistema de drenaje está compuesto por un medio filtrante el cual retiene el suelo y permite el paso de agua, función del geotextil y un medio drenante, poroso natural

o sintético encargado del transporte del agua que atraviesa el geotextil. El objetivo del sistema es evitar la saturación total de la estructura, conduciendo y evacuando el agua que entre en la estructura del pavimento (Geosoft PAVCO, 2009).

De igual manera, se utilizan geodrenes en el sistema de drenaje, ya que resulta excelente para el manejo del agua permitiendo su captación y conducción de manera rápida y eficiente. Comúnmente se utiliza el geodrén vial, que retiene el suelo y permite el paso de agua, compuesto por un medio drenante llamado geored.



Fotografía 3: Sistema de drenaje con geotextil. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 213.



Figura 12: Sistema de drenaje con geodren. Tomado de: Manual Geosoft Pavco, 2009, Pg. 252.

- **Contención (como barrera de líquidos/gases):** junto con el desarrollo de nuevos materiales, los geosintéticos han demostrado soportar condiciones de humedad y de acidez dentro del suelo, usando comúnmente geotextiles y geomallas que suministren el refuerzo al suelo como su resistencia a la tensión. Por ejemplo, en muros de contención reforzados con geosintéticos se realizan cuando existe poca capacidad portante del suelo de fundación. El sistema es masivamente empleado en vías y con el fin de ganar área útil en lugares que han perdido área por efecto del deslizamiento (Geosoft PAVCO, 2009).
- **Protección:** los geosintéticos son utilizados en la impermeabilización de obras de infraestructura como protección de las mismas, ya que su implementación trae ventajas económicas, técnicas y ambientales. Se utiliza una geomembranas, las cuales son instaladas en contacto con cualquier tipo d suelo facilitando la durabilidad del sistema de impermeabilización, evitando los problemas previamente mencionados y generando un aporte a la calidad de cada tipo de obra (Geosoft PAVCO, 2009)

3.1.4 Objetivos de los Geo-sintéticos

Resulta entonces que los geo-sintéticos tienen como objetivos generales para cualquier proyecto: (Koerner, 1998)

- Cumplir con su función o aplicación, evitando el deterioro del material que lo compone.
- Permitir la realización de un trabajo de manera más económica; ya sea por un costo inicial bajo, mayor durabilidad o vida útil del proyecto prolongada.
- Reducir los costos de mantenimiento.

3.1.5 Tipos de Geo-sintéticos

Actualmente, existen varios tipos de geo sintéticos, los cuales han sido creados para distintas aplicaciones dentro del campo de la ingeniería (Segovia & Hidalgo, 2001). Entre ellos se encuentran:

- Geotextil
- Geomalla
- Geocelda
- Geomembrana
- Geocompuesto
- Geored
- GCL (Revestimiento geo-sintético de arcilla)

La gran mayoría de geo-sintéticos son bidimensionales o unidimensionales, exceptuando las geo-celdas que son manufacturadas en tres dimensiones con la forma de un panal de abejas (Han, 2015). La presente investigación se centra en el uso de las geomallas, debido a que, se quiere comprobar si su resistencia a la tracción puede incrementar la resistencia de un suelo arenoso.

3.1.6 Función de los Geo-sintéticos

En la tabla a continuación se resume el uso de los geos sintéticos en función de los tipos existentes anteriormente mencionados:

Tipo	Separación	Filtración	Drenaje	Refuerzo	Protección contra la erosión	Barrera
Geotextil	X	X	X	X	X	X
Geomalla				X		
Geored			X			
Geomembrana	X				X	X
GCL	X				X	X
Geocelda				X	X	
Geocompuesto	X	X	X	X	X	X

Tabla 11: Usos del geosintético en función del tipo de geosintético. Recuperado de Principles and Practice of Ground Improvement, pg 32.

3.2 Geomallas

3.2.1 Reseña Histórica de las Geomallas

Las primeras geomallas fueron fabricadas en el Reino Unido y se implementaron en los EE.UU. en 1982 a través de la Empresa Tensar Corp. Adicionalmente, en el Reino Unido se desarrollaron geomallas de poliéster más flexibles para ser utilizadas como componente de refuerzo, de esta manera, se empezó el desarrollo de geomallas en maquinaria textil (Koerner, 1998).

Dicha fabricación involucró la unión de varias fibras que permitió la formación de costillas longitudinales y transversales con grandes aberturas entre ellas, los cruces elaborados se unieron mediante un tejido o entrelazado, y fueron fabricadas por las empresas TC Mirafi, TC Nicolon, Huesker, Strata Systems, Akzo y otras compañías que certificaron varios productos como marca registrada (Koerner, 1998).

En la actualidad, el uso de geomallas juega un papel muy importante en el área de reforzamiento, ya que, esta área permite la utilización de diferentes estilos de geomallas, de distintos materiales, conexiones, entre otras características modificables (Koerner, 1998). El continuo desarrollo de métodos para la preparación de materiales poliméricos que posean un alto módulo de elongación, ha creado la posibilidad que estos materiales puedan ser usados para el reforzamiento de estructuras importantes en obras civiles, en donde se incluya al suelo (Koerner, 1998).

3.2.2 Descripción de las Geomallas

La geomalla es un geo sintético de material plástico, de forma plana y estructura rígida, formadas en una configuración abierta, similar a la configuración de una rejilla con aberturas relativamente grandes. Tienden a estirarse en una o dos direcciones de manera que mejoren sus propiedades físicas, y son fabricadas mediante maquinaria, la cual realiza su tejido a través de métodos únicos como la extrusión y el entrelazamiento. Las geomallas trabajan principalmente a fricción y algunas de ellas trabajan con el efecto de confinamiento de las partículas del suelo que se alojan en sus aberturas, de manera que se evite el corrimiento de cualquier superficie (Segovia & Hidalgo, 2001).

Adicionalmente, las geomallas que son fabricadas a base de polipropileno son producidas mediante un método de extrusión, para posteriormente estirarlas de diferentes formas, ya sea, uniaxial, biaxial o multiaxial, por ende, se incrementa su resistencia a la tensión. (PIVALTEC, 1987).

De igual manera, las geomallas son el resultado de un procesamiento de varios tipos de polímeros, de manera que, sean geo-sintéticos de alta resistencia a la fluencia y posean un módulo de elasticidad alto. Las geomallas poseen aberturas que varían de tamaño de 10 a 100 mm, éstas pueden ser elipses alargadas, cuadradas con esquinas redondeadas, redondeadas, cuadradas o rectangulares (Koerner, 1998).

Las aberturas entre las costillas longitudinales y transversales suelen ser lo suficientemente grandes para que el suelo al otro lado de la geomalla pueda atravesarla. Conviene destacar, que estas costillas son más rígidas que las costillas de los geotextiles, además de presentar una mayor rigidez en sus conexiones o nudos. Esta mayor rigidez es necesaria debido a que, en las geomallas la penetración del suelo se apoya en las costillas longitudinales y transversales,

transfiriendo la carga a las uniones, por ende, las uniones son el punto crítico de las geomallas (Koerner, 1998).

3.2.3 Fabricación de las Geomallas

Para la fabricación de las geomallas se utilizan varios polímeros como el polietileno o el polipropileno de alta densidad, como en las geomallas tejidas se utiliza poliéster como el componente de resistencia y pueden estar cubiertas por cualquiera de los siguientes materiales: PVC, látex o bitumen, para tener un diferente acabado (Koerner, 1998).

Para la fabricación de las geomallas se utilizan varios polímeros como el polietileno o el polipropileno de alta densidad, como en las geomallas tejidas se utiliza poliéster como el componente de resistencia y pueden estar cubiertas por cualquiera de los siguientes materiales: PVC, látex o bitumen, para tener un diferente acabado (Koerner, 1998).

La mayoría de las geomallas poseen un proceso de elaboración similar, primero, se comienza con el uso de hojas gruesas de polietileno o polipropileno de 4 a 6 mm, en las cuales se perforarán agujeros que sigan un patrón regular, de manera que, se forme una hoja uniaxial o biaxial. Este proceso de dibujo es ejecutado en temperaturas bajas y controladas, con el fin de evitar fracturas y se permita un flujo dúctil de las moléculas en una condición alargada (Koerner, 1998).

El punto clave dentro del proceso de fabricación de las geomallas es la relación de extracción, el peso molecular de la geomalla, la distribución de su peso molecular y el grado de ramificación o reticulación de la misma. Además, es importante conocer que aun con el aumento significativo del módulo y fuerza del material utilizado, la resistencia de la fluencia de las costillas alargadas de la geomalla se reduce en el proceso de estirado. Consecuentemente, las geomallas resultantes del proceso de estirado son denominadas geomallas homogéneas o relativamente rígidas (Koerner, 1998).

Las geomallas realizadas en el Reino Unido consisten en fibras de poliéster agrupadas y encerradas dentro de la hoja de polipropileno. Estas geomallas son las que están unidas por la fusión de las intersecciones de las costillas; "uniones". Adicionalmente, los tamaños de apertura varían con el estilo de cada producto. (Koerner, 1998).

No obstante, las geomallas fabricadas por TC-Mirafi's Miragrid y Strata Systems Stratagrid, están hechas de hilos de poliéster de alta resistencia que están tejidos en una estructura abierta con las uniones entrelazadas físicamente, de manera que se unan las costillas. Con respecto a esta geomalla, posee un recubrimiento de PVC, látex o betún, para darle estabilidad dimensional y protección durante la instalación. Por esta razón, las geomallas resultantes se denominan como relativamente flexibles o relacionadas con textiles. (Koerner, 1998).

Existen otros tipos de geomallas que se encuentran en desarrollo, las cuales son fabricadas mediante el empleo de láminas continuas de materiales poliméricos, caracterizados por poseer grandes agujeros perforados. Además, existen otras geomallas que son realizadas con hilos de fibra de vidrio tejidos junto a la geomalla (Koerner, 1998).

3.2.4 Usos de las Geomallas

Las áreas de aplicación de las geomallas son varias entre las cuales su función más común es servir como material de refuerzo (Segovia & Hidalgo, 2001). Debido a esto, suele competir con los geotextiles, ya que poseen usos similares. Sin embargo, de acuerdo con una encuesta realizada en 1987 acerca del reforzamiento de muros mediante el uso de geo-sintéticos, se indicó que en el 50% de muros reforzados se han utilizado geomallas, ya que puede usarse en el refuerzo de muros con pendientes más pronunciadas (Koerner, 1998).

Son varios los usos que se les puede dar a las geomallas, los cuales se listan a continuación (Koerner, 1998):

- Efecto de confinamiento de las partículas del suelo.
- Reparar fallas de taludes.
- Como refuerzo en suelos blandos.
- Como refuerzo de rellenos de terraplenes y presas de tierra.
- Como refuerzo en gaviones para la construcción de paredes.
- Como refuerzo en gaviones para construcción de estructuras de control de erosión.
- Como refuerzo en gaviones para abatimientos de puentes.
- En suelos de sitios de construcción temporales.
- Como refuerzo para subrasante en carreteras.
- Refuerzo de cimentaciones.
- Elaboración de paredes MSE.

A continuación, se describirán tres tipos de refuerzos con la implementación de geomallas:

3.2.4.1 Como Refuerzo para Subrasante en Carreteras

Las geomallas tienen la capacidad de incluirse con el material granular no compactado utilizado en los pavimentos flexibles, de manera que, se produzca un reforzamiento del pavimento, y se mejore la eficiencia de este. Además, prolongan la vida útil del pavimento, y pueden reducir los costos durante las fases iniciales del proyecto, reduciendo el espesor de la capa de agregado, sin afectar el rendimiento de esta. (Reduction, 1984)

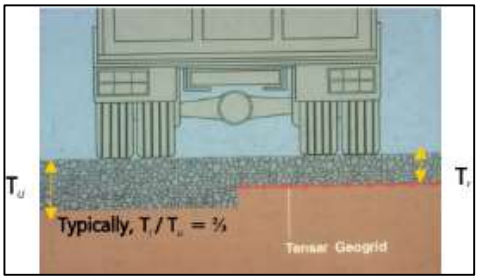


Figura 13: Capa de granular con implantación de geomalla. Recuperado de Tensar information bulletin

Los ensayos realizados para demostrar la mejora del rendimiento del suelo al mejorarlo con la geomalla se listan a continuación (Reduction, 1984):

- Pruebas en el laboratorio utilizando placas de carga cíclicas.
- Ensayos a escala real, bajo un ambiente controlado.
- Monitoreo de rutas comerciales durante su periodo de diseño.

3.2.4.2 Refuerzo de Cimentaciones

Pueden existir grandes problemas durante la construcción y durante la vida útil de las cimentaciones, debido a que el suelo de fundación posee una baja capacidad de carga. Por ello, en cimentaciones poco profundas se puede mejorar la baja capacidad de carga del suelo empleando la técnica de refuerzo con el uso de geomallas (Zhang, Fu, Yu, & Zhang, 2009).

En el refuerzo de cimentaciones con geomallas, éstas son colocadas debajo de las zapatas poco profundas en edificaciones o en las superficies de trabajo para la construcción de terraplenes sobre suelos blandos. Este proceso se desarrolla con detalle, en el capítulo 4 del presente trabajo de investigación.

3.2.4.3 Para la Elaboración de Paredes MSE

Las paredes MSE (Mechanically Stabilized Earth), o paredes con suelo estabilizado mecánicamente, son paredes de confinamiento de material, utilizadas para reforzar el suelo contra fuerzas externas. Estas paredes son creadas mediante el uso de elementos de refuerzos horizontales, para posteriormente ser compactados (Td--, 2006).

Adicionalmente, las paredes MSE son típicamente utilizadas en la construcción de nuevas vías o en la ampliación de vías existentes. Las paredes MSE se comportan como un bloque flexible de paneles, capaces de sostener cargas significativas y deformaciones debido a la interacción que existe entre el material de refuerzo y el material usado como relleno (Td--, 2006).

Vale la pena decir, que los materiales de refuerzo pueden ser geo-sintéticos, ya sean, geomallas uniaxiales, o geotextiles tejidos de alta resistencia, o ser refuerzos metálicos como tiras o mallas de acero (Td--, 2006).

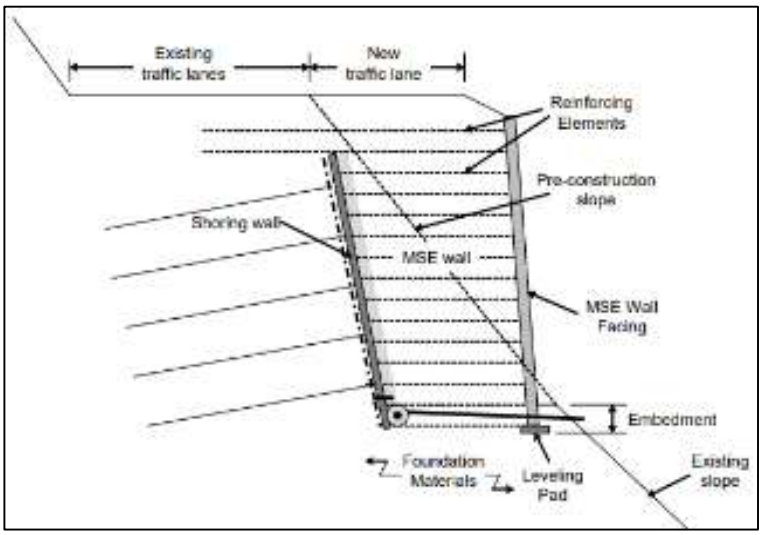


Figura 14: Paredes MSE. Recuperado de: Shored Mechanically Stabilized Earth (SMSE) Wall Systems Design Guidelines

Alrededor del mundo el empleo de geomallas ha destacado significativamente por sus propiedades y características, entre las más importantes se encuentran(Koerner, 1998):

- Económicos.
- Facilidad de puesta en obra.
- Ahorros en tiempos de ejecución.
- Posibilitan soluciones medioambientales.
- Ofrecen muchas posibilidades de uso.

3.2.5 Clasificación de Geomallas

3.2.5.1 Clasificación según su Fabricación

Las geomallas y sus productos relacionados son fabricadas mediante distintos procesos, son fabricadas con poliéster, polipropileno y polietileno de alta densidad. De acuerdo a su tipo de fabricación tenemos tres clases de geomallas que son (Cruz, 2013):

3.2.5.1.1 Geomallas Soldadas

Son generalmente fabricadas con hilos o tiras multifilamento de poliéster cubierto de polímero que proteja de la acción UV al material principal, sus costillas están unidas a través de un proceso de termofusión logrando llegar a resistencias muy altas (Cruz, 2013).



Fotografía 4: Geomalla soldada. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 28.

3.2.5.1.2 Geomallas Extruidas

Son estructuras planas fabricadas de polímeros tales como, el polietileno o polipropileno de alta densidad, se forman mediante el proceso de extrusión y estiramiento sucesivo en una o dos direcciones. Entre las características predominantes de este tipo de geomallas se encuentra la resistencia a la tracción en sentido longitudinal que alcanza entre 60 y 200 KN/m, mientras que, las geomallas estiradas en dos direcciones alcanzan resistencias iguales en ambos sentidos entre 20 a 30 KN/m y poseen resistencias iguales en ambos sentidos (Segovia & Hidalgo, 2001).

Son estructuras planas fabricadas de polímeros tales como, el polietileno o polipropileno de alta densidad, se forman mediante el proceso de extrusión y estiramiento sucesivo en una o dos direcciones. Entre las características predominantes de este tipo de geomallas se encuentra la resistencia a la tracción en sentido longitudinal que alcanza entre 60 y 200 KN/m, mientras que, las geomallas estiradas en dos direcciones alcanzan resistencias iguales en ambos sentidos entre 20 a 30 KN/m y poseen resistencias iguales en ambos sentidos (Segovia & Hidalgo, 2001).

Adicionalmente, las geomallas extruidas actúan como un armazón de los suelos y pavimentos, además, distribuye los esfuerzos horizontales evitando fisuras en la estructura en donde se aplica. Ejemplificando, se las utiliza en muros de contención y estabilización de pendientes. (Segovia & Hidalgo, 2001).

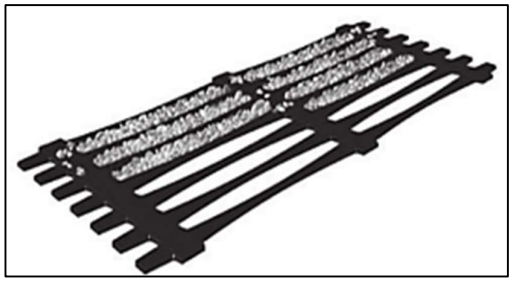


Figura 15: Geomalla uniaxial extruida. Tomado de: Geosoft PAVCO, 2009, p. 14.

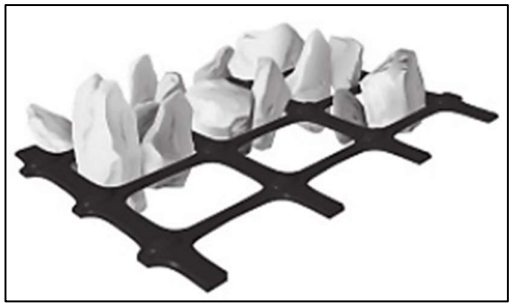


Figura 16: Geomalla biaxial extruida. Tomado de: Geosoft PAVCO, 2009, p. 14.

3.2.5.1.3 Geomallas Tejidas

Son estructuras planas en forma de red, fabricadas mediante entrelazado de fibras sintéticas perpendicularmente en máquinas similares a telares, poseen un elevado módulo de resistencia y se encuentran cubiertas por una capa de sintético, comúnmente PVC, la cual permite dotar a la geomalla de estabilidad dimensional (Segovia & Hidalgo, 2001). Su ventaja radica en que su entrelazado genera menores puntos de falla que las demás geomallas (Cruz, 2013).

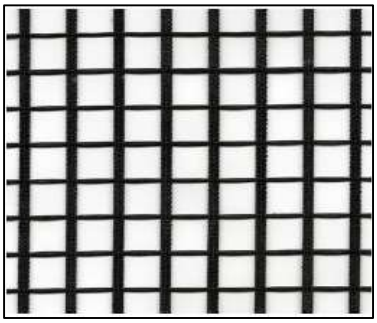


Figura 17: Geomalla biaxial tejida. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 29.

3.2.5.2 Clasificación según su Función

De acuerdo con su funcionamiento las geomallas son divididas en:

3.2.5.2.1 Geomallas Uniaxiales

Poseen resistencia a la tensión solamente en un solo sentido, es decir, en el sentido de fabricación (Cruz, 2013).



Fotografía 5: Geomalla uniaxial. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 30.

3.2.5.2.2 Geomallas Biaxiales

Tienen resistentica a la tensión en el sentido longitudinal de su fabricación y también en el sentido transversal (Cruz, 2013).



Fotografía 6: Geomalla biaxial. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 29.

3.2.5.2.3 Geomallas Multiaxiales o Triaxiales

Poseen resistencia a la tensión en el sentido de su fabricación (a lo largo del rollo) y en su sentido transversal. Además, puede ejercer resistencia en sentidos inclinados, situándose como las geomallas más resistentes en el mercado (Cruz, 2013).

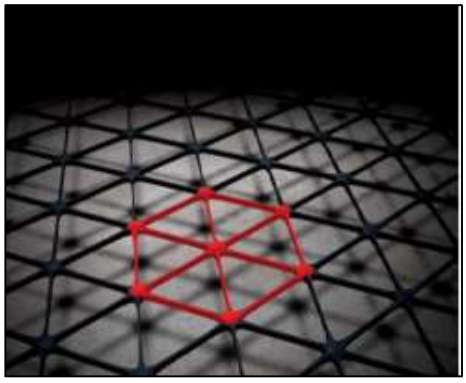


Figura 18: Geomalla multiaxial. Tomado de: Cruz Elías, 2013, pg. 30.

3.2.5.3 Clasificación según su Flexibilidad

Respecto a su flexibilidad, se tienen dos tipos de geomalla:

- **Geomallas rígidas:** aquellas que son fabricadas mediante procesos de pre-esfuerzo del polímero tal como: polipropileno y polietileno de alta densidad.
- **Geomallas flexibles:** aquellas que fueron sometidas a un grado alto de orientación molecular previo y son fabricadas generalmente de poliéster.

3.2.6 Tipos de Geomallas utilizadas en la Investigación

Para el desarrollo de la investigación se utilizó:

- Geomalla biaxial BX1100
- Geomalla multiaxial TX5

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas de cada geomalla.

3.2.6.1 Geomalla Biaxial BX1100

La geomalla biaxial es manufacturada mediante una hoja de polipropileno perforada, la malla se fabrica en dos direcciones, de manera que, se formen aberturas cuadradas (Type et al., n.d.).

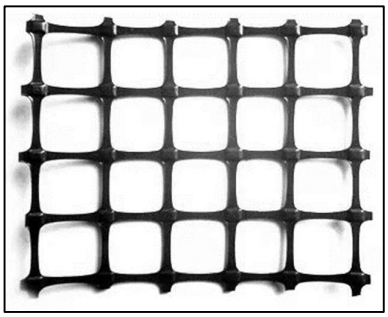


Figura 19: Geomalla biaxial. Tomado de: Tensar- Product Specification, 2018, pg. 4.

La geomalla biaxial se presenta en rollos que pueden ser de un ancho de 3 metros o 4 metros, por una longitud de 75 metros. Así, un camión de carga puede llevar aproximadamente entre 185 a 250 rollos de geomallas. A continuación, se muestra las propiedades que contribuyen con el rendimiento de una capa de geomalla (Type et al., n.d.).

Propiedades	**Unidades**	**Valores en dirección de la longitud de producción**	**Valores en dirección del ancho de producción**
Dimensiones de la apertura	mm	25	33
Grosor mínimo de las costillas	mm	0.76	0.76
Resistencia a la tracción al 2% de deformación	kN/m	4.1	6.6
Resistencia a la tracción al 3% de deformación	kN/m	8.5	13.4
Máxima resistencia a la tracción	kN/m	12.4	19
Integridad Estructural			
Eficiencia de la unión	%	93	
Rigidez a la flexión	mg-cm	250000	
Estabilidad de la apertura	m-N/deg	0.32	
Durabilidad			
Resistencia al daño de instalación	%SC/%SW/%GP	95/93/90	
Resistencia a la degradación a largo plazo	%	100	
Resistencia a la degradación UV	%	100	

Tabla 12: Propiedades, Integridad Estructural y Durabilidad de las geomallas biaxiales BX1100. Tomado de: Tensar-Product Specification, 2018, pg. 4.

3.2.6.2 Geomalla Multiaxial TX5

La geomalla multiaxial es manufacturada mediante una hoja de polipropileno perforada, la malla se fabrica en tres direcciones, de manera que, se formen las aberturas con una forma triangular y equidistante (*Product Specification - TriAx ® TX5 Geogrid*, 2011).

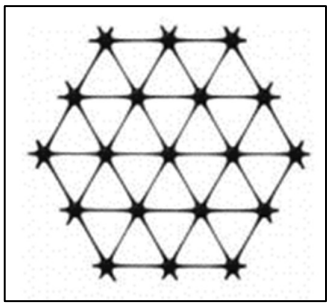


Figura 20: Geomalla multiaxial. Recuperado de Tensar: Product Specification, 2011, pg. 1.

La geomalla se presenta en rollos que suelen tener un ancho de 3 metros o 4 metros, por una longitud de 75 metros. A continuación, se muestra las propiedades que contribuyen con el rendimiento de una capa de geomalla. (*Product Specification - TriAx ® TX5 Geogrid*, 2011)

Propiedades	Longitudinal (mm)	Diagonal (mm)	Transversal (mm)	General (mm)
Apertura entre costillas	40	40		
Profundidad media de la costilla		1.3	1.2	

Ancho medio de la costilla		0.9	1.2	
Forma de la costilla				Rectangular
Forma de la apertura				Triangular

Tabla 13: Propiedades de la geomalla multiaxial TX5. Tomado de Tensar- Product Specification, 2011, pg. 1.

Capítulo 4: Cimentaciones y Capacidad de Carga

4.1. Cimentaciones

La cimentación es conjunto de elementos que son parte de la estructura de una edificación cuya función es transmitir exclusivamente el peso de la estructura al suelo natural (Terzaghi & Peck, 2013). Una cimentación diseñada adecuadamente transfiere las cargas al suelo sin sobresforzar el mismo, ya que si el suelo tiene sobrecarga se conduce a un asentamiento excesivo o ya sea una falla cortante del mismo (Braja, 2012).

Cuando el suelo recibe la carga transmitida por la estructura a través de la cimentación, se comprime en mayor o menor grado produciendo asentamientos de los elementos de la cimentación y por ende de toda la superestructura, por lo tanto, es importante que durante el diseño de la cimentación se controlen los asentamientos (Romo, 2016).

En ingeniería el suelo es un material heterogéneo e imprescindible en su comportamiento, es por esta razón que los coeficientes de seguridad que deben utilizarse en el diseño de cimentaciones son al menos de 3 con relación a la resistencia. De acuerdo a la presencia de diferentes suelos y tipos de estructura en el lugar de construcción se construyen la cimentación más adecuada (Romo, 2016).

Nos referimos a cimentaciones superficiales cuando inmediatamente debajo de la estructura (zapata) existe un estrato de suelo resistente de suficiente espesor que cumple con la relación $Df/B \leq 4$. Y si la capa de suelo resistente está ubicada muy por debajo de la base de la estructura las cargas de la estructura deberán transmitirse al suelo mediante elementos especiales como: pilas, pilotes, pozos, etc denominadas como cimentaciones profundas con relación $Df/B > 4$ (J. Rodriguez, 1970).

De acuerdo a la ubicación y características de el/los estratos resistentes del suelo, las cimentaciones se clasifican en cimentaciones superficiales y profundas. Entre las cimentaciones superficiales se sitúan: plintos aislados, plintos combinados, cimentación continua, viga de cimentación y losa de cimentación. Y entre las cimentaciones profundas se utilizan: pilotes hincados o fundidos in situ y caissons (Romo, 2016).

Para que las cimentaciones superficiales en general tengan un buen desempeño deben cumplir con dos características principales: (Braja, 2012)

1. Ser seguras contra la falla general por corte del suelo que la soporta.
2. No debe experimentar asentamientos excesivos.

Dentro de las cimentaciones superficiales se encuentran:

- **Zapata Aislada:** son utilizados como soporte de cada columna y colocados bajo cada una de ellas, se emplean cuando el área total de los plintos es menor igual al área total de construcción del terreno cuya zapata puede ser construida de hormigón armado, simple o ciclópeo con diferente geometría. Cuando la resultante de las cargas provenientes de la superestructura no pasa por el centro de gravedad de la base de la zapata se realizan plintos excéntricos (Romo, 2016).

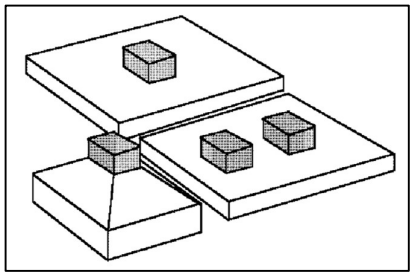


Figura 21: Zapata Aislada. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 160.

- **Zapata Combinada:** se utilizan para integrar el funcionamiento de un plinto inestable o ineficiente por si solo con otro plinto estable o eficiente conectado mediante una viga de rigidez. Son colocados cuando los plintos se encuentran muy próximos a las columnas, así, se evita que el suelo se separe en la cercanía de los plintos y puede tomar diferente geometría como: rectangular o trapezoidal según sea el caso (Romo, 2016).

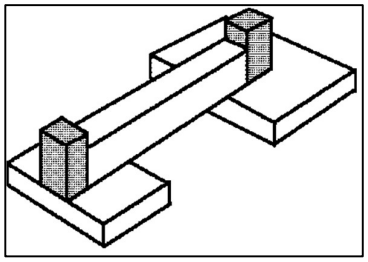


Figura 22: Zapata Combinada. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 160.

- **Zapata Corrida:** son cimentaciones de gran longitud comparada con su sección trasversal, posee un elemento estructural continuo, como un muro. Sirve también de arriostramiento y puede reducir la presión sobre el terreno, sus construcción pueden ser de hormigón o mampostería (Montoya, 2010).

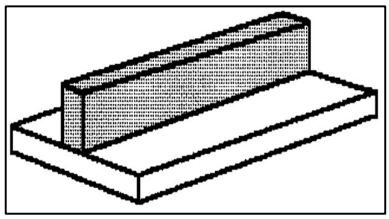


Figura 23: Zapata corrida. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 160.

- **Viga de Cimentación:** es utilizada en suelos poco resistentes de manera que se integre linealmente la cimentación de varias columnas, cuando se integran las columnas a nivel superficial mediante vigas de cimentación en dos direcciones se forma una malla de cimentación (Romo, 2016).

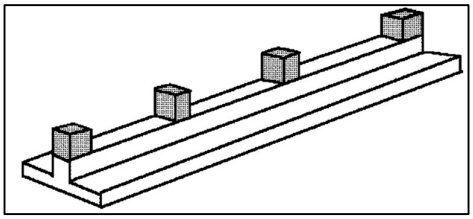


Figura 24: Viga de Cimentación. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 161.

- **Losa de Cimentación:** se emplea en suelos poco resistentes respecto a las cargas transmitidas para que se integre superficialmente la cimentación de varias columnas a la vez. Mayoritariamente se utilizan para limitar los asentamientos diferenciales y totales cuando exista una notable variabilidad entre apoyos cercanos (Sanchez, 2007)

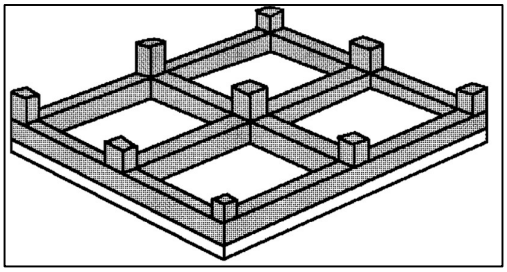


Figura 25: Losa de Cimentación. Tomado de: Introduccion al diseño de cimentaciones, 2016, p. 161.

La mecánica de suelos brinda los medios necesarios para el cálculo del factor de seguridad que debe tener una zapata en arena para evitar una falla de la cimentación al penetrar la cimentación en el suelo, de esta manera se puede estimar el asentamiento y poder conocer si la función de toda la estructura se verá afectada por los desplazamientos provocados. (Terzaghi & Peck, 2013).

La experiencia ha demostrado que en todas las arenas exceptuando las arenas muy sueltas, las cimentaciones sometidas a presiones convencionales del suelo como los detallados en los diferentes códigos de la construcción, rara vez logran asentarse y provocar daños en toda la estructura que soporta (Terzaghi & Peck, 2013).

La densidad relativa y la compresibilidad de las arenas varían de un lugar a otro, hasta el punto de que probablemente los asentamientos de la zapata igualmente cargada pero situada en dos lugares distintos sean diferentes (Terzaghi & Peck, 2013).

Incluso si el depósito de arena fuera homogéneo existen muchas limitaciones y obstáculos prácticos para hacer el cálculo confiable de una zapata. El procedimiento de cálculo determina la presión vertical a varias profundidades debajo de la cimentación y la compresibilidad vertical de la arena calculando deformaciones verticales resultantes entre las profundidades seleccionadas para sumarlas y obtener el valor de asentamiento (Terzaghi & Peck, 2013).

El deslizamiento de las partículas del suelo es una deformación irreversible o no lineal y por lo tanto, se espera que el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo sea también irreversible, la masa del suelo está controlada por las interacciones entre las partículas individuales debido al deslizamiento que ocurre entre ellas (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

La compresibilidad vertical de la arena depende mucho de la relación de tensión inicial *"Ko",* así como de las fuerzas de fricción que se desarrollan en la base de la zapata cuando se carga la cimentación. (Terzaghi & Peck, 2013).

4.2. Capacidad de Carga Última del Suelo

Se conoce como capacidad de carga última **"qu"** del suelo al punto cuando la carga por unidad de área da lugar a una falla repentina en el suelo que soporta la cimentación y la zona de falla del suelo se extiende hasta la superficie del terreno (Bernal, 2012)

Para el caso de la capacidad de carga en arenas, la tasa de drenaje es muy rápida en relación con la tasa de aplicación de carga, por ello, es posible contar con la fuerza drenada para determinar la capacidad de carga máxima del material (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

4.2.1 Teoría de Capacidad de Carga Última para Suelos Saturados

Debido a que la ecuación de Terzaghi se encuentra limitada por varios factores como: (Ishibashi & Hazarika, 2010a)

- La cimentación debe ser poco profunda.
- Debe ser una zapata en dos dimensiones.
- La carga aplicada a la zapata sea una carga vertical.

Se determinó una fórmula modificada para casos más generales, la cual se desarrolla a continuación: (Ishibashi & Hazarika, 2010a)

$$\boldsymbol{q_u} = c\ Nc\ F_{cs}F_{cd}F_{ci} + q\ N_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$\boldsymbol{q} = \gamma * D_f$$

$$\boldsymbol{q_u} = c\ Nc\ F_{cs}F_{cd}F_{ci} + \gamma D_f\ N_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Donde:

- "$\boldsymbol{F_{cs} * F_{qs} * F_{\gamma s}}$"**:** Factores de forma, para las diferentes formas de las zapatas.
- "$\boldsymbol{F_{cd} * F_{qd} * F_{\gamma d}}$"**:** Factores de profundidad, para cimentaciones más profundas.
- "$\boldsymbol{F_{ci} * F_{qi} * F_{\gamma i}}$"**:** Factores de inclinación, cuando la carga que se transmite a la zapata proviene de varias direcciones, ya no es únicamente vertical.

A lo largo de los años, varios investigadores (De Beer 1970, Hansen 1970, Vesic 1973, Hanna and Meyerhof 1981) han modificado los factores de capacidad de carga, los factores de forma, profundidad e inclinación. (Ishibashi & Hazarika, 2010a)

Por esta razón, se desarrollaron tablas o métodos simplificados para poder obtener las diferentes incógnitas presentes en la ecuación general de capacidad de carga (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

Para la determinación de los factores que constituyen la Ecuación Generalizada, se utilizan las expresiones planteadas por los siguientes autores:

4.2.2.1 Factores de Capacidad de Carga

- **Reissner (1924)**

$$\boldsymbol{Nq} = tan^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\emptyset}{2}\right)e^{\pi \tan \emptyset}$$

- **Reissner (1924)**

$$\boldsymbol{Nc} = (Nq-1)\,cot\,\emptyset$$

- **Hjiaj et al (2005)**

$$\boldsymbol{N\gamma} = e^{\left(\frac{1}{6}(\pi+3\pi^2 \tan \emptyset)\right)}\,tan^{\frac{2\pi}{5}}\emptyset$$

4.2.2.2 Factores de Forma

Se emplean para zapatas rectangulares, cuadradas y circulares. Para zapatas rectangulares, se da una nomenclatura de B al ancho de la zapata y L a la longitud de la zapata, pero, B tiene que ser menor a L (B<L). Además, para zapatas circulares, B es el diámetro de la cimentación y B será igual a L (B=L) (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

Los factores de forma se determinan en función del ángulo de fricción y dimensiones de cimentación (Ishibashi & Hazarika, 2010a):

Vesic (1973)

$$\boldsymbol{Fcs} = 1 + \left(\frac{Nq * B}{Nc * L}\right)$$

$$\boldsymbol{Fqs} = 1 + tan\ \emptyset\ \left(\frac{B}{L}\right)$$

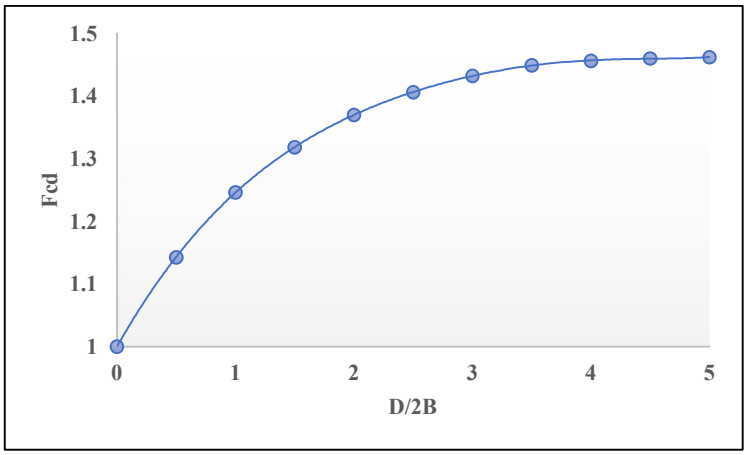
$$\boldsymbol{F\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$$

4.2.2.3 Factores de Profundidad

Skempton (1951)

$$\boldsymbol{Fqd} = 1$$

$$\boldsymbol{F\gamma d} = 1$$



Gráfica 6: Factor de Profundidad. Elaboración Propia.

4.2.2.4 Factores de Inclinación

Donde β es el ángulo de inclinación de la carga a la que está sometida la cimentación, respecto a la vertical. (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

Hanna y Meyerhof (1981)

$$\boldsymbol{Fci} = \boldsymbol{Fqi} = \left(1 - \frac{\beta°}{90°}\right)^2$$

$$\boldsymbol{F\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\emptyset}\right)^2$$

Si consideramos colocar una cimentación corrida sobre una arena densa o sobre un suelo cohesivo firme, la falla producida corresponde al literal a) de la siguiente figura, donde la carga es aplicada gradualmente y el asentamiento incrementa de la misma manera hasta llegar a un punto en donde la carga por unidad de área es igual a la carga ultima "q_u", entonces se genera una falla repentina con una superficie de rotura continua bajo la cimentación que aflora en el exterior. Esta carga es denominada como "Carga de hundimiento de la cimentación" y el tipo de falla se denomina "Rotura General por Corte" (Egoavil & Gonzáles, 2012).

Por otro lado, si la cimentación en consideración descansa sobre un suelo arenoso o sobre un suelo arcilloso de mediana compacidad, el incremento de carga genera un aumento en su asentamiento, como se indica en el literal b) de la figura 26. Aquí, el suelo se extiende gradualmente hacia el exterior y cuando la carga aplicada es igual a "q_u", se producen sacudidas repentinas en el suelo. No existe un valor máximo para la capacidad de carga "q_u" y este tipo de falla se denomina "Rotura Local por Corte" (Egoavil & Gonzáles, 2012).

Si la cimentación se encuentra sobre un suelo muy suelto, la superficie de rotura no se extiende hacia la superficie, sin embargo, el incremento de carga genera un aumento del asentamiento, hasta que en un punto para una carga máxima los valores de asentamiento aumentan sin aumentar la carga, a lo que se denomina "Falla por punzonamiento" (Egoavil & Gonzáles, 2012).

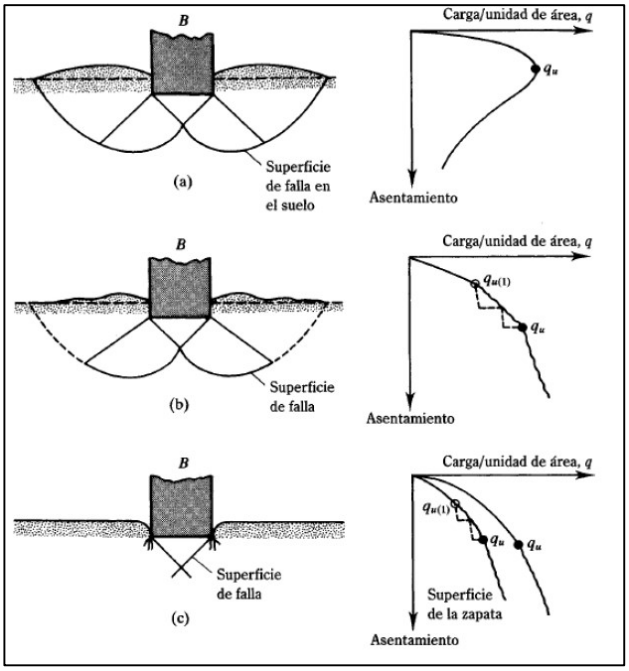


Figura 26: Tipos de Rotura del Suelo. Tomado de: Egoavil y Gonzáles, 2012, pg. 30.

4.2.2 Teoría de Capacidad de Carga para Suelos No Saturados

El cálculo de capacidad de carga para suelo no saturados influye en el cálculo de una cohesión aparente que se encuentra en función de la matriz de succión y el ángulo saturado de fricción del suelo como se puede observar en la ecuación (Tristá, Daniel, Cristía, Julio, & Sotolongo, n.d.):

$$\boldsymbol{q_u} = [c' + (u_a - u_w)_b(tan\,\emptyset_{sat} - S_r^{\Psi} * tan\,\emptyset_{sat}) + (u_a - u_w)_{AVR} * S_r^{\Psi} * tan\,\emptyset_{sat}]$$
$$* N_c S_c i_c d_c + \gamma * d * N_q S_q i_q d_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma S_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

$$\Psi = 1 + 0.34 * \pi - 0.0031 * \pi^2$$

En la ecuación anterior se puede determinar que el único valor que varía con respecto a la ecuación de capacidad de carga propuesta por Meyerhof es la cohesión.

4.2.3 Capacidad de Carga Bruta vs Capacidad de Carga Ultima Neta

Se define como capacidad de carga bruta a la capacidad de carga última del suelo, la cual es el valor del esfuerzo último que el suelo puede soportar al nivel de base de la cimentación. Por otro lado, se define como capacidad de carga neta "$q_{u.net}$", como la intensidad de presión neta mínima la cual causa la falla de corte del suelo (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

Modificando las ecuaciones de capacidad de carga se obtiene: (Ishibashi & Hazarika, 2010a)

$$q_{u,net} = q_u - \gamma_1 * D_f$$

Simplificando los pasos, se obtiene la siguiente ecuación (Ishibashi & Hazarika, 2010a)

$$q_{u,net} = cN_c f_{cs} f_{cd} f_{ci} + \gamma_1 D_f \left(N_q f_{qs} f_{qd} f_{qi} - 1\right) + \frac{1}{2}\gamma_2 B N_\gamma f_{\gamma s} f_{\gamma d} f_{\gamma i}$$

Es importante que, la capacidad bruta y la capacidad neta no se confundan ya que, la capacidad de carga neta es usada para el diseño de la superestructura arriba de la cimentación. (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

4.2.4 Factores de Seguridad

Es necesario implementar factores de seguridad en el cálculo de capacidades de carga debido a que sus ecuaciones utilizan varios factores empíricos, además, se debe considerar la incertidumbre de las propiedades de los materiales y la distribución no espacial del suelo. Al aplicar el factor de seguridad se obtiene la capacidad de carga de diseño denominada como "q_d". El factor de seguridad puede ser aplicado a la capacidad de carga neta o bruta de la estructura (Ishibashi & Hazarika, 2010a).

4.2.5 Interacción Geomalla, Suelo y Cimentación

El funcionamiento de las geomallas utilizadas como reforzamiento del suelo bajo de las cimentaciones poco profundas se desarrolla de la siguiente manera:

1. En las cimentaciones superficiales, la carga proveniente de la estructura tiende a conducir el suelo desde adentro hacia afuera, como se muestra en la línea de falla en la Figura 28. Además, debido a que la rigidez del refuerzo, en este caso la geomalla, suele ser mayor a la resistencia del suelo, la fuerza de desplazamiento del suelo es soportada por el refuerzo. Consecuentemente, el refuerzo va a trabajar a tracción hasta su punto de falla, dicha falla ocurre en el punto 1 (Zhang et al., 2009).

2. La fuerza provocada por la cimentación tiende a mover hacia abajo el suelo ubicado justo debajo de la cimentación. Por lo que, la fuerza de cizallamiento del suelo y del refuerzo, resiste en un inicio el deslizamiento inicial del suelo. Sin embargo, cuando existe un gran desplazamiento del suelo, el refuerzo puede fallar por corte en la zona inferior a la cimentación. La falla se da en el punto 2, como se muestra en la Figura 28 (Zhang et al., 2009).

3. De igual manera, la zona pasiva ubicada lejos de los cimientos poco profundos sufre una falla simultánea de corte, la cual se ilustra en el punto 3 de la figura (Zhang et al., 2009).

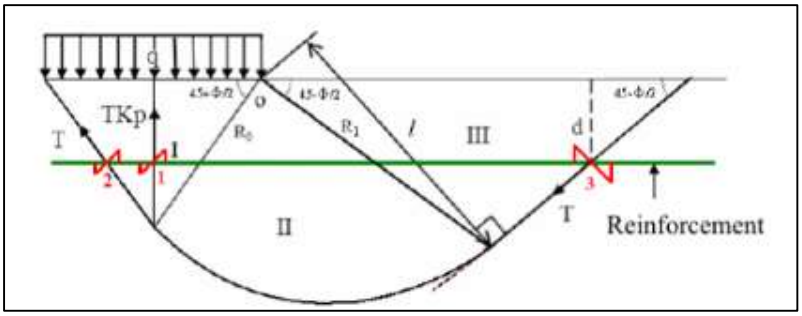


Figura 27: Falla en cimentación poco profunda reforzada por geomallas. Tomado de: Zhang et al., 2009, pg. 41.

4.2.6 Distribución de Esfuerzos

Para conocer el comportamiento que tienen los suelos en la ingeniería y construcción es importante entender el concepto de esfuerzo dentro de una masa de suelo y la forma en la que este actúa sobre el mismo, como un todo se relaciona con los esfuerzos que se desarrollan en el esqueleto del suelo y del fluido intersticial (Berry & Reid, 1993).

Para todos los problemas de ingeniería que se presentan y poder resolverlos es necesario entender como evaluar aquellos esfuerzos que actúan en la masa del suelo producto del efecto de su propio peso y el cambio de esfuerzos que se induce en el suelo debido a la acción de una carga o descarga producto de la ejecución de obras civiles. De igual manera se toman en cuenta las deformaciones que ocurren "asentamientos" los cuales resultan de los cambios de esfuerzo que se producen en la masa del suelo (Berry & Reid, 1993).

Generalmente, el esfuerzo sobre un punto dentro de la masa de suelo no es el mismo en todas las direcciones, por ello, es importante estudiar el estado de los esfuerzos en el suelo y sus relaciones actuantes en diferentes direcciones, sin embargo, en la mayoría de los problemas ingenieriles el interés principal se encuentra en los esfuerzos que actúan en una sola dirección como por ejemplo, en dirección vertical para el estudio de capacidad portante y asentamientos de cimentaciones motivo de la presente investigación o en dirección horizontal en el estudio de presiones de tierra sobre los muros de contención (Berry & Reid, 1993).

La determinación de la distribución de esfuerzos en la masa de suelo puede decirse que no ha sido resuelto en su totalidad, ya que su cálculo se basa en la Teoría de la Elasticidad, lo cual no involucra los efectos prácticos que se presentan a menudo en realidad (Juárez & Rico, 1973).

Los resultados que se obtengan deberán siempre de analizarse con criterio y ajustarse a la experiencia, para que el ingeniero civil logre en la mayoría de casos una estimación aproximada de los fenómenos reales y le sea posible trabajar sus proyectos y materiales con factores de seguridad (Juárez & Rico, 1973).

Un material es homogéneo cuando en todos sus puntos las propiedades físicas son idénticas, es decir, un suelo saturado de agua no será homogéneo, ya que en algunos puntos de la masa del suelo existen partículas pétreas y en otros existe agua, por tal razón, el suelo no es un material completamente homogéneo. El material es isotrópico cuando en cada uno de sus puntos las propiedades físicas son iguales en todas las direcciones, en los suelos tampoco se cumple esta hipótesis ya que, son formaciones naturales que se han consolidado y por ende sus propiedades en dirección horizontal son diferentes a las de resistencia en dirección vertical. Por otro lado, el material o suelo será elástico cuando siga la Ley de Hooke, en donde las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos (Crespo, 2004).

Si se considera al suelo como un material elástico, homogéneo e isotrópico el cual se extiende en todas las direcciones, con la aplicación de una carga sobre él, se podrá determinar la distribución de presiones que se producen en su interior. El problema de la determinación de la distribución de presiones correspondiente a una carga concentrada vertical en la superficie del semiespacio fue resuelto por Boussinesq en el año 1865 aplicando la teoría de la elasticidad (Crespo, 2004).

Considerando la Figura a continuación correspondiente a la aplicación de una carga vertical concentrada, las formulas obtenidas por Boussinesq son: (Crespo, 2004)

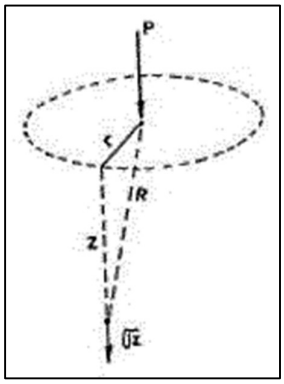


Figura 28: Carga Concentrada en el semiespacio. Tomado de: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.273.

$$\boldsymbol{\sigma_z} = \frac{P}{2\pi} * \frac{3 * z^3}{(r^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} = \frac{P}{2\pi * z^2}(3 * cos^5\theta) = \frac{3P}{2\pi} * \frac{z^3}{R^5}$$

$$\boldsymbol{\sigma_r} = \frac{P}{2\pi}\left[\frac{3 * r^2 * z}{(r^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} - \frac{(1-2u)}{r^2 + z^2 + z\sqrt{r^2 + z^2}}\right] = \frac{P}{2\pi * z^2}\left[3\, sen^2\theta\, cos^3\theta - \frac{(1-2u)cos^2\theta}{1+\cos\theta}\right]$$

$$\boldsymbol{\sigma_t} = -\frac{P}{2\pi}(1-2u)\left[\frac{z}{(r^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{r^2 + z^2 + z\sqrt{r^2 + z^2}}\right] = -\frac{P}{2\pi}(1-2u)\left[cos^3\theta - \frac{cos^2\theta}{1+\cos\theta}\right]$$

$$\boldsymbol{\sigma_{rz}} = \frac{P}{2\pi} * \frac{3\, r\, z^2}{(r^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} = \frac{P}{2\pi\, z^2}(3\ \sin\theta\ cos^4\theta)$$

En el caso de los suelos la expresión de Boussinesq que más nos interesa es la de presión vertical "σ_z", ubicado sobre un plano horizontal a una profundidad "z" y a una distancia radial "r", o sea la formula se expresa: (Crespo, 2004)

$$\boldsymbol{\sigma_z} = \frac{3\,P}{2\,\pi\,z^2} * \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)\right]^{5/2}}$$

O de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{\sigma_z} = K_B * \frac{P}{z^2}$$

Donde:

$$\boldsymbol{K_B} = \frac{3}{2\pi} * \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}} = \frac{0.478}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}}$$

Para facilidad de cálculo del esfuerzo vertical "σ_z", en la siguiente tabla se pueden obtener los valores de "K_B" en función de la relación "r/z": (Crespo, 2004)

r/z	K_B	r/z	K_B	r/z	K_B	r/z	K_B
0.00	0.4775						
0.01	0.4773	0.29	0.3902	0.57	0.2363	0.85	0.1226
0.02	0.4769	0.30	0.3849	0.58	0.2313	0.86	0.1196
0.03	0.4764	0.31	0.3796	0.59	0.2263	0.87	0.1167
0.04	0.4756	0.32	0.3742	0.60	0.2214	0.88	0.1138
0.05	0.4745	0.33	0.3687	0.61	0.2165	0.89	0.1110
0.06	0.4723	0.34	0.3632	0.62	0.2117	0.90	0.1083
0.07	0.4717	0.35	0.3577	0.63	0.2070	0.91	0.1057
0.08	0.4699	0.36	0.3521	0.64	0.2040	0.92	0.1031
0.09	0.4679	0.37	0.3464	0.65	0.1978	0.93	0.1005
0.10	0.4657	0.38	0.3408	0.66	0.1934	0.94	0.0981
0.11	0.4633	0.39	0.3351	0.67	0.1889	0.95	0.0956
0.12	0.4607	0.40	0.3295	0.68	0.1846	0.96	0.0933
0.13	0.4579	0.41	0.3238	0.69	0.1804	0.97	0.0909
0.14	0.4548	0.42	0.3181	0.70	0.1762	0.98	0.0887
0.15	0.4516	0.43	0.3124	0.71	0.1721	0.99	0.0865
0.16	0.4482	0.44	0.3068	0.72	0.1681	1.00	0.0844
0.17	0.4446	0.45	0.3011	0.73	0.1641	1.01	0.0823
0.18	0.4409	0.46	0.2955	0.74	0.1603	1.02	0.0803
0.19	0.4370	0.47	0.2899	0.75	0.1565	1.03	0.0783
0.20	0.4329	0.48	0.2843	0.76	0.1527	1.04	0.0764
0.21	0.4286	0.49	0.2788	0.77	0.1491	1.05	0.0745
0.22	0.4242	0.50	0.2733	0.78	0.1455	1.06	0.0726
0.23	0.4197	0.51	0.2679	0.79	0.1420	1.07	0.0709
0.24	0.4151	0.52	0.2625	0.80	0.1386	1.08	0.0691
0.25	0.4103	0.53	0.2571	0.81	0.1353	1.09	0.0674
0.26	0.4054	0.54	0.2518	0.82	0.1320	1.10	0.0657
0.27	0.4004	0.55	0.2466	0.83	0.1288	1.11	0.0641
0.28	0.3954	0.56	0.2414	0.84	0.1257	1.12	0.0626
1.13	0.0610	1.35	0.0357	1.57	0.0214	1.79	0.0132
1.14	0.0595	1.36	0.0348	1.58	0.0209	1.80	0.0129
1.15	0.0581	1.37	0.0340	1.59	0.0204	1.81	0.0126
1.16	0.0567	1.38	0.0332	1.60	0.0199	1.82	0.0123
1.17	0.0553	1.39	0.0324	1.61	0.0195	1.83	0.0121
1.18	0.0539	1.40	0.0317	1.62	0.0191	1.84	0.0118
1.19	0.0526	1.41	0.0309	1.63	0.0187	1.85	0.0116
1.20	0.0513	1.42	0.0302	1.64	0.0182	1.86	0.0114
1.21	0.0501	1.43	0.0295	1.65	0.0178	1.87	0.0111
1.22	0.0489	1.44	0.0288	1.66	0.0175	1.88	0.0109
1.23	0.0477	1.45	0.0282	1.67	0.0171	1.89	0.0107
1.24	0.0465	1.46	0.0275	1.68	0.0167	1.90	0.0105
1.25	0.0454	1.47	0.0269	1.69	0.0163	1.91	0.0102
1.26	0.0443	1.48	0.0263	1.70	0.0160	1.92	0.0100
1.27	0.0433	1.49	0.0257	1.71	0.0156	1.93	0.0098
1.28	0.0422	1.50	0.0251	1.72	0.0153	1.94	0.0096
1.29	0.0412	1.51	0.0245	1.73	0.0150	1.95	0.0094
1.30	0.0402	1.52	0.0239	1.74	0.0147	1.96	0.0093
1.31	0.0392	1.53	0.0234	1.75	0.0143	1.97	0.0091
1.32	0.0383	1.54	0.0229	1.76	0.0141	1.98	0.0089
1.33	0.0374	1.55	0.0223	1.77	0.0137	1.99	0.0087
1.34	0.0365	1.56	0.0218	1.78	0.0135	2.00	0.0085
						2.10	0.0070
						2.20	0.0058
						2.30	0.0048
						2.40	0.0040
						2.50	0.0034
						2.60	0.0029
						2.70	0.0024
						2.80	0.0021

Tabla 14: Valores de "K_B". Tomado de: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.276.

En las expresiones de Boussinesq las constantes elásticas del material no intervienen, por esa razón sus fórmulas pueden ser aplicadas a materiales de distintas naturalezas. Es importante conocer que la carga centrada dará siempre el mismo valor del esfuerzo independiente de las constantes elásticas, además, las deformaciones serán diferentes entre un cuerpo y otro pero el esfuerzo será el mismo (Berry & Reid, 1993).

En las expresiones de Boussinesq las constantes elásticas del material no intervienen, por esa razón sus fórmulas pueden ser aplicadas a materiales de distintas naturalezas. Es importante conocer que la carga centrada dará siempre el mismo valor del esfuerzo independiente de las constantes elásticas, además, las deformaciones serán diferentes entre un cuerpo y otro pero el esfuerzo será el mismo (Berry & Reid, 1993).

Gracias a la teoría de distribución de esfuerzos se pueden graficar dichos esfuerzos de diferentes formas, como por ejemplo: manteniendo constante "σ_z", de manera que con ello se formen isobaras o el bulbo de presiones como se indica en la Figura a continuación: (Berry & Reid, 1993).

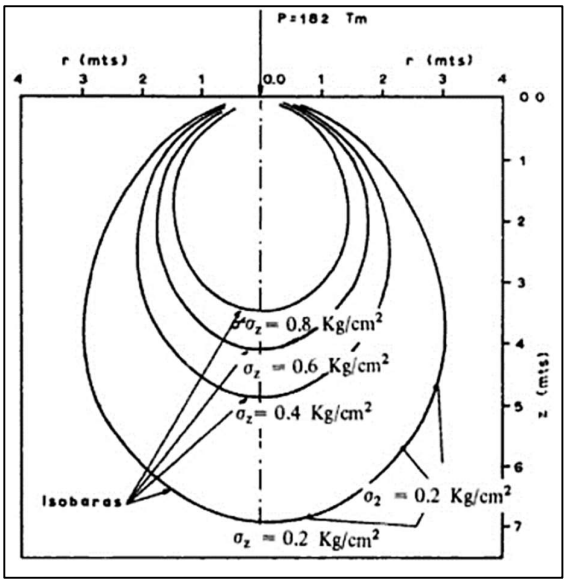


Figura 29: Bulbo de Presiones. Tomado de: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p.277.

4.3 Capacidad de Carga del Suelo Reforzado

4.3.1 Método de Binquet y Lee (1975)

La metodología de Binquet y Lee se basa en ensayos realizados en arenas utilizando reforzamientos de tiras metálicas, sin embargo, se puede aplicar su teoría para elementos que trabajen a tensión como lo son las geomallas (Egoavil & Gonzáles, 2012)

La metodología se basa en que la capacidad del suelo depende de la rigidez de cada capa de refuerzo, donde, si una capa de refuerzo se rompe o se deforma de manera excesiva, los esfuerzos se transmitirán a la capa siguiente. De manera que, se genere una rotura consecutiva, es por ello que se debe verificar el esfuerzo a la rotura y arrancamiento en cada capa (Egoavil & Gonzáles, 2012).

En el método de Binquet y Lee, el suelo se analiza con la misma distribución de tensiones que se generan cuando no existe refuerzo, independientemente de reforzarlo con diferentes capas. Además, en función del número de refuerzos, la fuerza de tracción va disminuyendo. Por último, el análisis del suelo con refuerzo se lo realiza al mismo nivel de asentamiento, que el análisis del suelo sin refuerzo(Egoavil & Gonzáles, 2012).

El plano de rotura que se genera al aumentarse la carga se puede observar en la siguiente figura, además, el suelo bajo la cimentación se asienta con la cimentación y el suelo lateral se empuja hacia arriba y hacia los costados (Egoavil & Gonzáles, 2012).

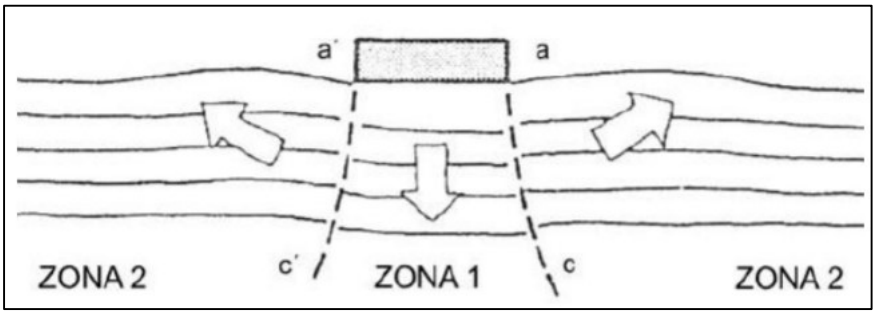


Figura 30: Plano de Rotura y Zonas bajo la Cimentación según Binquet y Lee. Tomado de Egoavil y Gonzáles, 2012, p.69

De igual manera, se puede observar que el valor de máximo esfuerzo cortante se da en los puntos A y B, y conforme sea más profundo, estos puntos se denominarán A´ y B´ respectivamente. Además, el esfuerzo cortante se puede calcular mediante cualquier método de la teoría de la elasticidad, en donde, se especifica que el esfuerzo varía respecto a la profundidad y distancia hacia el centro de la cimentación (Egoavil & Gonzáles, 2012).

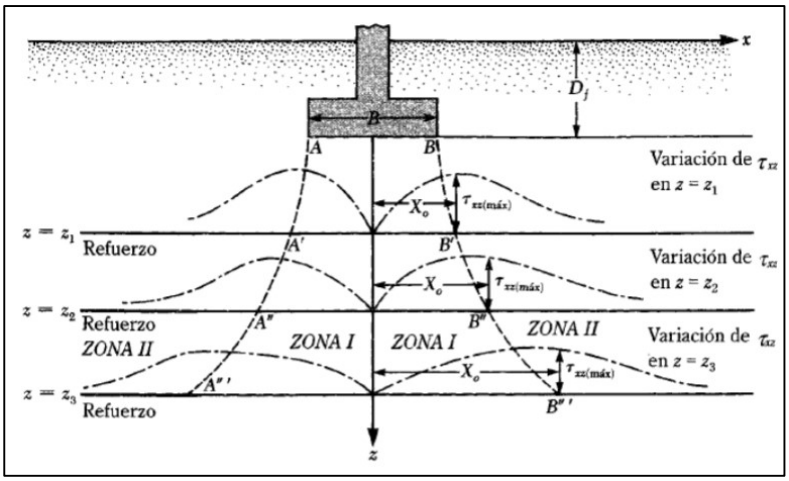


Figura 31: Distribución de Esfuerzos Bajo la Cimentación de Binquet y Lee. Tomado de: Egoavil y Gonzáles, 2012, p.70.

4.3.1.1 Cálculo en Función de la Resistencia a Tensión del Refuerzo

Para determinar la tensión producida en el refuerzo se asume que se genera una geometría vertical en los puntos de cortante máximo como se observa en la figura (Egoavil & Gonzáles, 2012).

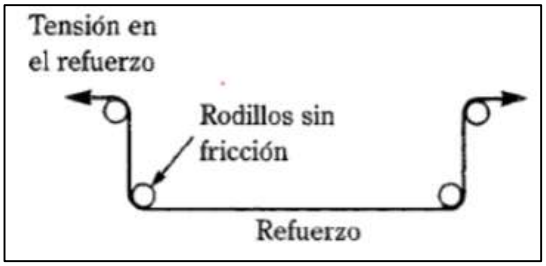


Figura 32: Geometría de la tensión en el refuerzo. Tomado de Egoavil y Gonzáles, 2012, p.71

Luego, se hace un equilibrio de esfuerzos al mismo asentamiento de una cimentación reforzada y sin reforzar (Egoavil & Gonzáles, 2012).

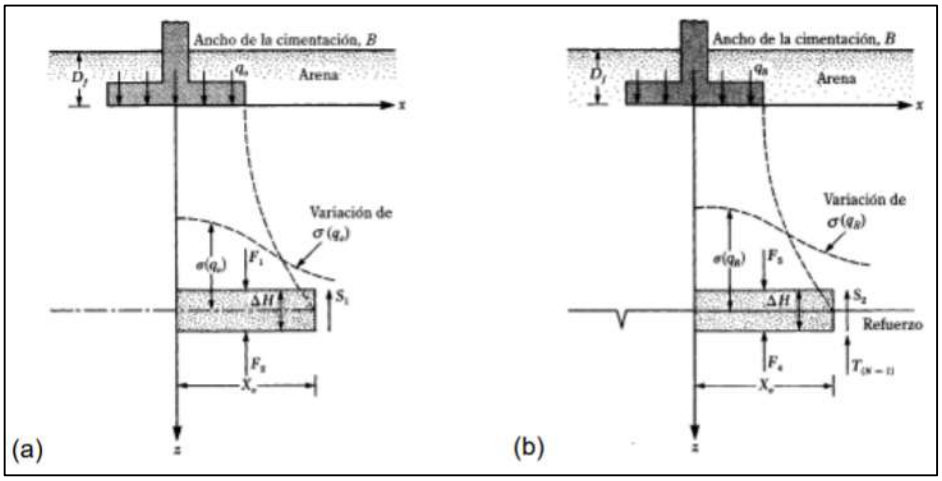


Figura 33: Equilibrio de Esfuerzos Cimentaciones Reforzadas y No Reforzadas. Tomado de Egoavil y Gonzáles, 2012, p.70

Para la figura a, el equilibrio de las fuerzas verticales se presenta en la siguiente ecuación, donde, F_1 y F_2 son las fuerzas verticales y S_1 es la fuerza cortante: (Egoavil & Gonzáles, 2012)

$$0 = F_1 - F_2 - S_1$$

Para la figura b, el equilibrio de las fuerzas verticales se presenta en la siguiente ecuación, donde F_3 y F_4 son las fuerzas verticales, S_2 es la fuerza cortante y T es la fuerza desarrollada en el refuerzo:(Egoavil & Gonzáles, 2012)

$$-T_{(N=1)} + F_3 - F_4 - S_2 = 0$$

Como se asume un asentamiento similar, las fuerzas F_2 y F_4 son iguales, obteniéndose la siguiente ecuación al reemplazar las ecuaciones anteriormente planteadas:(Egoavil & Gonzáles, 2012)

$$T_{(N=1)} = F_3 - F_1 - S_2 + S_1$$

La fuerza F_1 es el esfuerzo vertical que existe por la carga máxima soportada por la cimentación sin refuerzo denominado como "q_o" y F_3 es el esfuerzo máximo soportado por la cimentación con refuerzo llamado "q_r". Aplicando cualquier método de teoría de elasticidad se obtiene las siguientes ecuaciones:(Egoavil & Gonzáles, 2012)

$$F_1 = \int_0^{X_0} \sigma * (q_0) dx \qquad F_1 = J q_o B$$

$$F_3 = \int_0^{X_0} \sigma * (q_r) dx \qquad F_3 = J q_r B$$

$$S_1 = \tau_{xz}(q_0) * \Delta H \qquad S_1 = I * (q_0) * B$$

$$S_2 = \tau_{xz}(q_r) * \Delta H \qquad S_2 = I * (q_r) * B$$

Reemplazando en la ecuación anterior se obtiene (Egoavil & Gonzáles, 2012):

$$T_{(N=1)} = \left[q_o \left(\frac{q_r}{q_o} - 1 \right) (J * B - I * \Delta H) \right]$$

Además considerando más capas de refuerzo la ecuación se transforma en: (Egoavil & Gonzáles, 2012):

$$T_{(N)} = \frac{1}{N} * \left[q_o \left(\frac{q_r}{q_o} - 1 \right) (J * B - I * \Delta H) \right]$$

Los valores de J y de I, se obtienen de las siguientes curvas en donde dichos parámetros adimensionales se encuentran espesor del refuerzo vs. el ancho de la cimentación (Egoavil & Gonzáles, 2012).

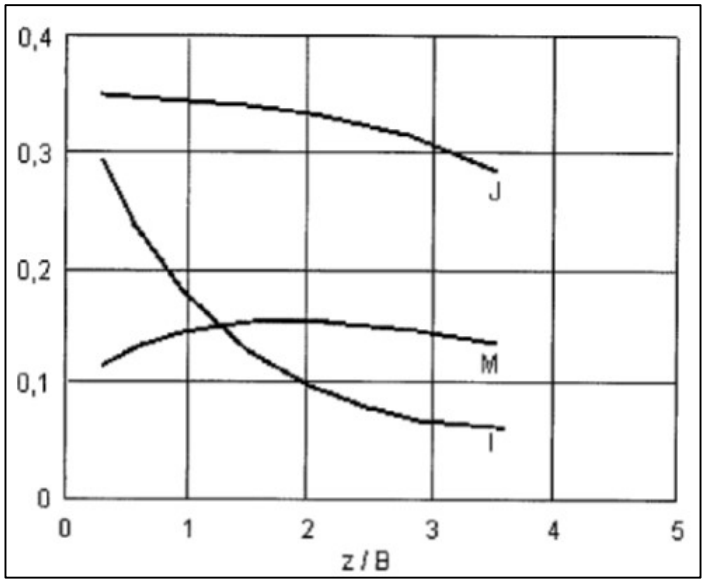


Figura 34: Factores adimensionales I, M, J. Tomado de: Egoavil y Gonzáales, 2012, p.73

La fórmula se encuentra planteada para calcular la tensión necesaria de los refuerzos a colocar para llegar a una capacidad de carga reforzada específica, sin embargo, despejando de la fórmula la capacidad de carga reforzada (q_r), se puede obtener la capacidad de carga en función del número de geomallas y tensión de la geomalla (Egoavil & Gonzáles, 2012).

$$\boldsymbol{q_{u(R)}} = q_o + \frac{N * T}{J * B - I * \Delta h}$$

4.3.2 Método de Sharma et al (2009)

Según Chen y Abu-Farsakh, existen 4 mecanismo de fallas en un suelo reforzado con geomallas (Abu-Farsakh, Chen, & Yoon, 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012).

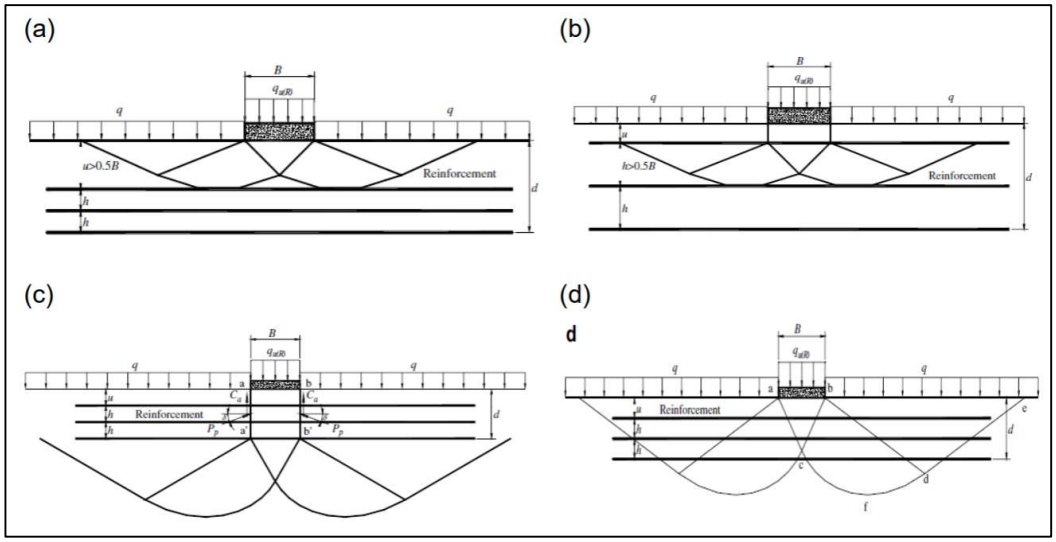


Figura 35: Mecanismos de Fallas en Suelos Reforzados con Geomallas. Tomado de:Egoavil y Gonzáales, 2012, p.83

Donde el mecanismo de la figura a y b se pueden evitar al tener un espaciamiento pequeño entre geomallas, entonces Sharma basa su metodología en los mecanismos de falla de la figura c y d. En esta metodología se considera una orientación horizontal de los esfuerzos de tracción en los refuerzos, debido a que, no se genera una deformación significativa para que los esfuerzos se hagan verticales como lo es en la metodología de Blinquet y Lee (Abu-Farsakh et al., 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012).

4.3.2.1 Mecanismo de Rotura en la Zona Reforzada

Este tipo de rotura se produce en mejoramientos con rellenos granulares sobre suelos arenosos, donde la falla que ocurre en la zona reforzada y la resistencia de la zona reforzada es similar a la resistencia en la zona inferior sin reforzar. Además la relación d/b, profundidad reforzada y ancho de la cimentación, es relativamente grande (Abu-Farsakh et al., 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012).

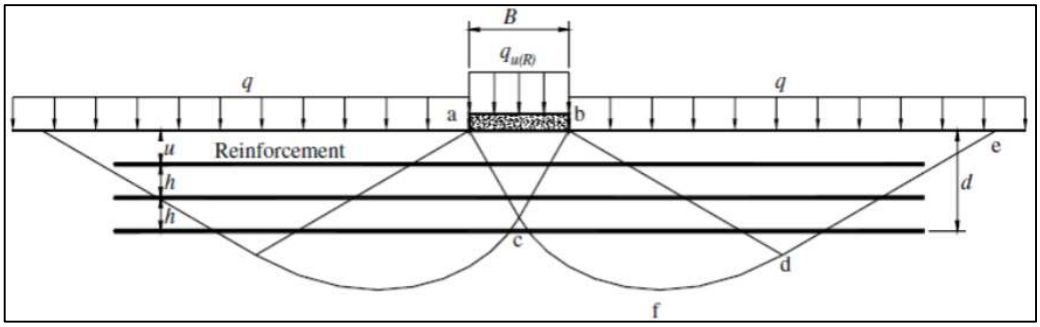


Figura 36: Mecanismo de Falla en Zona Reforzada. Tomado de: Egoavil y Gonzáales , 2012, p.86

En el cálculo de esfuerzos, se añade a la capacidad del suelo sin reforzar un delta "Δq_t", que representa el efecto de la resistencia a la tracción de los refuerzos (Abu-Farsakh et al., 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012).

$$\boldsymbol{q_{u(R)}} = q_u + \Delta q_t = c * N_c + q * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma + \Delta q_t$$

Posteriormente, aplicando el equilibrio de fuerzas se deducen las siguientes ecuaciones:

- Para una zapata corrida (Abu-Farsakh et al., 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012):

$$\boldsymbol{q_{u(R)}} = c * N_c + q * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma + \sum_{i=1}^{N} \frac{4 * T_i * [u + (i-1) * h]}{B^2}$$

- Para una zapata cuadrada (Abu-Farsakh et al., 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012):

$$\boldsymbol{q_{u(R)}} = 1.3 * c * N_c + q * N_q + 0.4 * \gamma * B * N_\gamma + \sum_{i=1}^{N} \frac{12 * T_i * [u + (i-1) * h] * r_T}{B^2}$$

Donde el valor "r_T"se calcula en función de los siguiente valores (Abu-Farsakh et al., 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012):

- Si $u + (i-1) * h < \frac{B}{2} * \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2}\right)$:

$$r_T = \left[1 - 2 * \frac{u + (i-1) * h}{B} * \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2}\right)\right]$$

- Si $u + (i-1) * h \geq \frac{B}{2} * \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2})$:

$$r_T = \left[\frac{1}{2} - \frac{u + (i-1) * h}{2 * H_f}\right]$$

El valor de "H_f", que representa la profundidad de la superficie de falla, se calcula mediante la siguiente expresión: (Abu-Farsakh et al., 2008; Egoavil & Gonzáles, 2012).

$$H_f = \frac{B}{2 * \cos(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2})} * e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2}\right) * tan\emptyset} * \cos(\emptyset)$$

Es importante recalcar que, mediante la aplicación de esta teoría se puede calcular el incremento de esfuerzo por cada capa de geomalla utilizada.

Capítulo 5: Metodología de Investigación

5.1 Metodología de Pre-investigación

Para el desarrollo de la tesis se realizó una pre-investigación, en la cual, se definió el material a utilizar en los ensayos de compresión simple. Además, se investigó e identificó la mejor manera de realizar la compactación en los moldes para los ensayos de carga axial y posterior análisis.

5.1.1 Elección del Material

El material seleccionado para ser utilizado en los ensayos de laboratorio fue la arena de San Antonio cuyas propiedades se estipulan en el inciso 2. Se eligió este material descartando el polvo de piedra debido a que, mediante el proceso de compactación bajo una carga estática, cabía la posibilidad de que no se compacte de manera correcta el polvo de piedra. Además, se decidió utilizar la arena de San Antonio ya que simula de mejor manera un suelo natural. Adicionalmente, como es una arena mal graduada con limo, por lo que resulta conveniente utilizar un reforzamiento con geomalla para ver su comportamiento.

5.1.2 Elección de Compactación del Suelo

5.1.2.1 Compresibilidad de los Suelos

Hace pocos años atrás el estudio de los suelos granulares y el fenómeno de compresibilidad no tuvieron mayor atención en el estudio de los suelos, de acuerdo con las investigaciones y estudios realizados muchos ingenieros prácticos aseguran que los suelos granulares no presentan excesivas deformaciones, ya que siempre ocurrían de forma casi instantánea, y eran muy pequeñas al aplicarse las primeras cargas durante el proceso de construcción. Es posible que dicha información sea cierta hoy en día, siempre y cuando se apliquen esfuerzos muy bajos al suelo, por ejemplo, en la construcción de cimentaciones que transmiten cargas moderadas al

suelo o si se toma la decisión de mejorar la calidad del suelo cuando su compactación natural es baja (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

Se denomina compresibilidad del suelo al proceso de aplicar una carga a una masa de suelo, es decir, si colocamos el suelo en un recipiente de paredes rígidas y le aplicamos una carga, el suelo disminuirá su volumen al aumentar la carga aplicada, dicha carga puede ser incrementada sin límite alguno (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

Las deformaciones producidas por un elemento de suelo son el resultado de las deformaciones propias de todas sus partículas complementado con el movimiento relativo entre ellas. Las deformaciones que presenta cada partícula pueden llegar a ser muy grandes, especialmente, cuando se encuentran en contacto unas con otras. Dichas deformaciones consisten en distorsiones, rupturas y desmenuzamientos, siendo así, el movimiento relativo entre partículas ocurre por deslizamiento o rodamiento (A. Rodriguez & Hermilo, 2013).

5.1.2.2 Pruebas de Compactación

Se realizaron dos pruebas de compactación, ambas fueron planteadas en base a la facilidad de realización de los ensayos con el objetivo de normalizar y definir un proceso de compactación para el desarrollo de la investigación, así, todas las muestras a ensayarse tendrán el mismo porcentaje de compactación siguiendo un proceso eficiente y de fácil repetición. Es importante señalar que el porcentaje de compactación del suelo buscado es al 86% $\pm$3% utilizando el 100% de la densidad seca máxima resultante de la prueba de Proctor Modificado previamente realizado. A continuación, se presentan las pruebas de compactación realizadas.

5.1.2.2.1 Compactación con el Proctor Modificado

La primera alternativa planteada fue emplear el Proctor Modificado como mecanismo de compactación del suelo en estudio, el material utilizado deberá ser tamizado previamente por el tamiz #4, de manera que se utilice solo el material pasante y se descarte el material retenido en el tamiz #4. Para este proceso de compactación se utilizó la humedad óptima de la arena limosa igual a 14.32% y se determinó el número de golpes a dar en función de una relación entre las áreas del molde del Proctor y el área de la caja a utilizar.

En el molde de ensayo se planificó realizar la compactación en 7 capas cada una de 5 cm para llegar a una altura de 35 cm, para ello se calculó la masa del material para llegar a la densidad óptima en función del volumen del molde 35cm x 48cm x 48cm. Con el resultado de la masa del suelo se conoció la cantidad necesaria de suelo en cada capa dividiendo la masa de suelo necesaria para todo el molde para 7 que sería el número de capas a compactar.

e realiza el cálculo de los golpes por capa en el molde cuadrado mediante el Proctor:

Con Proctor Modificado en el Molde Cilindro:

$$\#Golpes_{c/capa} = 5 * 25 = 125$$

$$h_{mold} = 11{,}77\ cm$$

$$d_{molde1} = 10{,}17\ cm$$

$$A_{mold} = \pi * \left(\frac{10{,}17\ cm}{2}\right)^2 = 81{,}20\ cm$$

Con Proctor Modificado en el Molde Cuadrado:

$$h_{molde2} = 5\ cm$$

$$A_{molde2} = 48 * 48 = 2304\ cm^2$$

$$\#Golpes_{c/capa} = \frac{5 * 125}{11{,}77} = 53{,}1$$

$$\#Golpes_{c/capa} = \frac{2304}{81{,}20} * 53{,}1 = 1506{,}10 \approx 1507$$

$$\#Golpes_{totales} = 1506{,}10 * 7\ capas = 10542{,}71 \approx 10543$$

De acuerdo con los cálculos realizados para compactar cada capa se deben realizar 1507 golpes en cada capa para una vez concluida la compactación determinar la densidad del suelo compactado y comparar su valor con la densidad seca máxima deseada. El proceso de compactación es similar al proceso normalizado de Proctor Modificado dando golpes de afuera hacia adentro como se muestra en la Figura a continuación.

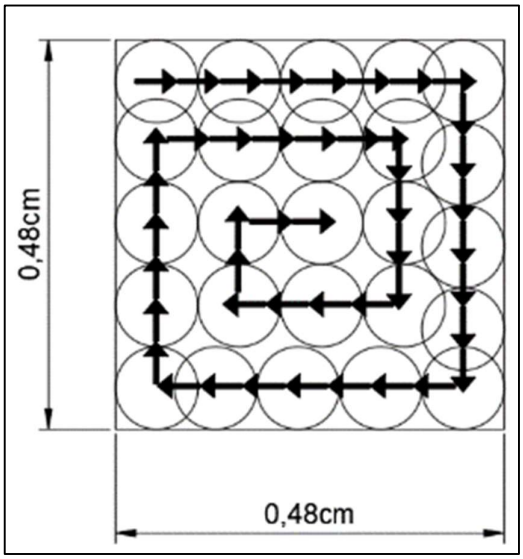


Figura 37: Proceso de Compactación con Proctor Modificado. Elaboración Propia

Para la compactación total de la muestra se necesitarían 10543 golpes, lo cual resulta un proceso complejo ya que los golpes con el Proctor serían manuales y ejecutados por un solo operador. Se realizó esta prueba de compactación logrando compactar una sola capa de suelo debido a su complejidad de ejecución, debido a esto, dicho mecanismo de compactación no resultaría eficiente para la realización de 21 muestras, razón por la cual se descarta el método.

Sin embargo, al verificar la densidad seca de la capa de suelo compactada se obtiene un porcentaje de compactación de 91,73% respecto a la densidad seca máxima deseada, lo que implica que el proceso de compactación fue correctamente aplicado.



Fotografía 7: Alternativa de compactación 1. Elaboración Propia.

5.1.2.2.2 Compactación con la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 Toneladas.

La segunda alternativa planteada fue realizar el tamizado del material por el tamiz #4 y su pasante ponerlo a secar en el horno por un periodo de 24 horas, para conocer la humedad inicial de todo el material denominada como "W_o", una vez conocidas las humedades de cada saco de arena se realiza el cálculo de la cantidad de material necesario a colocarse en el molde. La compactación se realizó por capas, en orden ascendente, donde las cuatro primeras capas son de 7 cm y las 3 últimas capas son de 2.1 cm resultando un total de 7 capas compactadas.

Con los datos de densidad seca máxima "$\gamma_{s\,máx}$", humedad óptima "W_{opt}" y humedad inicial del material "W_o", se procede a determinar el volumen que ocupa cada capa en el molde "V_{capa}" y la densidad húmeda del suelo "$\gamma_{húmeda}$" para poder hallar la cantidad de masa seca "M_{seca}" necesaria para alcanzar la densidad seca máxima resultante del ensayo Proctor Modificado.

Posteriormente, será necesario encontrar la cantidad de material de la capa1 a colocarse "M_{capa1}" que posea la humedad óptima con la que se trabaja, dicho valor es obtenido mediante la fórmula y empleando la masa seca y humedad de saco disponible, una vez conocida la cantidad de arena a utilizar esta fue dividida en dos partes iguales para facilidad en el manejo de la misma en el laboratorio y su respectiva homogenización. Además, se determinó la masa de agua "M_{agua}" que se adiciona al suelo para alcanzar la humedad óptima deseada. El proceso para la determinación de la masa de suelo necesaria es el mismo para las siete capas a compactarse.

Una vez determinada la cantidad de material necesario por capa, se coloca el mismo en el molde dejando caer el suelo de la bandeja y esparciéndolo en toda su área con ayuda de la regleta para enrasar, se utilizó un nivel de burbuja para lograr la nivelación de la capa de suelo colocada, Después, se coloca una placa de madera de 14 cm de espesor la cual permite la compactación del material transmitiendo la carga axial de la maquina hacia el suelo, debido a que los soportes laterales de la Maquina Universal no permite que la placa de madera y el cabezal de la maquina se topen, fue necesario añadir un cilindro metálico que permita al cabezal de la maquina alcanzar la muestra de suelo, así como se muestra en la figura a continuación.

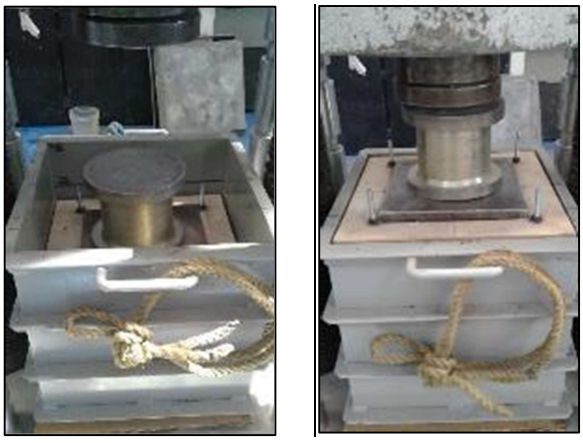




Fotografía 8: Colocación y nivelación del material en el molde. Elaboración Propia



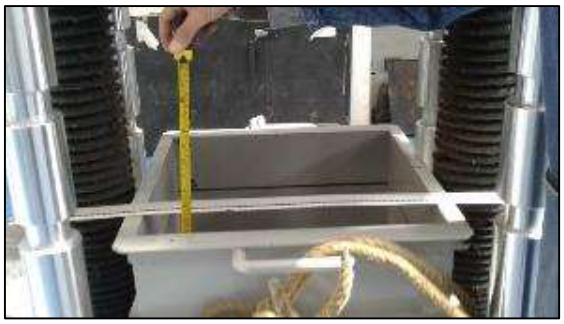
Fotografía 9: Placa de madera para compactar. Elaboración Propia



Fotografía 10: Alternativa de compactación 2. Elaboración Propia.

Una vez acoplados el cabezal de la maquina con la placa de madera, el proceso de compactación consiste en aplicar una secuencia de cargas al suelo, siendo estas de: 30.000, 50.000 y 100.000 Kgf para cada capa de 7 cm y una única carga de 90.000 Kgf para cada capa

de 2.1 cm. Al terminar la compactación de cada capa de suelo colocada, se tomaron nueve lecturas de altura respecto a la superficie de la capa y el borde superior del molde, estas lecturas se realizaron en los bordes y en la parte central de la caja. De esta manera, se logra obtener un promedio de altura de cada capa de suelo para que junto al volumen "V_{capa} " y cantidad de suelo "M_{capa} "se determine la densidad húmeda del suelo ya compactado "$\gamma_{húmeda}$ ". Mediante fórmula se puede hallar la densidad seca de dicha capa de suelo "γ_{seca}" y hallar el porcentaje de compactación "$\%\gamma$" que alcanza el material respecto a la densidad seca máxima deseada "$\gamma_{máx}$".



Fotografía 11: Toma de lecturas de altura de cada capa. Elaboración Propia.

Si el porcentaje de compactación resultante de la prueba supera el 86% será válido para la presente investigación con un rango de aceptación de $\pm 3\,\%$ ya que esto depende de la importancia y destino de la obra. Finalmente, el proceso de compactación se repite para todas las capas de suelo a colocarse y siguiendo el mismo mecanismo de cálculo de acuerdo con la humedad que presente cada saco de arena. Para una mejor apreciación del cálculo realizado véase el Anexo adjunto a la investigación.

5.1.2.2.3 Elección de la Metodología Aplicada

Evaluadas las alternativas de compactación para la presente investigación, se verifica que con la aplicación de ambas metodologías se obtienen porcentajes de compactación del 86% con un

rango de aceptación ± 3 %, sin embargo, la mejor alternativa de compactación resulta ser la compactación del suelo mediante la aplicación de una carga axial con la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 Toneladas, ya que su proceso de compactación disminuye el tiempo y mano de obra necesario para realizar el experimento.

Una vez seleccionado el proceso de compactación, se procede a realizarlo de tal manera que se ejecuten las 21 muestras previstas. Para todas las muestras realizadas se sigue el procedimiento previo establecido previamente el cual consiste en el cálculo del material necesario por capa para compactar y de la fuerza de compactación que se aplicará a cada una de las capas.

En resumen, se realizaron 21 ensayos, de los cuales 3 se realizaron sin geomalla (SG), 3 muestras con distribución uniforme de geomallas biaxial y triaxial (DU-B y DU-T), 3 muestras con distribución trapezoidal de geomallas biaxial y triaxial (DT-B y DT-T) y 3 muestras con distribución trapezoidal invertida de geomallas biaxial y triaxial (DTI-B y DTI-T).

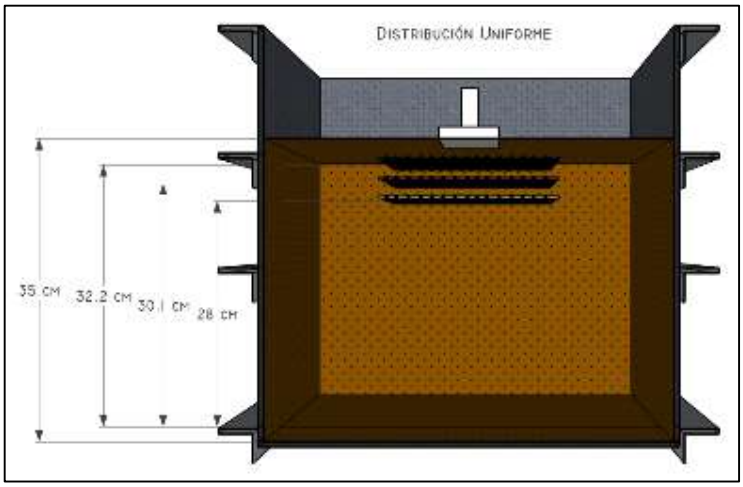


Figura 38: Distribución Uniforme (DU) de geomallas en el molde. Elaboración propia

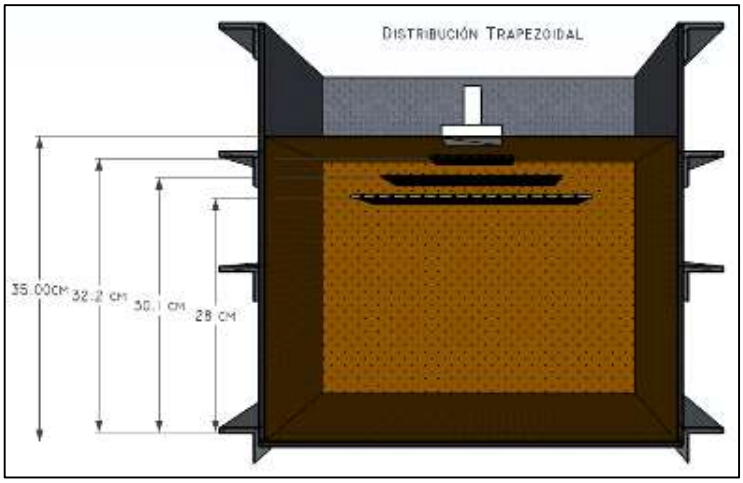


Figura 39: Distribución Trapezoidal (DT) de geomallas en el molde. Elaboración propia

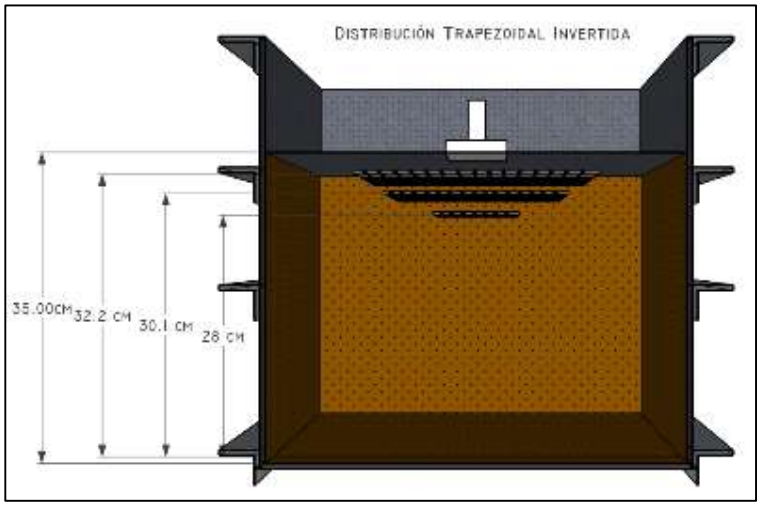
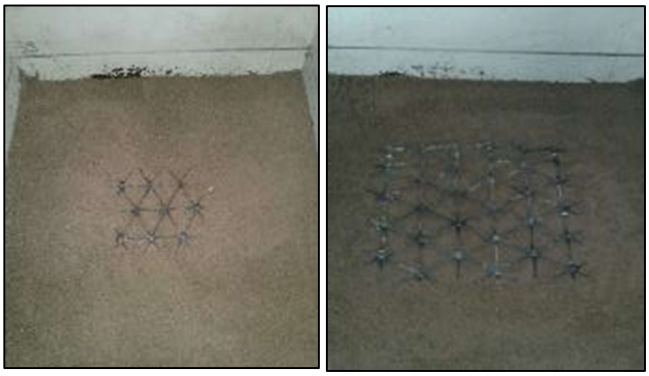


Figura 40: Distribución Trapezoidal Invertida (DTI) de geomallas en el molde. Elaboración propia

Para la realización de las muestras con reforzamiento de geomalla se realizó la compactación de las 4 primeras capas de 7 cm cada una (en orden ascendente) tomando lecturas al finalizar cada una de ellas, con un flexómetro, de la profundidad de cada capa, con respecto al ras del molde, para verificar el porcentaje de compactación alcanzado utilizando la ecuación de $densidad = \frac{masa}{volumen}$. Al terminar la 4ta capa se coloca la geomalla de acuerdo al arreglo que corresponda y se procede a cubrirla con el material de la 5ta capa, posterior a ello se coloca

todo el material correspondiente a la 5ta capa de 2,1 cm esparciéndolo en toda el área del molde, se enrasa, nivela y se aplica la carga de compactación prevista de 90.000 Kgf, sucesivamente se realiza el mismo mecanismo con las siguientes capas de suelo 6ta y 7ma capa colocando la geomalla respectiva entre ellas y verificando el porcentaje de compactación deseado.



Fotografía 12: Colocado de Geomallas. Elaboración Propia.

Una vez terminada la compactación se enrasa la superficie final compactada, se marca el centro del área en planta del molde y se coloca la placa metálica de 7*7 cm la cual simula un plinto aislado cuyo suelo de fundación ha sido reforzado con distintos arreglos de geomallas.

Para la aplicación de la carga axial en la cimentación fue necesario colocar un cilindro metálico que permita que la placa de cimentación y la placa de transferencia de fuerza puedan topar, así como se indica en las fotografías a continuación. Fijadas ambas placas se procede con la aplicación de carga con la Maquina Universal, la cual toma puntos de carga aplicada y desplazamiento, el ensayo trascurrió hasta que el desplazamiento de la cimentación haya llegado a 85 mm. Se retiró el molde más el suelo de la maquina con la ayuda de una mini grúa de 2 toneladas, el molde metálico fue abierto y se pudo apreciar la deformación que sufrieron las geomallas y la falla que tuvo el suelo.





Fotografía 13: Ubicación de cimentación. Elaboración Propia.

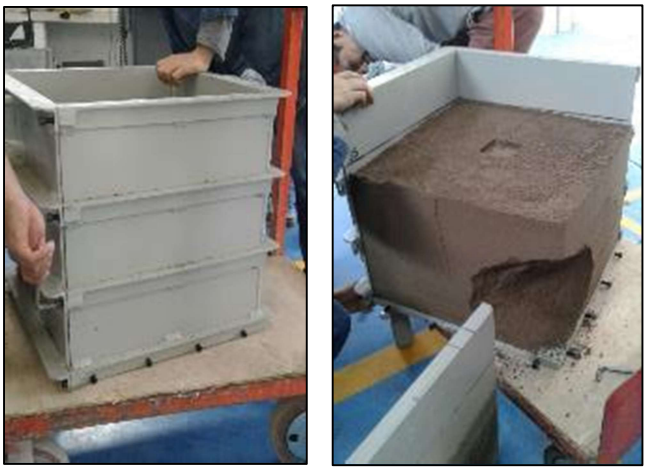




Fotografía 14: Acople entre placa de fuerza y cimentación. Elaboración propia.



Fotografía 15: Muestra de suelo reforzado ensayado. Elaboración Propia.



Fotografía 16: Desmontaje de molde metálico. Elaboración Propia.



Fotografía 17: Retiro de material granular. Elaboración Propia.



Fotografía 18: Deformación de Geomalla Biaxial. Elaboración Propia.



Fotografía 19: Deformación de Geomalla Triaxial. Elaboración Propia.

Para una verificación más acertada de la densidad seca máxima alcanzada con el proceso de compactación seleccionado, se extrajeron pequeños cubos del espécimen ya ensayado para determinar su densidad y poder compararla con la densidad deseada y corroborar nuestros cálculos realizados como se indica en los Anexos.

Finalmente, se obtiene una curva de Fuerza vs Desplazamiento en la cual se puede identificar la fuerza máxima aplicada y las deformaciones correspondientes, de tal manera que, dichos resultados nos permitan realizar un análisis minucioso sobre el efecto de la distribución de las geomallas en el suelo frente a la aplicación de una carga axial, permitiendo realizar gráficas y cálculos que ayuden a una correcta interpretación de los resultados.

5.1.3 Elección del Molde

Para realizar los ensayos, se propuso la utilización de dos moldes: un molde de madera, y un molde metálico. La condición para poder utilizar estos moldes es que resistan las cargas a aplicarse sin tener una deformación significativa, además, debían tener un volumen interno de 48cm*48cm*48cm, donde se moldeará el suelo. Durante los ensayos realizados, se definió por defecto el uso del molde metálico, las razones por la cual se utilizó este molde se detallan en las siguientes secciones:

5.1.3.1 Molde de Madera

El molde de madera utilizado se lo construyó con las siguientes características:

Dimensiones: El molde posee una forma cúbica, con unas dimensiones internas de 48*48*48cm y dimensiones externas de 48.9cm*48.9cm*48.9cm.

Materiales: El molde está construido con madera tríplex de 9 mm de espesor con 4 perfiles metálicos tipo C, de refuerzo en cada cara, con el fin de evitar la deformación en la parte central de las caras de madera. Por último, se reforzó la base y la parte inferior de las caras con una cinta de tela de alta adhesión.

Adicionales: El molde se encuentra ensamblado con clavos y pegamento.

5.1.3.1.1 Gráficas realizadas para el diseño del molde

En la Gráfica 16 se puede observar el molde de madera con sus respectivos componentes.

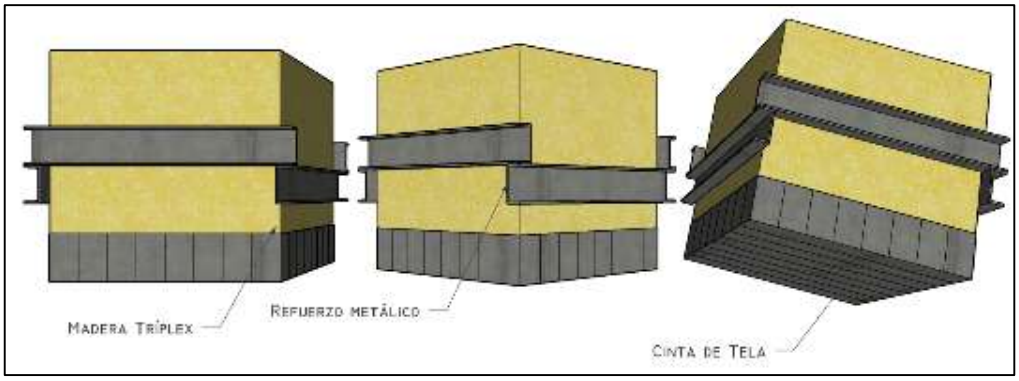


Figura 41: Molde de madera. Elaboración Propia.

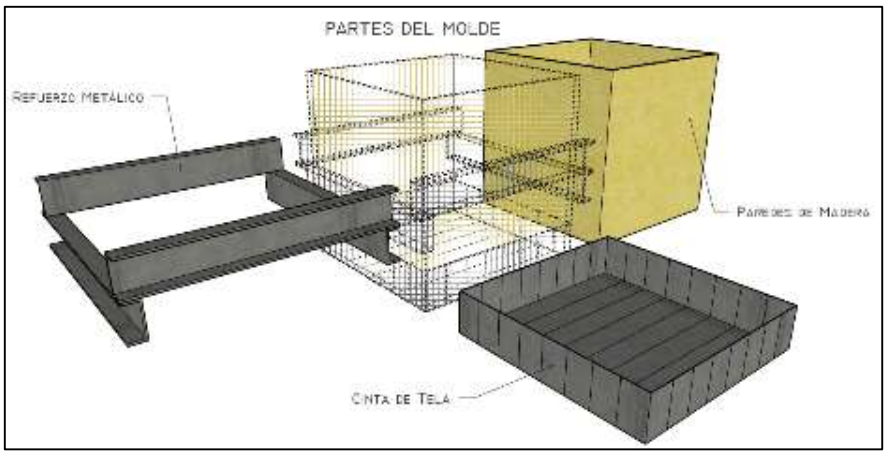


Figura 42: Partes del molde de madera. Elaboración Propia.

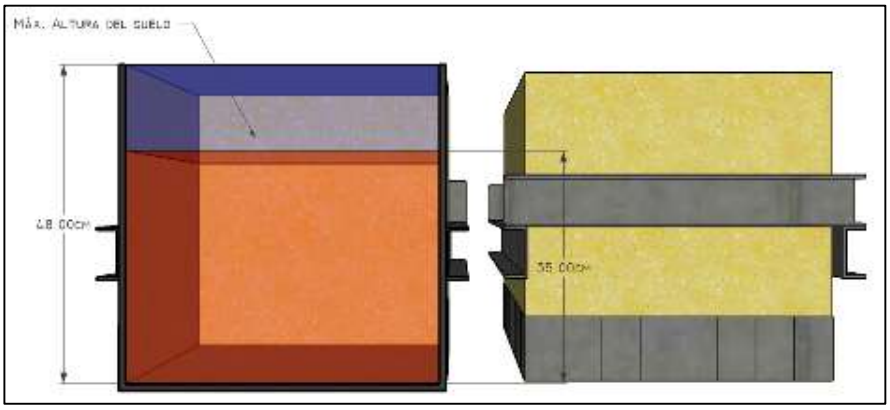


Figura 43: Nivel del suelo en el molde de madera. Elaboración Propia.

5.1.3.1.2 Fotografías del molde



Fotografía 20: Molde de madera – Vista 1. Elaboración Propia.



Fotografía 21: Molde de madera – Vista 2. Elaboración Propia.

5.1.3.1.3 Observaciones del molde de madera

Al realizar las pruebas de compactación con el molde de madera, se notó inmediatamente que el espesor de las paredes de madera no eran lo suficientemente rígidas para soportar las cargas de compactación.

La utilización de este molde fue ineficiente, debido a que, no soportó la compactación de la primera capa de tierra. Ya que, al compactar, las paredes laterales comenzaron a pandearse en

la parte inferior del molde, dando inicio a una falla en el momento en el que se coloque la siguiente capa de suelo.

Por esta razón, se decidió utilizar un molde metálico ya que para utilizar un molde de madera se necesitaría un espesor significativo, además, de elaborarlo con una madera con gran resistencia.

5.1.3.2 Molde metálico

El molde metálico utilizado se construyó con las siguientes características:

Dimensiones: El molde posee una forma cúbica, con unas dimensiones internas de 48*48*48cm y dimensiones externas de 48.6cm*48.6cm*48.6cm.

Materiales: El molde está construido con placas de acero de 6 mm de espesor, posee 3 perfiles metálicos de refuerzo en cada cara, de espesor de 4mm. Las diagonales tipo L se las colocaron con el fin de evitar la deformación en la parte central de las caras de metálicas. Por último, posee una base metálica de 6 mm de espesor, reforzada por barras metálicas longitudinales.

Adicionales: El molde se construyó de manera que se pueda desarmar fácilmente, en donde la base y las paredes son empernadas permitiendo su apertura. Adicionalmente, las 4 paredes laterales, fueron soldadas de dos en dos para formar dos L, para abrir el molde. Cabe recalcar que las diagonales y las agarraderas se encuentran soldadas a las paredes, y son los únicos elementos que no se pueden desarmar.

5.1.3.2.1 Gráficas realizadas para el diseño del molde

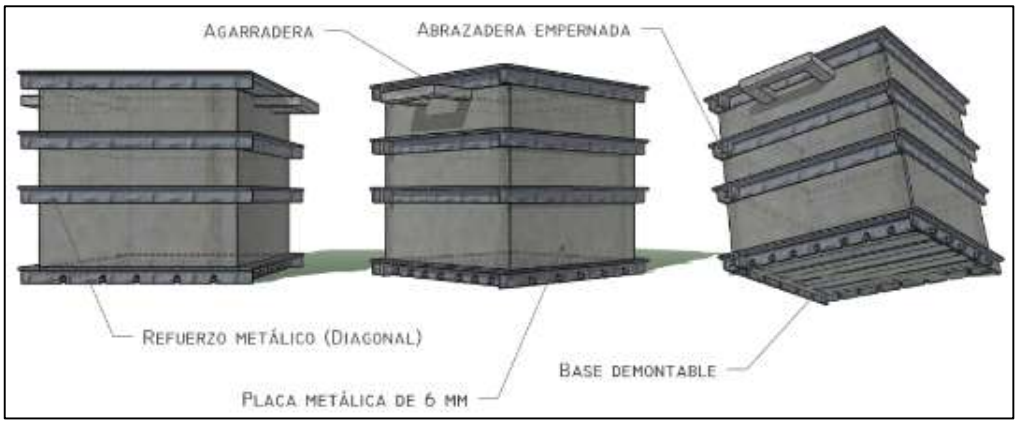


Figura 44: Molde metálico. Elaboración Propia.

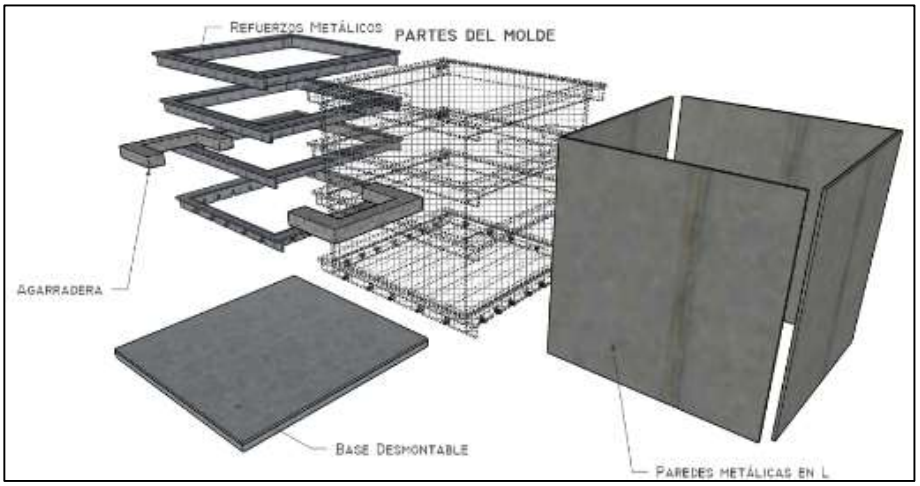


Figura 45: Partes del molde metálico. Elaboración Propia.

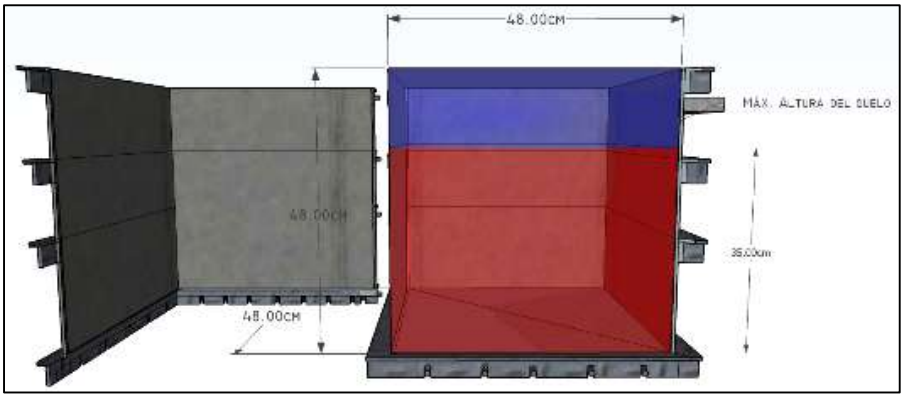


Figura 46: Nivel del suelo en el molde metálico. Elaboración Propia.

5.1.3.2.2 Fotografías del molde



Fotografía 22: Molde Metálico – Vista 1. Elaboración Propia.



Fotografía 23: Molde Metálico – Dos caras. Elaboración Propia.



Fotografía 24: Molde Metálico – Caras y Base. Elaboración Propia.

5.1.3.2.3 Observaciones del molde metálico

Durante la realización de los ensayos, la soldadura donde encajaban los pernos de las paredes laterales sufrió una falla por corte, además, las diagonales empezaban a fracturarse, razón por la cual fue necesario soldar completamente la caja metálica haciendo que la única parte desmontable sea la base del molde. Cabe recalcar que no se realizó un cálculo estructural exacto para la elaboración del molde, debido a que no se conocían las cargas que se iban a utilizar en el proceso de compactación. Por lo que solo se lo diseño en función del peso del material, y las pruebas realizadas en la caja de madera.

5.1.4 Distribución de Geomallas

Para la presente investigación, se utilizarán los siguientes tipos de distribución de geomallas (biaxial y multiaxial) en el suelo seleccionado.

5.1.4.1 Distribución Uniforme (DU)

La distribución uniforme consiste colocar tres capas de geomalla de forma cuadrada dentro del suelo (arena), las capas tienen la misma dimensión en ambos sentidos igual a 3B con espaciamiento entre ellas de 0.3B, donde B es igual al ancho de la zapata en consideración (Latha & Somwanshi, 2009).

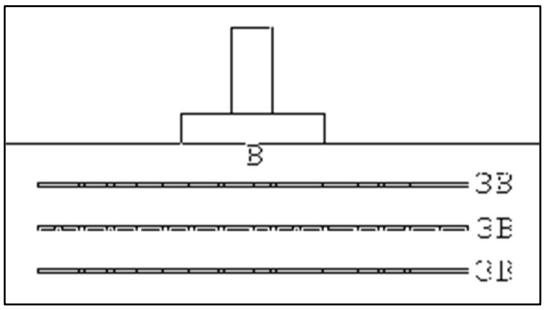


Figura 47: Distribución Uniforme de Geomallas en el Suelo ((DU). Elaboración Propia.

En la figura a continuación se muestra la distribución de geomallas en el molde de prueba:

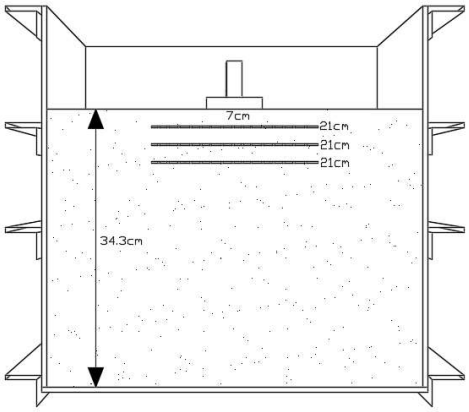


Figura 48: Modelo de Distribución Uniforme de Geomallas en el Suelo ((DU). Elaboración Propia.

5.1.4.2 Distribución Trapezoidal (DT)

La distribución trapezoidal consiste en colocar tres capas de geomalla dentro del suelo (arena), de manera que, cada capa de geomalla tenga una forma rectangular cuyas dimensiones aumenten conforme incrementa la profundidad.

Siendo así, la primera capa de geomalla a colocarse (sentido ascendente) tendrá una longitud de 4B, la segunda capa con longitud de 3B y finalmente la primera capa de longitud 1.4B. El espaciamiento entre capas será de 0.3B, sabiendo que B es la dimensión correspondiente al ancho de la zapata en consideración (Latha & Somwanshi, 2009).

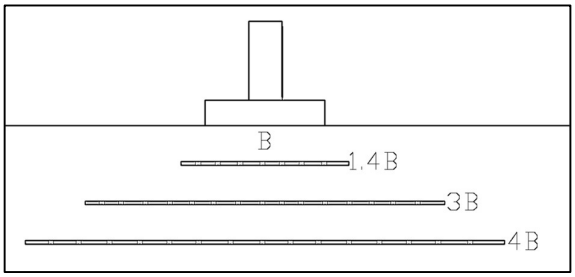


Figura 49: Distribución Trapezoidal de Geomallas en el Suelo (DT). Elaboración Propia.

En la figura a continuación se muestra la distribución de geomallas en el molde de prueba:

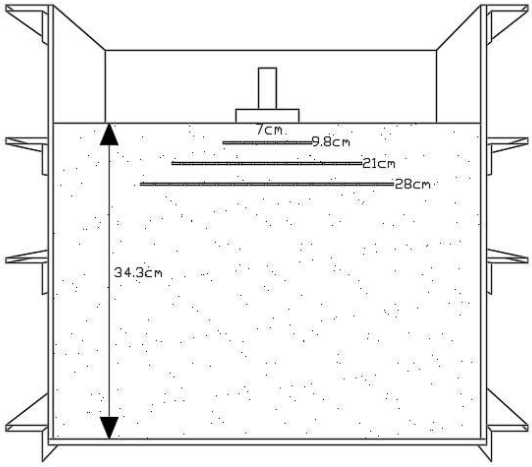


Figura 50: Modelo de Distribución Trapezoidal de Geomallas en el Suelo (DT). Elaboración Propia.

5.1.4.3 Distribución Trapezoidal Invertida (DTI)

La distribución trapezoidal invertida consiste en colocar tres capas de geomalla dentro del suelo - arena) de manera que, como su nombre lo indica la colocación de geomallas sea inversa a la mencionada anteriormente. La primera capa de geomalla a colocarse (sentido ascendente) tendrá una longitud de 1.4B, la segunda capa con longitud de 3B y finalmente la primera capa de longitud 4B guardando un espaciamiento de 0.3B entre ellas. Sabiendo que B es la dimensión correspondiente al ancho de la zapata en consideración (Latha & Somwanshi, 2009).

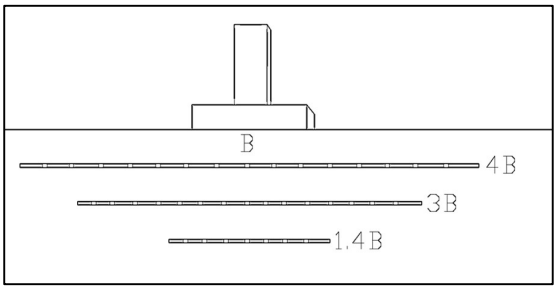


Figura 51: Distribución Trapezoidal Inversa de Geomallas en el Suelo Granular (DTI). Elaboración Propia.

En la figura a continuación se muestra la distribución de geomallas en el molde de prueba:

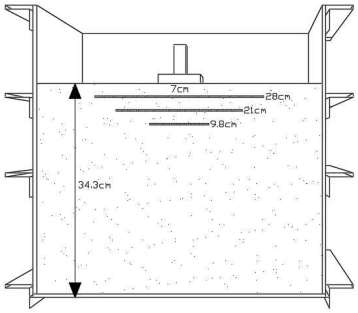


Figura 52: Modelo de Distribución Trapezoidal Inversa de Geomallas en el Suelo Granular (DTI). Elaboración Propia.

5.2 Metodología de Verificación

Se realizó una metodología de verificación debido a que en un principio no se podía justificar los valores de cargas tan altos que se obtenían en las curvas de carga vs desplazamiento, sin embargo, esta justificación se presenta en función de la succión presente en el suelo, y se la respalda con los cálculos realizados en el capítulo 7.

Esta metodología consistió en realizar dos ensayos sin refuerzo de geomalla, la compactación del material se la realizó como se estipula en la parte superior. A uno de estos dos ensayos se inundó con agua y se lo dejo reposar por 3 días para tratar de realizar el ensayo en condiciones saturadas.

5.2.1 Procedimiento del Ensayo

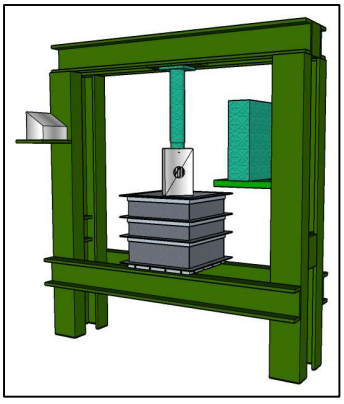


Figura 53: Estructura del ensayo en el marco de carga manual. Elaboración Propia.

El ensayo se lo realizó en un marco de carga equipado con un gato hidráulico que mostraba la carga aplicada (kg) en un monitor electrónico. En resumen, el ensayo consiste en dar una carga de manera manual al suelo, y mantener esa carga hasta que los dos deformímetros que se colocaron se vuelvan estables. Posteriormente, se tomaba la medida de los deformímetros cada 1 y 2 minutos.



Fotografía 25: Disposición de los deformímetros. Elaboración Propia.

Pasado ese tiempo se daba carga hasta llegar a la siguiente carga establecida y se repetía el procedimiento de las lecturas de los deformímetros. Este ensayo simula una prueba de placa por lo que se conoce que el suelo falla cuando es difícil mantener la carga determinada.

Las cargas utilizadas para la Muestra 1 fueron las siguientes:

Carga (kg)
0.00
9.09
18.18
27.27
36.36
40.91
45.45
50.00
59.09
68.18
77.27
90.91
113.64
136.36
159.09
227.27
356.90
458.87
560.84
662.81
764.78
866.75
1019.70
1223.64

Tabla 15: Cargas utilizadas para la Muestra 1. Elaboración Propia

Las cargas utilizadas para la Muestra 2 fueron las siguientes:

Carga (kg)	75.00	400.00
0.00	85.00	475.00
10.00	100.00	550.00
20.00	125.00	625.00
30.00	150.00	675.00
40.00	175.00	725.00
50.00	225.00	800.00
55.00	275.00	
65.00	325.00	

Tabla 16: Cargas utilizadas para la Muestra 2. Elaboración Propia

5.2.2 Ensayo de Suelo No Saturado – Muestra 1

5.2.2.1 Relaciones Fundamentales

Es posible determinar algunas de las propiedades del suelo no saturado, para ello se tomaron muestras pre y post-ensayo, las cuales reflejan los siguientes resultados:

- **Contenido de Humedad**

$$\%\boldsymbol{W_1} = \frac{M_{cap+hum} - M_{cap+seco}}{M_{cap+seco} - M_{cap}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_1} = \frac{51{,}05\ gr - 46{,}89\ gr}{46{,}89\ gr - 19{,}12\ gr} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_1} = 14{,}98\%$$

$$\%\boldsymbol{W_2} = \frac{M_{cap+hum} - M_{cap+seco}}{M_{cap+seco} - M_{cap}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_2} = \frac{55{,}97\ gr - 50{,}98\ gr}{50{,}98 gr - 18{,}35\ gr} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_2} = 15{,}29\%$$

$$\%\boldsymbol{W_3} = \frac{M_{cap+h} - M_{cap+seco}}{M_{cap+seco} - M_{cap}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_3} = \frac{61{,}69\ gr - 55{,}73\ gr}{55{,}73\ gr - 17{,}19\ gr} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_3} = 15{,}25\%$$

$$\%\boldsymbol{W_{prom}} = \frac{14{,}98\% + 15{,}29\% + 15{,}46\%}{3}$$

$$\%\boldsymbol{W_{prom}} = 15{,}25\%$$

- **Densidad Húmeda**

$\boldsymbol{M_{anillo}} = 76{,}68\ gr$

$\boldsymbol{D_{anillo}} = 6{,}405\ cm$

$\boldsymbol{H_{anillo}} = 2{,}459\ cm$

$$\boldsymbol{\gamma_{h1}} = \frac{M_{Sh} - M_{anillo}}{\frac{\pi * D_{anillo}{}^2}{4} * H_{anillo}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h1}} = \frac{222{,}51\ gr - 76{,}68\ gr}{\frac{\pi * 6.405 cm^2}{4} * 2{,}459\ cm}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h1}} = 1{,}84\frac{gr}{cm^3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h2}} = \frac{M_{Sh} - M_{anillo}}{\frac{\pi * D_{anillo}{}^2}{4} * H_{anillo}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h2}} = \frac{223{,}29\ gr - 76{,}68\ gr}{\frac{\pi * 6.405 cm^2}{4} * 2{,}459\ cm}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h2}} = 1{,}85\frac{gr}{cm^3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h3}} = \frac{M_{Sh} - M_{anillo}}{\frac{\pi * D_{anillo}{}^2}{4} * H_{anillo}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h3}} = \frac{230{,}13\ gr - 76{,}68\ gr}{\frac{\pi * 6.405 cm^2}{4} * 2{,}459\ cm}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h3}} = 1{,}87\frac{gr}{cm^3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{hprom}} = \frac{1{,}84\frac{gr}{cm^3} + 1{,}85\frac{gr}{cm^3} + 1{,}87\frac{gr}{cm^3}}{3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{hprom}} = 1{,}85\ gr/cm3$$

- **Densidad Seca**

$$\boldsymbol{\gamma_{d1}} = \frac{\gamma_{h1}}{\%W + 1} \qquad \boldsymbol{\gamma_{d2}} = \frac{\gamma_{h2}}{\%W + 1}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{d1}} = \frac{1{,}84\frac{gr}{cm3}}{\frac{15{,}25}{100} + 1} \qquad \boldsymbol{\gamma_{d2}} = \frac{1{,}85\frac{gr}{cm3}}{\frac{15{,}25}{100} + 1}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{d1}} = 1{,}60\frac{gr}{cm3} \qquad \boldsymbol{\gamma_{d2}} = 1{,}61\frac{gr}{cm3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{d3}} = \frac{\gamma_{h3}}{\%W + 1}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{d3}} = \frac{1{,}87\frac{gr}{cm3}}{\frac{15{,}25}{100} + 1}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{d3}} = 1{,}62\frac{gr}{cm3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{dprom}} = \frac{1{,}60\frac{gr}{cm^3} + 1{,}61\frac{gr}{cm^3} + 1{,}62\frac{gr}{cm^3}}{3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{dprom}} = 1{,}61\ gr/cm3$$

- **Relación de Vacíos**

$$\boldsymbol{e} = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$\boldsymbol{e} = \frac{2{,}61 * 1\frac{gr}{cm3}}{1{,}61\frac{gr}{cm3}} - 1$$

$$\boldsymbol{e} = 0{,}62 = 62\%$$

- **Porcentaje de Saturación**

$$\%\boldsymbol{S} = \frac{\%W * Gs}{e}$$

$$\%\boldsymbol{S} = \frac{15{,}24\% * 2{,}61}{0{,}62}$$

$$\%\boldsymbol{S} = 64{,}15\%$$

5.2.2.2 Documentación del ensayo



Fotografía 26: Preparación del ensayo: Deformímetros y colocación de la caja. Elaboración Propia.



Fotografía 27: Disposición de los equipos a utilizar antes de ensayar. Elaboración Propia.



Fotografía 28: Medición de la falla post ensayo. Elaboración Propia.

5.2.3 Ensayo de Suelo Saturado – Muestra 2

5.2.3.1 Relaciones Fundamentales

- **Contenido de Humedad**

$$\%\boldsymbol{W_1} = \frac{M_{cap+h} \quad - M_{cap+seco}}{M_{cap+seco} - M_{cap}} * 100\% \qquad \%\boldsymbol{W_2} = \frac{M_{cap+h} \quad - M_{cap+seco}}{M_{cap+seco} - M_{cap}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_1} = \frac{84{,}36\ gr - 74{,}85\ gr}{74{,}85\ gr - 16{,}25\ gr} * 100\% \qquad \%\boldsymbol{W_2} = \frac{71{,}31\ gr - 63{,}79\ gr}{63{,}79 gr - 18{,}38\ gr} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{W_1} = 16{,}23\% \qquad \%\boldsymbol{W_2} = 16{,}56\%$$

$$\%\boldsymbol{W_{prom}} = \frac{16{,}23\% + 16{,}56\%}{2}$$

$$\%\boldsymbol{W_{prom}} = 16{,}39\%$$

- **Densidad Húmeda**

$\boldsymbol{M_{anillo}} = 76{,}68\ gr$

$\boldsymbol{D_{anillo}} = 5{,}405\ cm$

$\boldsymbol{H_{anillo}} = 2{,}459\ cm$

$$\boldsymbol{\gamma_{h1}} = \frac{M_{Sh} - M_{anillo}}{\frac{\pi * D_{anillo}^{\ 2}}{4} * H_{anillo}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h1}} = \frac{235{,}52\ gr - 76{,}68\ gr}{\frac{\pi * 6.405 cm^2}{4} * 2{,}459\ cm}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{h1}} = 2{,}00 \frac{gr}{cm^3}$$

- **Densidad Seca**

$$\boldsymbol{\gamma_{d1}} = \frac{\gamma_{h1}}{\%W + 1}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{d1}} = \frac{2{,}00 \frac{gr}{cm3}}{\frac{16{,}39}{100} + 1}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{d1}} = 1{,}72 \frac{gr}{cm3}$$

- **Relación de Vacíos**

$$\boldsymbol{e} = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$\boldsymbol{e} = \frac{2{,}61 * 1 \frac{gr}{cm3}}{1{,}72 \frac{gr}{cm3}} - 1$$

$$\boldsymbol{e} = 0{,}51 = 51\%$$

- **Porcentaje de Saturación**

$$\%\boldsymbol{S} = \frac{\%W * Gs}{e}$$

$$\%\boldsymbol{S} = \frac{16{,}39\% * 2{,}61}{0{,}51}$$

$$\%\boldsymbol{S} = \frac{16{,}39\% * 2{,}61}{0{,}51}$$

$$\%\boldsymbol{S} = 83{,}87\%$$

5.2.3.2 Documentación del ensayo



Fotografía 29: Prueba para saturar el suelo, se lo dejo reposar 3 días al suelo con agua. Elaboración Propia.





Fotografía 30: Preparación del ensayo, eliminación del exceso de agua. Elaboración Propia.



Fotografía 31: Disposición de los equipos a utilizar antes de ensayar. Elaboración Propia.



Fotografía 32: Medición de la falla post ensayo y medida de la densidad del suelo. Elaboración Propia.

Capítulo 6: Ensayos de Laboratorio del Suelo

En resumen, el capítulo 6 abarca únicamente los resultados relevantes obtenidos de los ensayos realizados en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la PUCE. Además, en la sección de Anexos se adjunta la totalidad de cálculos y resultados obtenidos.

6.1 Ensayo de Tracción de Geomallas

Se realizó el ensayo de tracción a las geomallas biaxiales en sentido longitudinal al ancho de la producción y en sentido perpendicular al ancho de la producción. Los resultados se muestran a continuación:

Muestra N°	1	2	3
Descripción	Geomalla Biaxial		
Polímero	Polipropileno		
Color	Negro		
Dirección en la que fue extraída la muestra	Paralela a la producción		
Abertura longitudinal (mm)	30		
Abertura transversal (mm)	40		
Número de elementos ensayados	3	3	3
Número de costillas en el ancho del rollo (Nc)	78	78	78
Ancho total del rollo (m)	3	3	3
Ancho b (m)	2.85	2.85	2.85
Carga máxima (kN)	2.63	2.72	2.63
Resistencia máxima (KN/m)	24.00	24.80	24.00

Tabla 17: Resistencia Paralela a la producción. Elaboración Propia.

Muestra N°	1	2	3
Descripción	Geomalla Biaxial		
Polímero	Polipropileno		
Color	Negro		
Dirección en la que fue extraída la muestra	Perpendicular a la producción		
Abertura longitudinal (mm)	30		
Abertura transversal (mm)	40		
Número de elementos ensayados	3	3	3
Número de costillas en el ancho del rollo (Nc)	78	78	78
Ancho total del rollo (m)	3	3	3
Ancho b (m)	2.85	2.85	2.85

Carga máxima (kN)	2.59	2.53	2.41
Resistencia máxima (KN/m)	23.60	23.10	22.00

Tabla 18: Resistencia perpendicular a la producción. Elaboración Propia.

Como resultados obtenidos superan los valores indicados en la ficha técnica de las geomallas, para tener un cálculo conservativo se utilizarán los valores presentes en la ficha técnica, adjuntada en anexos. Cabe recalcar que a las geomallas multiaxiales no se realizó un ensayo a tracción ya que no existe una norma que indique el procedimiento a ensayar, ni tampoco se pudieron obtener valores de la ficha técnica para poder comparar.

6.2 Ensayo de Corte Directo

6.2.1 Corte Directo Sin Saturar (CD)

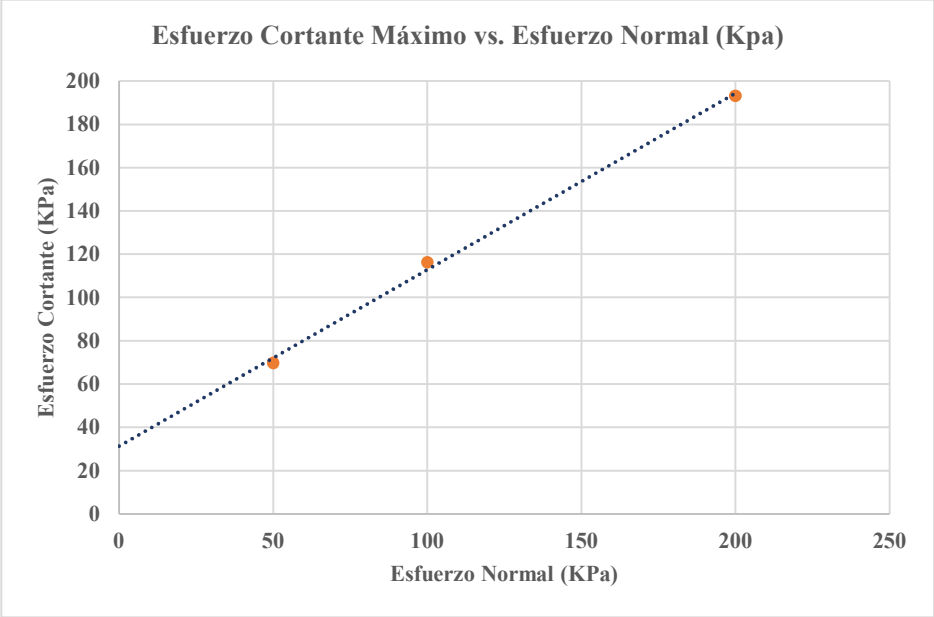
Para la determinación de capacidad de carga última del suelo de una cimentación tipo plinto aislado de acuerdo con el modelo planteado previamente, la ecuación involucra conocer parámetros como el valor de la cohesión y ángulo de fricción del suelo seleccionado. Para ello, se realizó el ensayo de corte directo a una muestra de material con las mismas características resultantes del Proctor Modificado, es decir, con densidad seca máxima de 1,69 g/cm3 y porcentaje de humedad óptimo de 14,3%.

Para la determinación de la cohesión y ángulo de fricción del material se siguió el método que describe la norma ASTM D 3080, que consiste en determinar la resistencia de una muestra de suelo sometido a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen en el terreno producto de la aplicación de una carga (Rojas, 2011).

Para la determinación de la cohesión y ángulo de fricción del material se siguió el método que describe la norma ASTM D 3080, que consiste en determinar la resistencia de una muestra de suelo sometido a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen en el terreno producto de la aplicación de una carga (Rojas, 2011).

El ensayo induce a una falla a través de un plano determinado en el cual actúan dos esfuerzos: esfuerzo normal "σ_n" aplicado externamente y el esfuerzo cortante "τ" debido a la aplicación de la carga horizontal (Rojas, 2011).

Al aplicarse una fuerza horizontal se van midiendo las deformaciones respectivas para posteriormente graficar la tensión de corte "τ" y tomar el punto máximo de tensión como la resistencia al corte del suelo. Los valores obtenidos se grafican en función del esfuerzo normal "σ_n" obteniendo una recta intrínseca como se muestra en la Grafica a continuación, el ángulo que forma esta recta con el eje horizontal representa el ángulo de fricción "φ" y el intercepto con el eje "τ", la cohesión "c" (Rojas, 2011).



Gráfica 7: Esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal – Sin Saturar. Elaboración Propia.

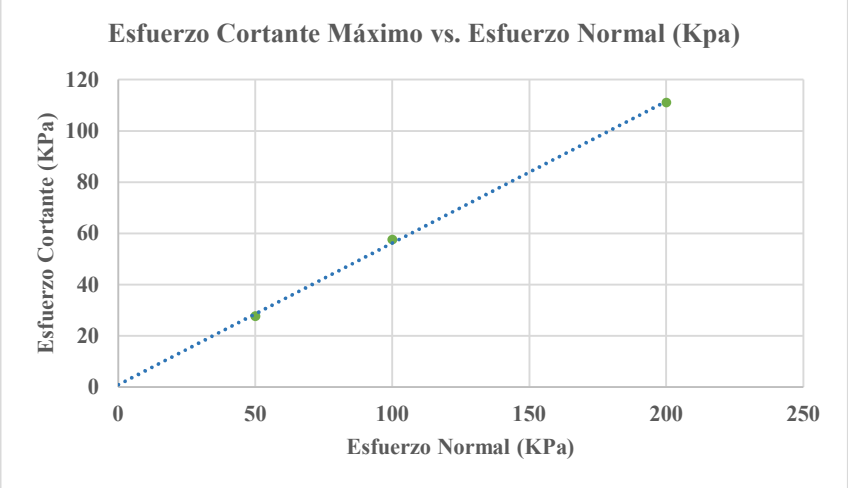
Resultados	
Ángulo de resistencia al corte	39,62º
Cohesión aparente	28,28 KPa

Tabla 19: Angulo de resistencia al corte y cohesión del suelo - Sin Saturar. Elaboración Propia.

6.2.2 Corte Directo Saturado (CD)

De la misma manera se realiza un ensayo de corte directo al suelo en una condición no consolidada-no drenada con saturación, la muestra de suelo es obtenida del moldeo posterior a la Prueba de Carga Axial en el molde metálico. La muestra posee una densidad seca máxima de 1.61 g/cm3 y contenido de humedad al 15.25%, la prueba se ejecuta para obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna de partículas a ser utilizados en el cálculo de capacidad de carga ultima objeto de la investigación.

Al saturar el suelo, podemos replicar las condiciones de ensayo realizado en las pruebas de verificación de resultados, con la finalidad de buscar una justificación para el efecto de succión producida entre las partículas del suelo, lo cual lleva a obtener los resultados que se presentan posteriormente.



Gráfica 8: Esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal – Saturado. Elaboración Propia.

Resultados	
Ángulo de resistencia al corte	29,19º
Cohesión	0 KPa

Tabla 20: Angulo de resistencia al corte y cohesión del suelo- Saturado. Elaboración Propia.

6.3 Densidad Natural

Se realizó una verificación de la densidad de 7 muestras bajo el procedimiento descrito en la norma ASTM D7263, para comprobar que con el método de compactación elegido se llega a la densidad solicitada en la investigación.

A continuación, se presentan las densidades secas y humedades, planteadas y obtenidas, y el porcentaje de compactación respecto a la densidad seca máxima obtenido:

6.3.1 Densidad Natural - Muestra SG

Resultados SG			
Densidad seca máxima (gr/cm^3)	1.87	Contenido de Humedad planteada (%)	14.32
Densidad seca obtenida (gr/cm^3)	1.66	Contenido de Humedad real (%)	13.82
Porcentaje de compactación (%)	**88.93**		

Tabla 21: Comprobación de la Densidad Muestra SG. Elaboración Propia.

6.3.2 Densidad Natural - Muestra DU (B)

Resultados DU (B)			
Densidad seca máxima (gr/cm^3)	1.87	Contenido de Humedad planteada (%)	14.32
Densidad seca obtenida (gr/cm^3)	1.55	Contenido de Humedad real (%)	14.22
Porcentaje de compactación (%)	**82.94**		

Tabla 22: Comprobación de la Densidad Muestra DU (B). Elaboración Propia.

6.3.3 Densidad Natural - Muestra DT (B)

Resultados DT (B)			
Densidad seca máxima (gr/cm^3)	1.87	Contenido de Humedad planteada (%)	14.32
Densidad seca obtenida (gr/cm^3)	1.60	Contenido de Humedad real (%)	14.04

Porcentaje de compactación (%)	**85.94**

Tabla 23: Comprobación de la Densidad Muestra DT (B). Elaboración Propia.

6.3.4 Densidad Natural - Muestra DTI (B)

Resultados DTI (B)			
Densidad seca máxima (gr/cm3)	1.87	Contenido de Humedad planteada (%)	14.32
Densidad seca obtenida (gr/cm3)	1.59	Contenido de Humedad real (%)	13.85
Porcentaje de compactación (%)	**85.13**		

Tabla 24: Comprobación de la Densidad Muestra DTI (B). Elaboración Propia.

6.3.5 Densidad Natural – Muestra DU (M)

Resultados DU (M)			
Densidad seca máxima (gr/cm3)	1.87	Contenido de Humedad planteada (%)	14.32
Densidad seca obtenida (gr/cm3)	1.66	Contenido de Humedad real (%)	13.84
Porcentaje de compactación (%)	**88.82**		

Tabla 25: Comprobación de la Densidad Muestra DU (M). Elaboración Propia.

6.3.6 Densidad Natural – Muestra DT (M)

Resultados DT (M)			
Densidad seca máxima (gr/cm3)	1.87	Contenido de Humedad planteada (%)	14.32
Densidad seca obtenida (gr/cm3)	1.65	Contenido de Humedad real (%)	13.49
Porcentaje de compactación (%)	**88.50**		

Tabla 26: Comprobación de la Densidad Muestra DT (M). Elaboración Propia.

6.3.7 Densidad Natural – Muestra DTI (M)

Resultados DTI (M)			
Densidad seca máxima (gr/cm3)	1.87	Contenido de Humedad planteada (%)	14.32
Densidad seca obtenida (gr/cm3)	1.63	Contenido de Humedad real (%)	14.15
Porcentaje de compactación (%)	**87.33**		

Tabla 27: Comprobación de la Densidad Muestra DTI (M). Elaboración Propia.

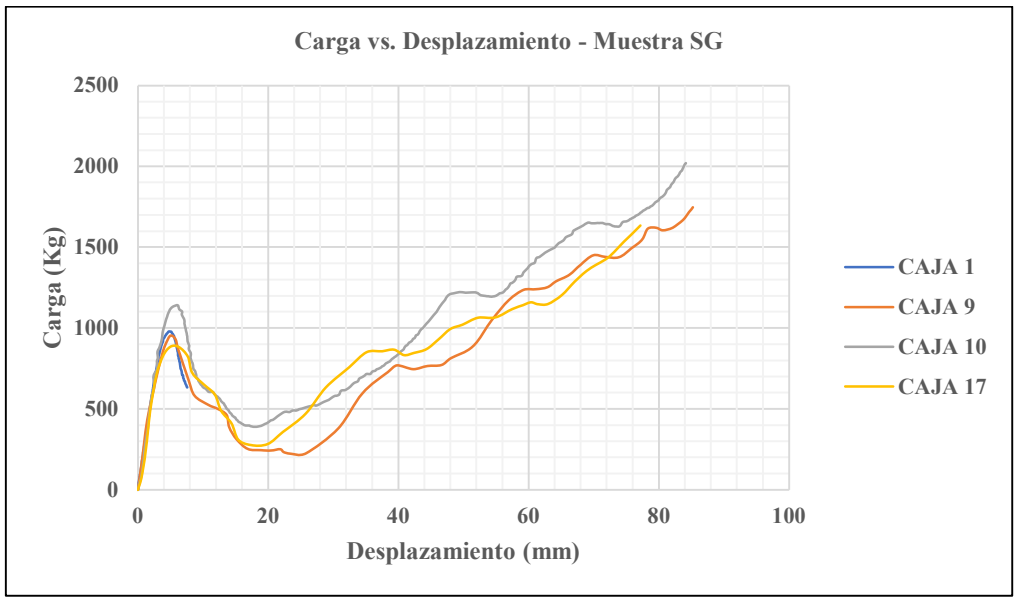
Como se observa en los resultados, se obtuvo el porcentaje de compactación deseado en todas las muestras ensayadas.

6.4 Prueba de Carga Axial

El ensayo de carga axial se realizó posterior a la compactación del suelo de acuerdo a la metodología seleccionada previamente. En el ensayo se aplica una carga vertical que incrementa con el tiempo hasta que falle el sistema suelo-geomalla. La carga se transmite al molde de arena mediante una placa metálica con dimensiones de 7cm x 7cm x 2cm. La forma de ensayar el suelo se ilustra en las imágenes y figuras posteriores.

Se presentan los resultados de las curvas obtenidas para cada ensayo, recordando que para cada distribución de geomalla se realizaron tres ensayos, la tabulación de datos y curvas se adjuntan en la sección de Anexos.

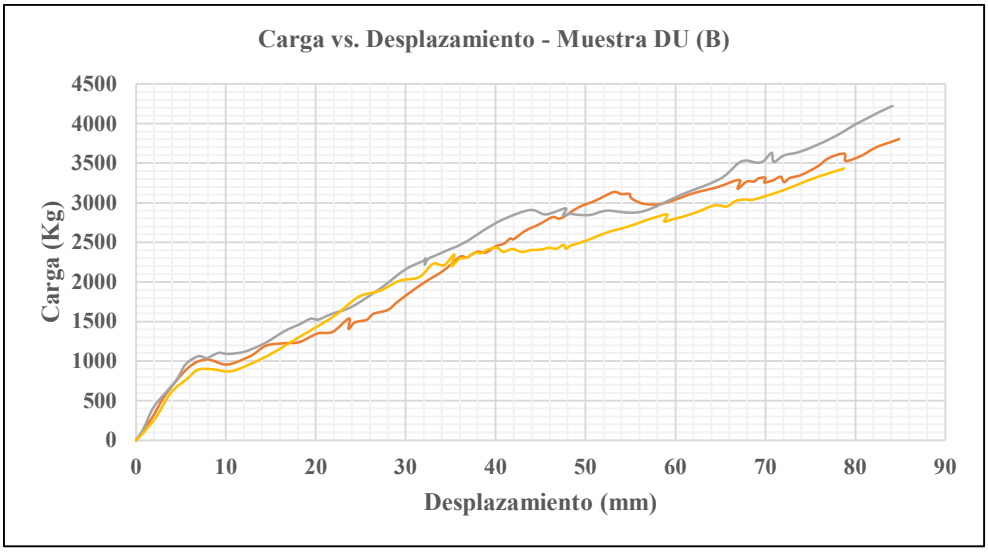
6.4.1 Ensayo de Carga Axial - SG



Gráfica 9: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.

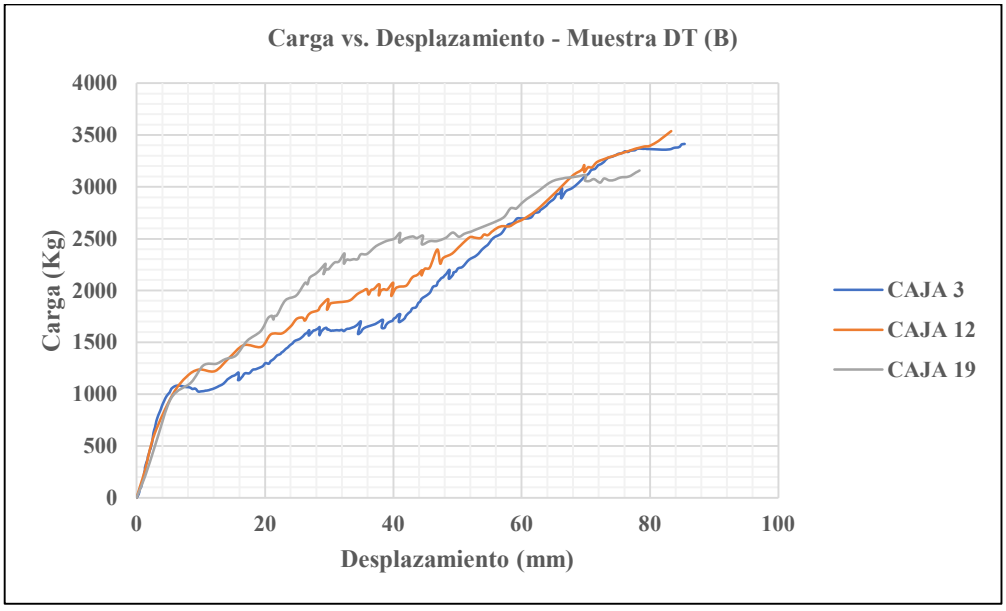
6.4.2 Ensayo de Carga Axial con Geomalla Biaxial

6.4.2.1 Ensayo de Carga Axial - DU (B)



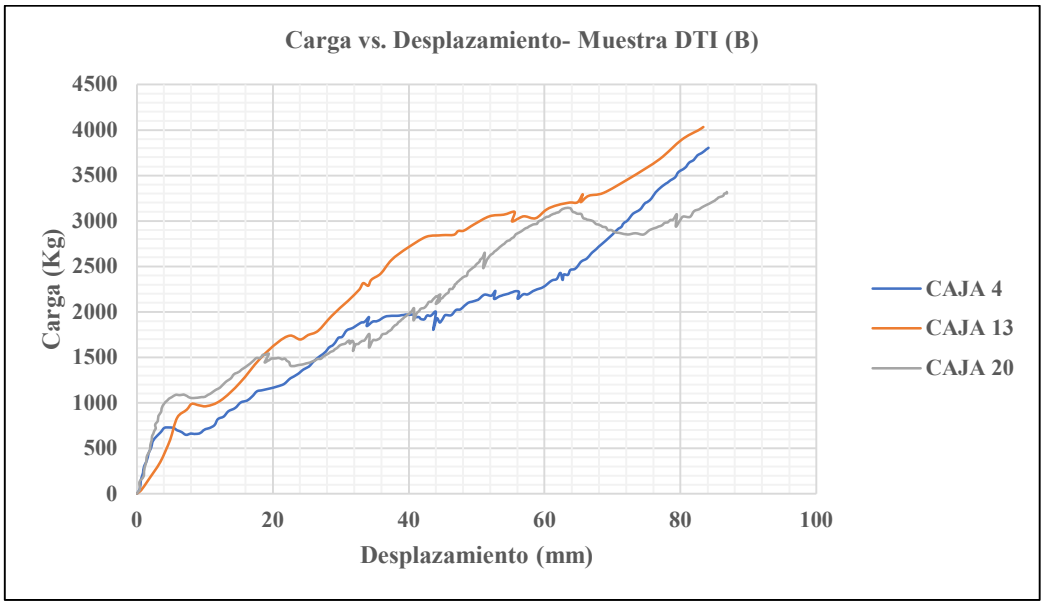
Gráfica 10: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.

6.4.2.2 Ensayo de Carga Axial – DT (B)



Gráfica 11: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.

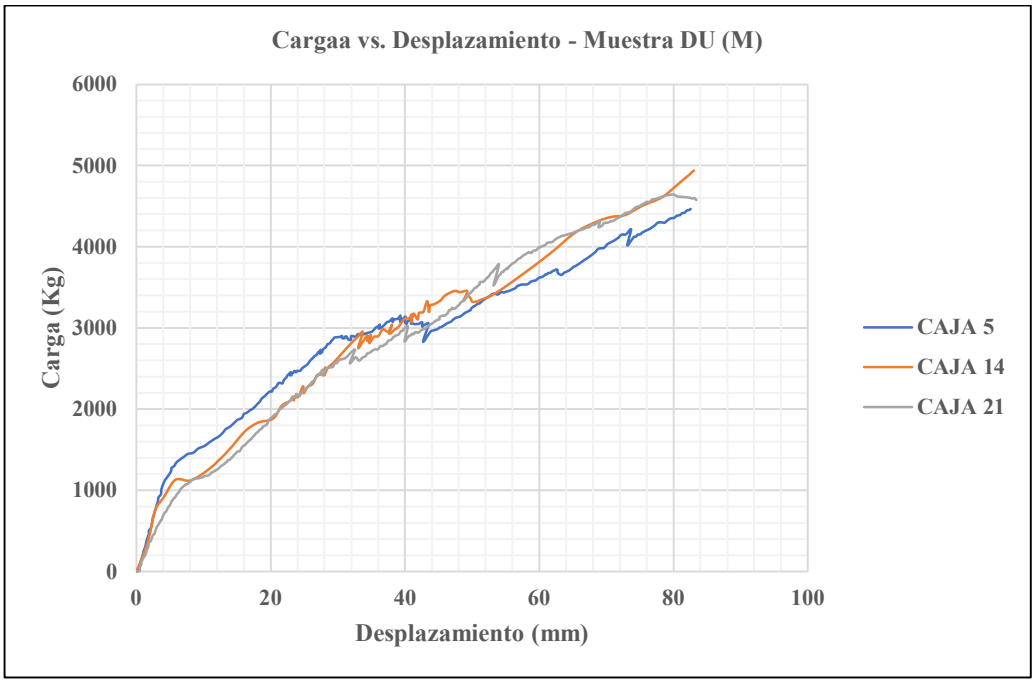
6.4.2.3 Ensayo de Carga Axial – DTI (B)



Gráfica 12: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.

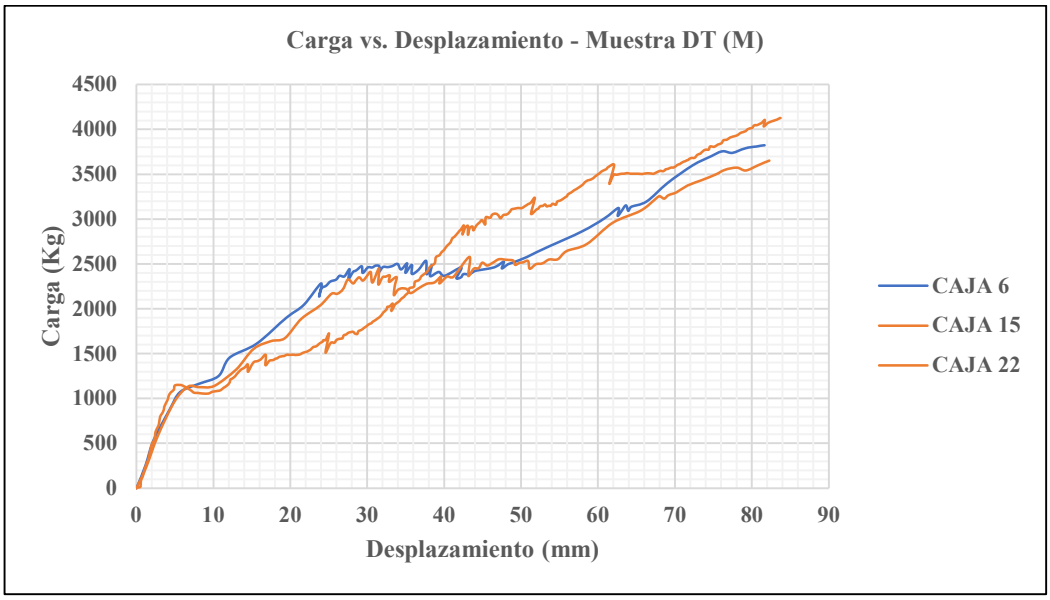
6.4.3 Ensayo de Carga Axial con Geomalla Multiaxial

6.4.3.1 Ensayo de Carga Axial – DU (M)



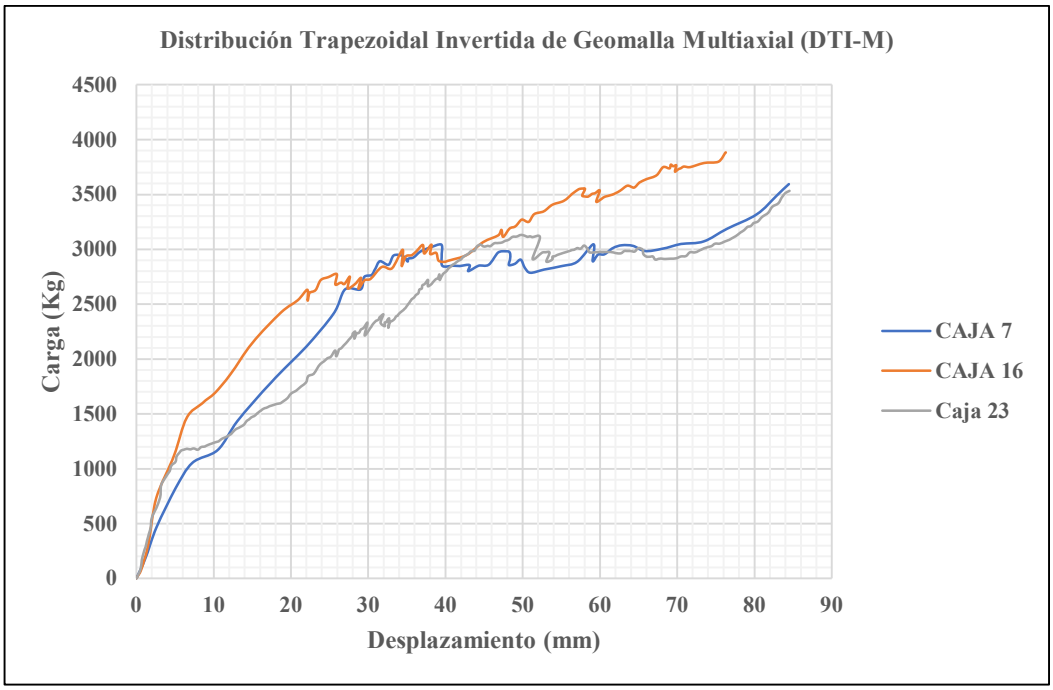
Gráfica 13: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.

6.4.3.2 Ensayo de Carga Axial – DT (M)



Gráfica 14: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.

6.4.3.3 Ensayo de Carga Axial – DTI (M)



Gráfica 15: Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm). Elaboración Propia.

6.5 Textura de Suelo en Compactación Modificada

Se utilizó el procedimiento del Proctor modificado para compactar el suelo arenoso utilizando a la humedad óptima y poder mostrar la textura del suelo a este nivel de humedad.



Fotografía 33: Textura del material compactado con la humedad óptima. Elaboración Propia.



Fotografía 34: Comprobación de la resistencia a rayarse del material compactado con la humedad óptima. Elaboración Propia.



Fotografía 35: Comprobación de la facilidad del moldeo del material compactado con la humedad óptima. Elaboración Propia.

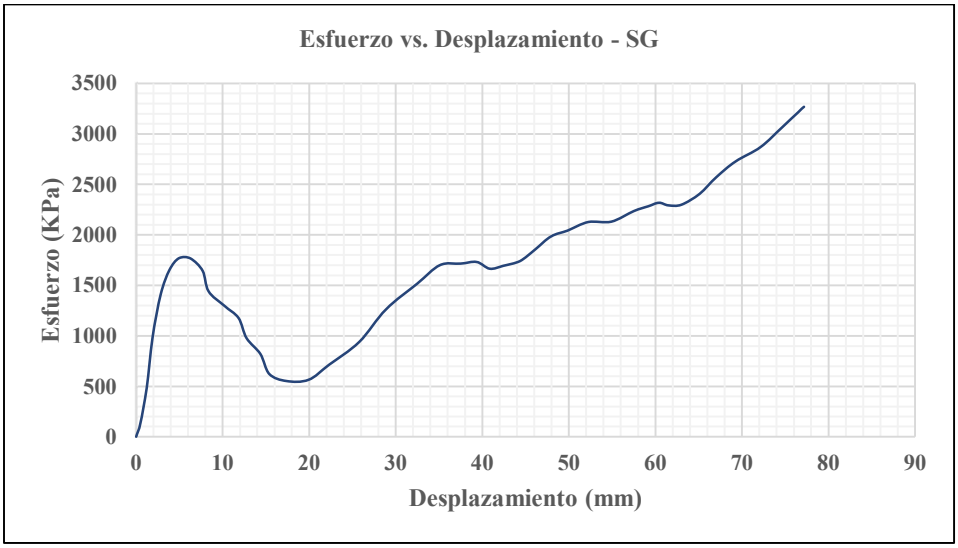
Como se puede observar en las imágenes el suelo compactado con la humedad óptima presenta una facilidad de moldeo y rayado del mismo, debido al acomodo de las partículas de la arena pobremente graduada.

Capítulo 7: Análisis y Comparación de Resultados

7.1 Curvas Resultantes

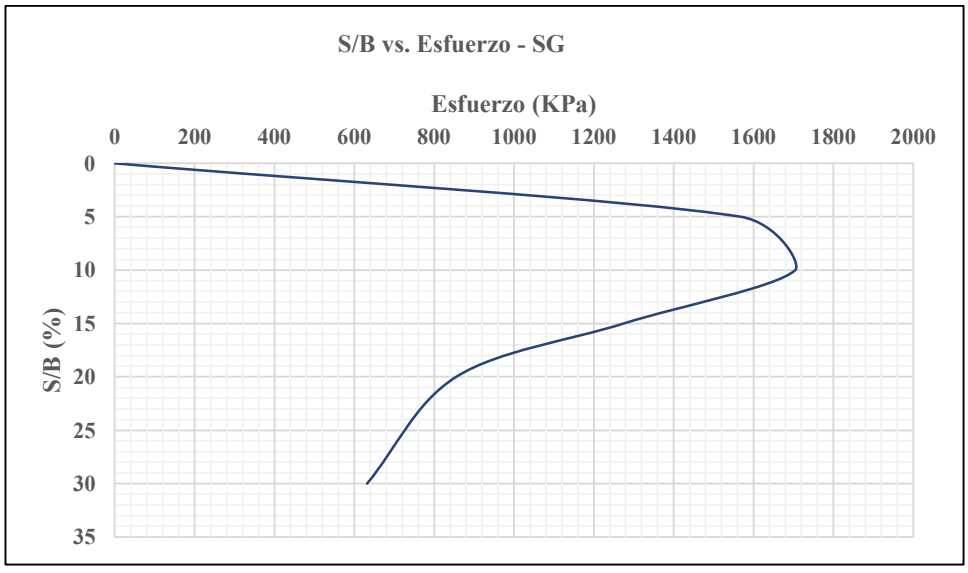
7.2 Muestra Sin Geomalla

7.2.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 16: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

7.2.2 Gráficas S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)

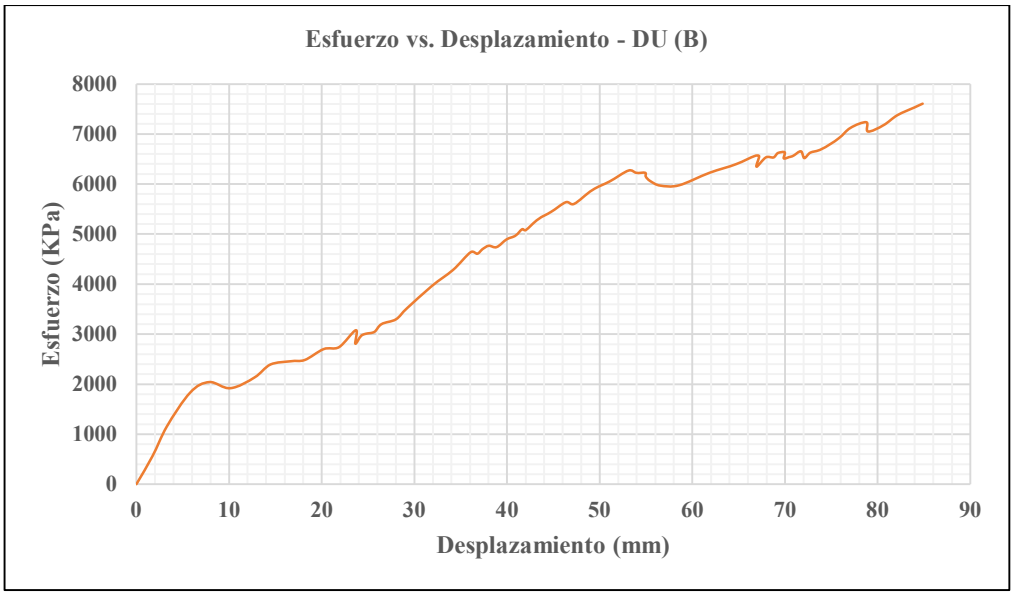


Gráfica 17: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

7.3 Muestras con Geomalla Biaxial

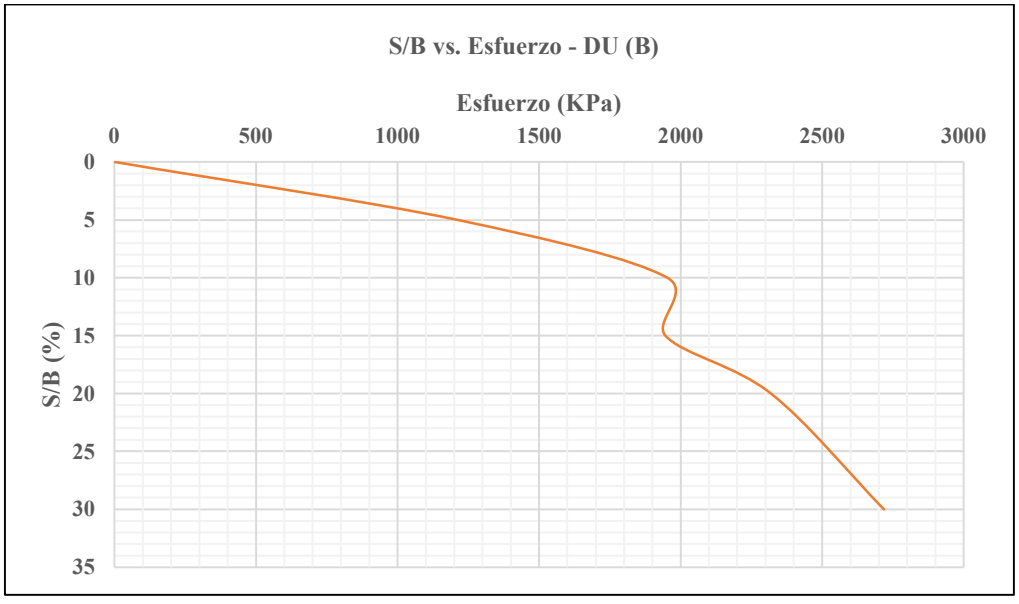
7.3.1 Muestra con Distribución Uniforme – DU (B)

7.3.1.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 18: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

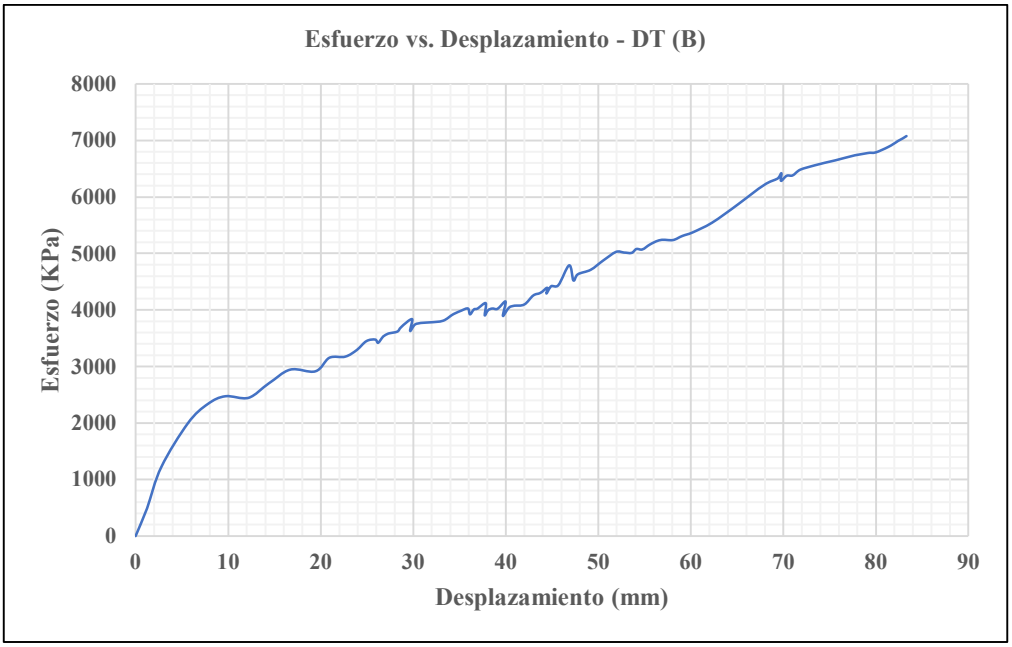
7.3.1.2 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 19: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

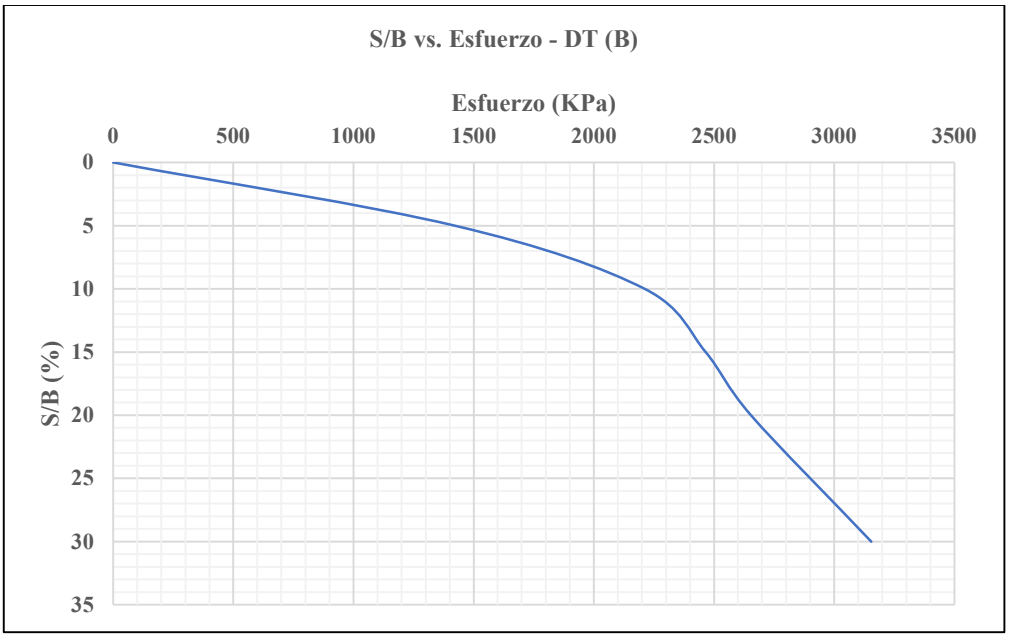
7.3.2 Muestra con Distribución Trapezoidal – DT (B)

7.3.2.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 20: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

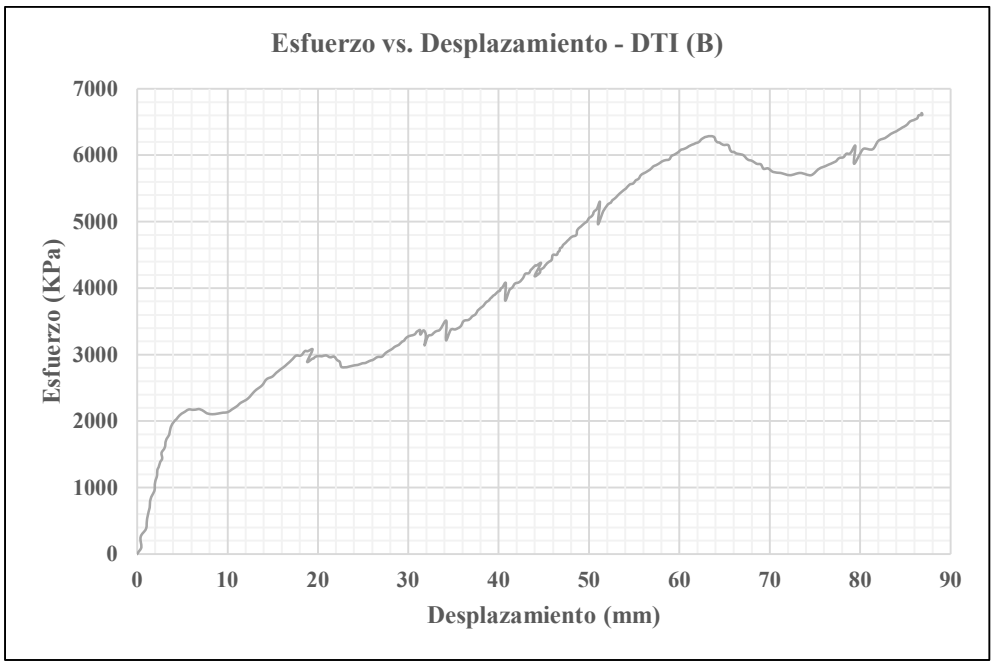
7.3.2.2 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 21: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

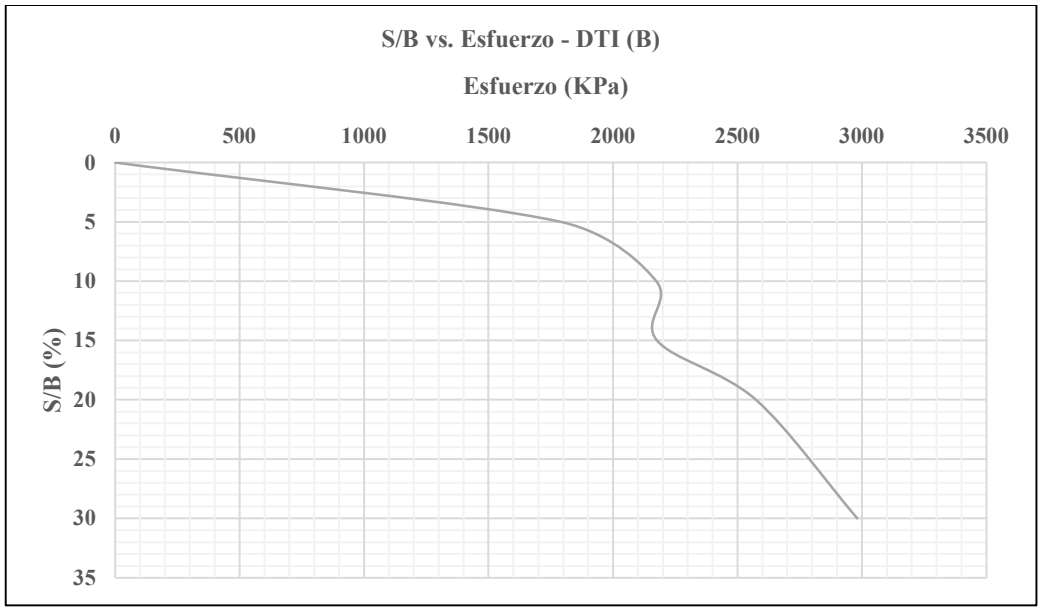
7.3.3 Muestra con Distribución Trapezoidal Invertida – DTI (B)

7.3.3.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 22: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

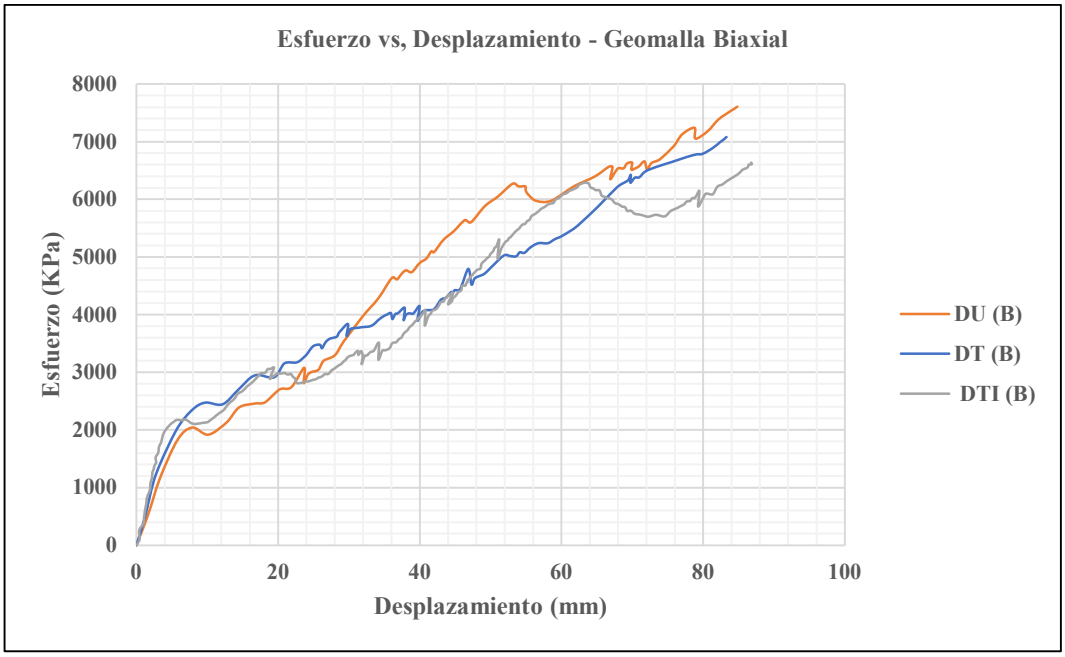
7.3.3.2 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 23: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia

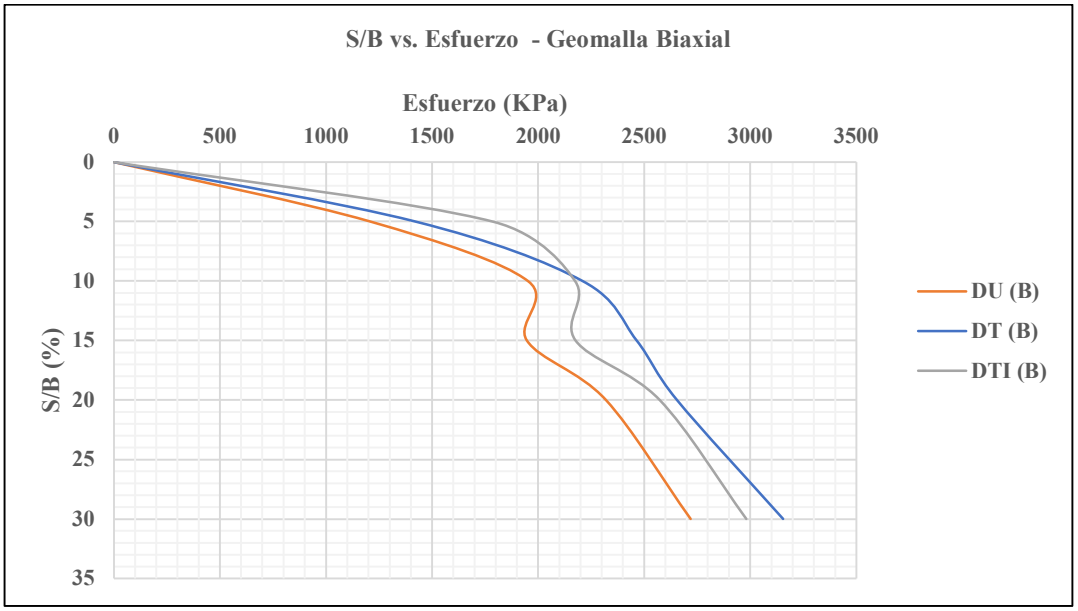
7.3.4 Grafica Global con Geomalla Biaxial

7.3.4.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 24: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

7.3.4.2 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)

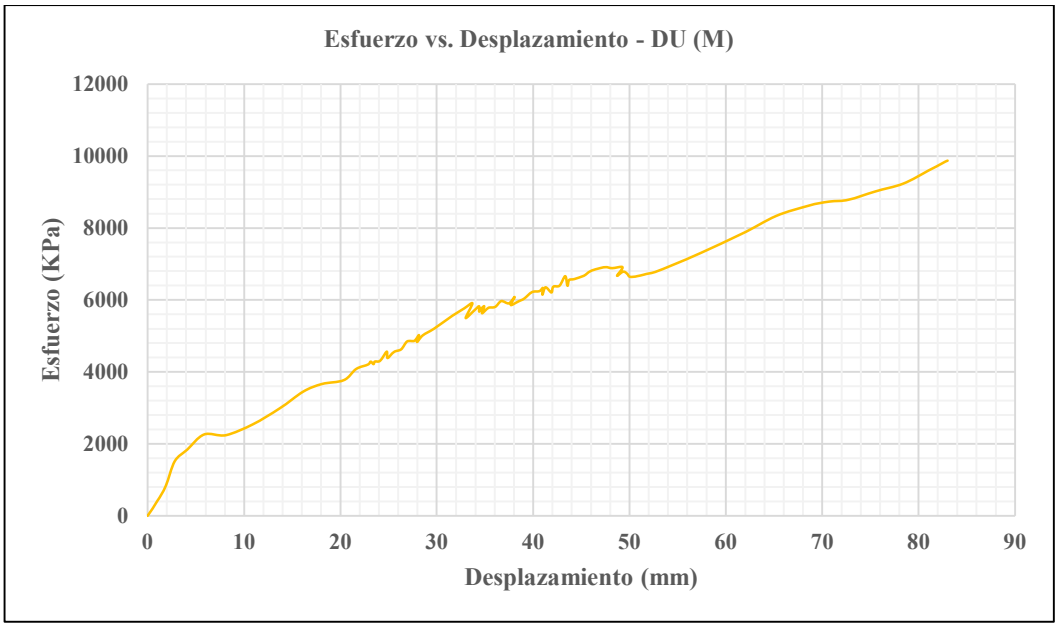


Gráfica 25: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

7.4 Muestras con Geomalla Multiaxial

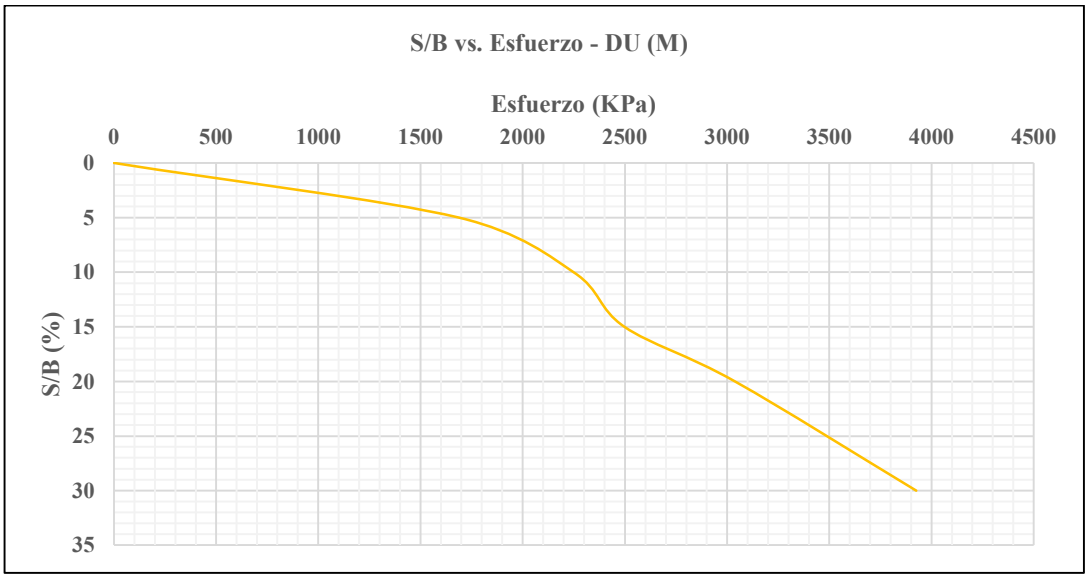
7.4.1 Muestras con Distribución Uniforme – DU (M)

7.4.1.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 26: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

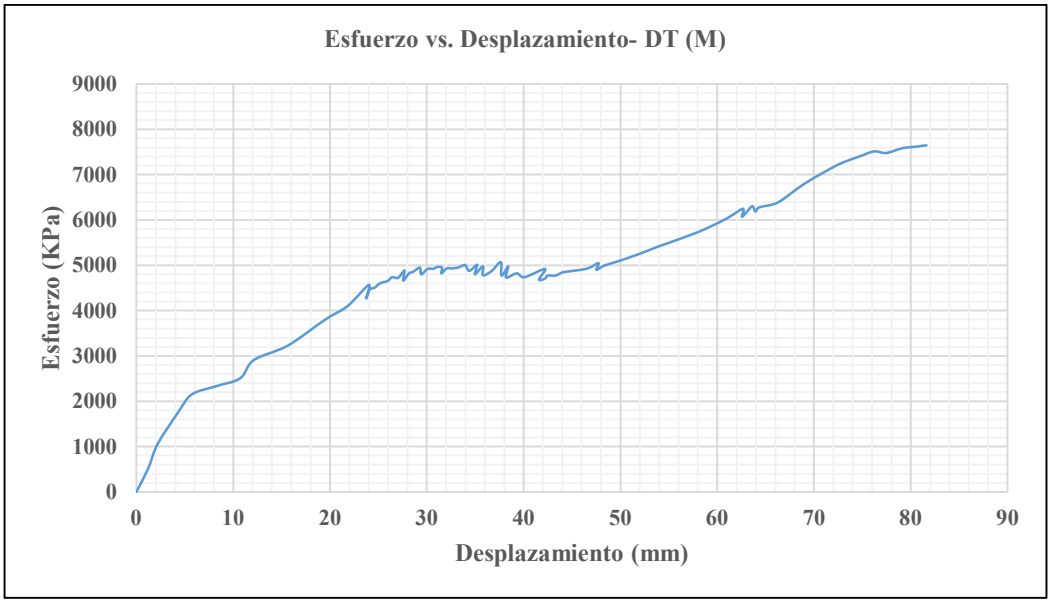
7.4.1.2 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 27: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

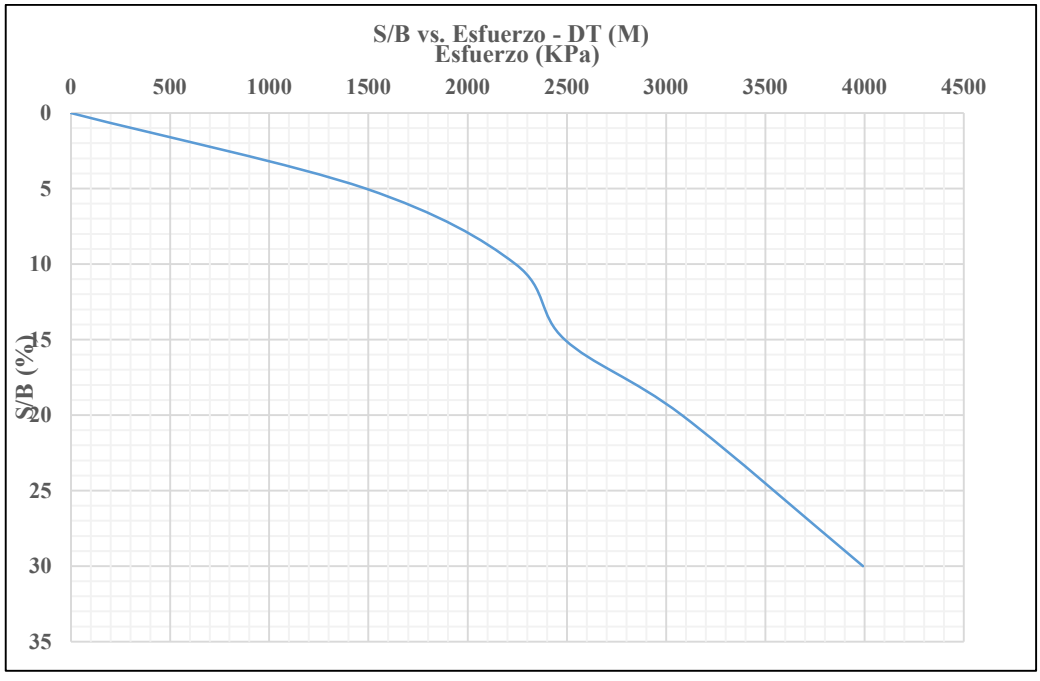
7.4.2 Muestras con Distribución Trapezoidal – DT (M)

7.4.2.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 28: Esfuerzo vs. Desplazamiento. Gráfica completa. Elaboración Propia.

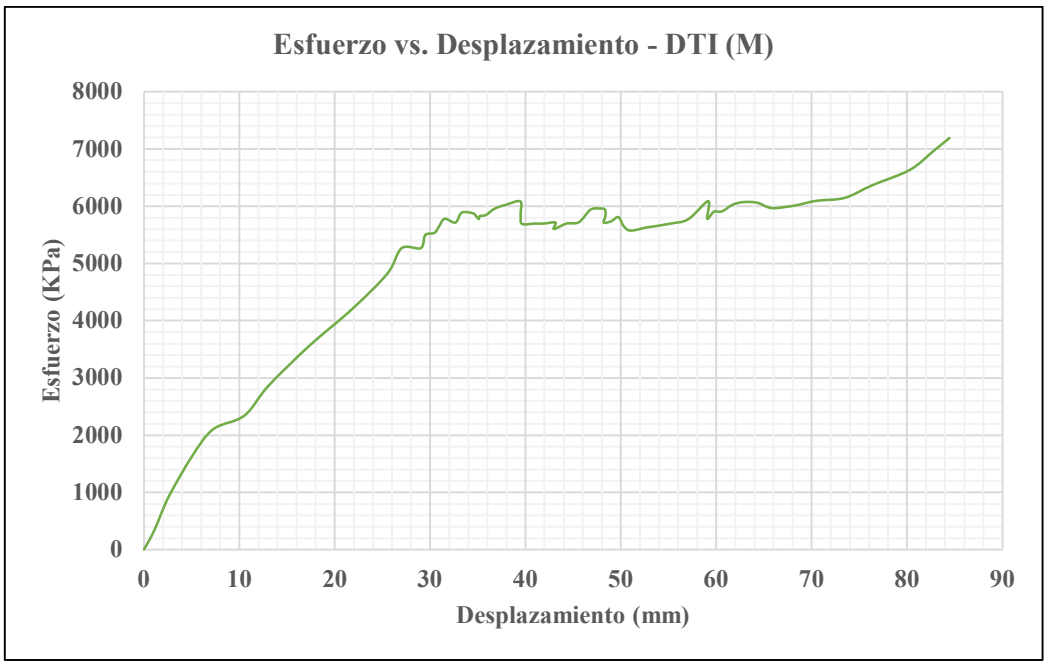
7.4.2.2Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 29: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

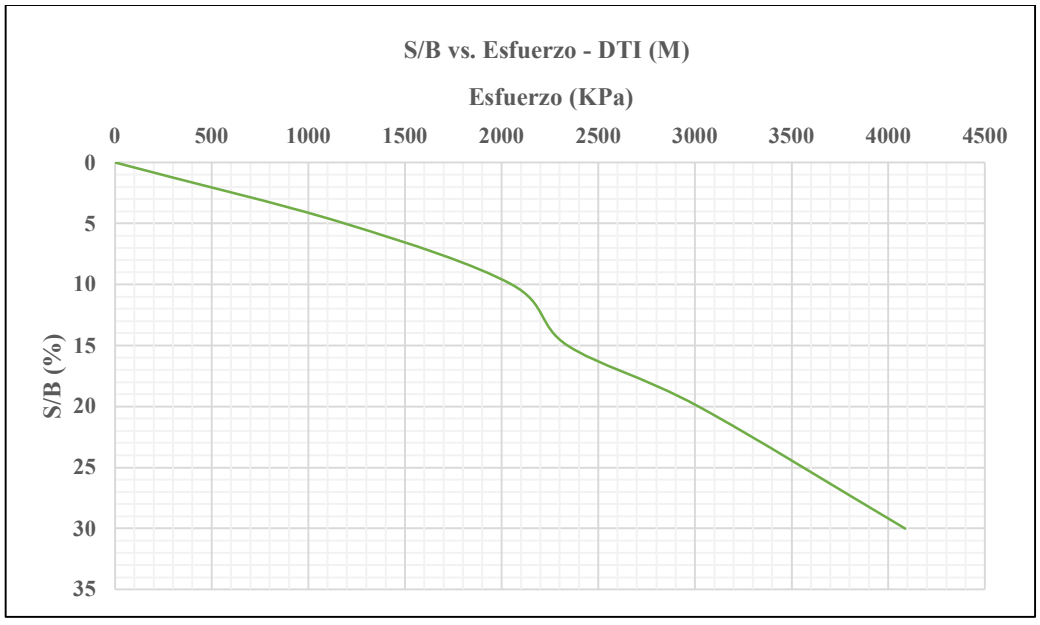
7.4.3 Muestras con Distribución Trapezoidal Invertida – DTI (M)

7.4.3.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 30: Esfuerzo vs. Desplazamiento - Gráfica completa. Elaboración Propia.

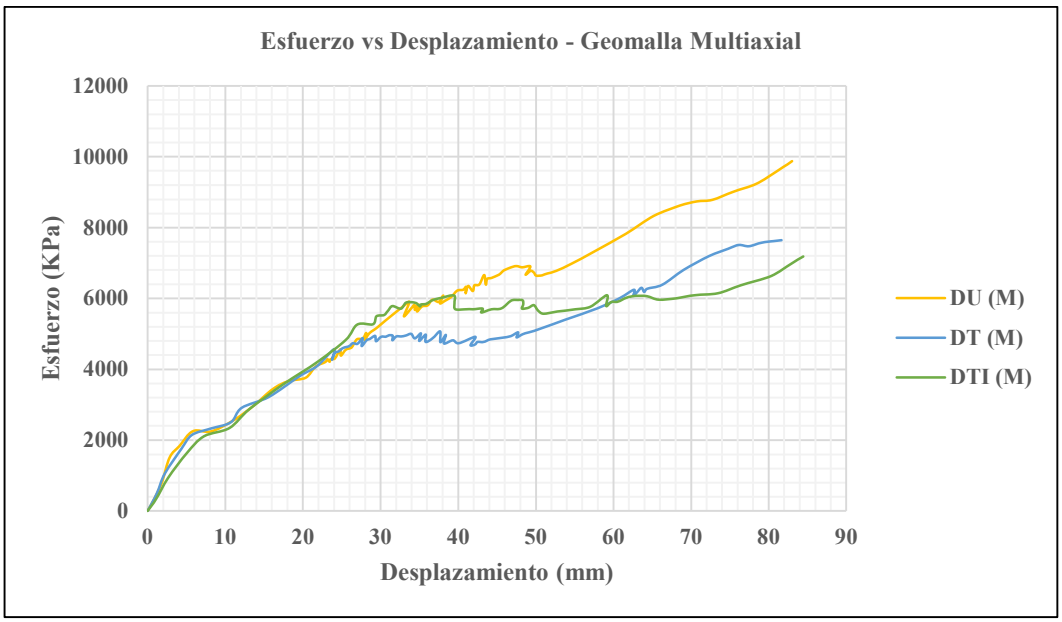
7.4.3.2 Gráficas S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 31: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

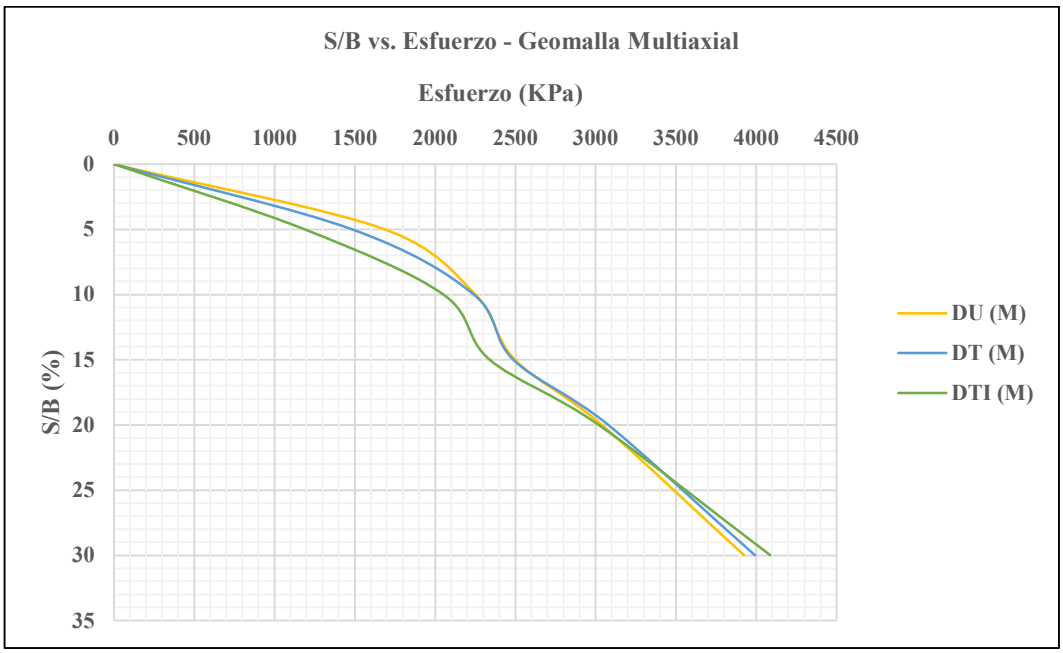
7.4.4 Grafica Global con Geomalla Multiaxial

7.4.4.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Gráfica 32: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

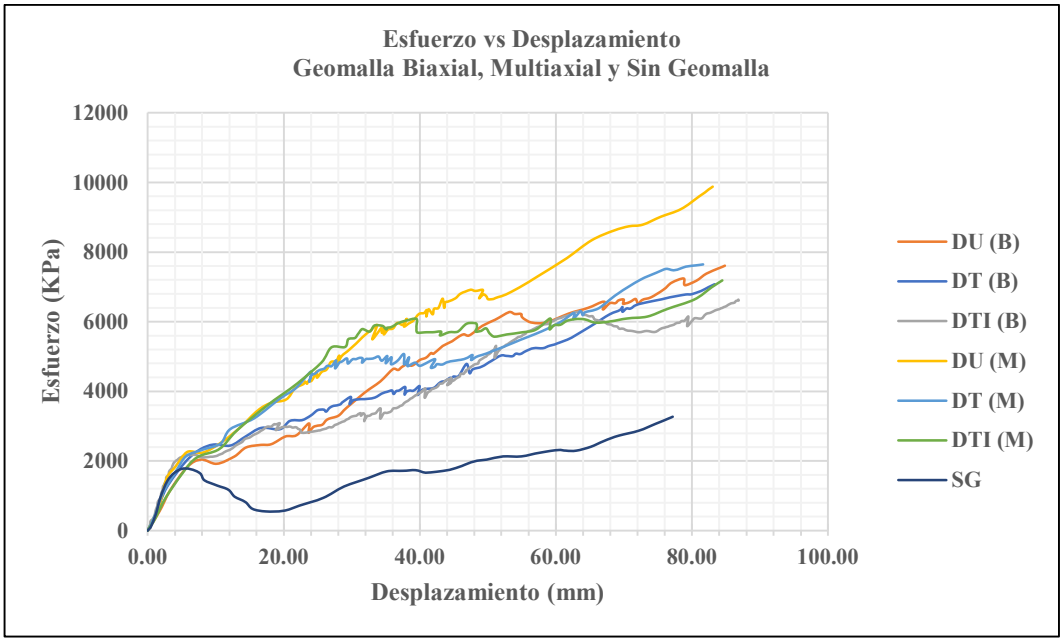
7.4.4.2 Gráficas S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 33: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

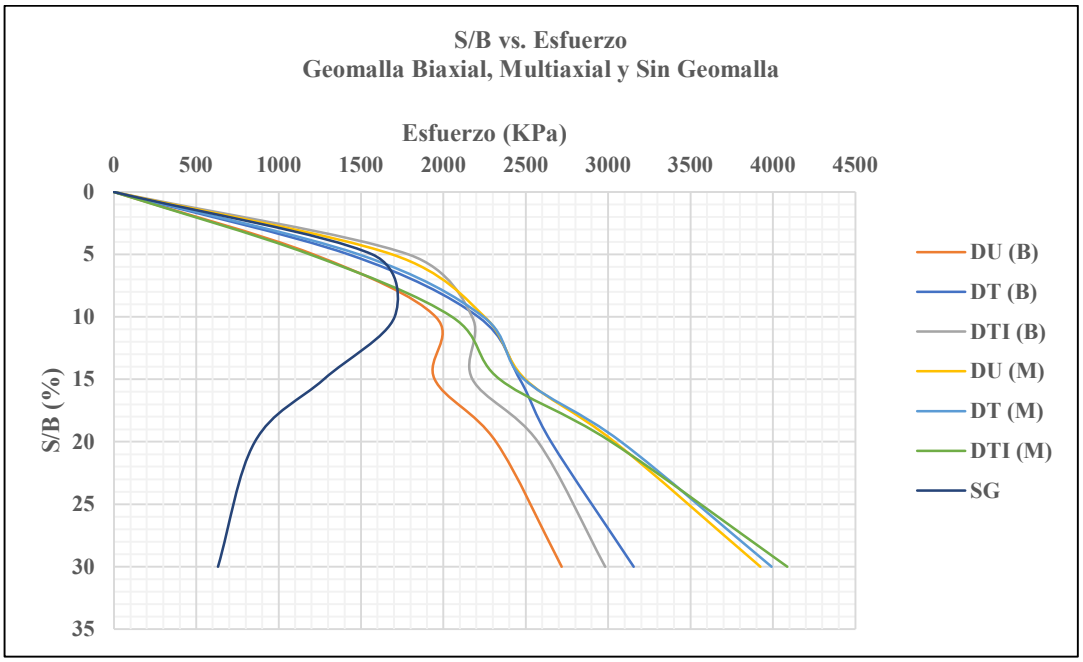
7.5 Comparación Global de Resultados

7.5.1 Gráfica Completa de Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



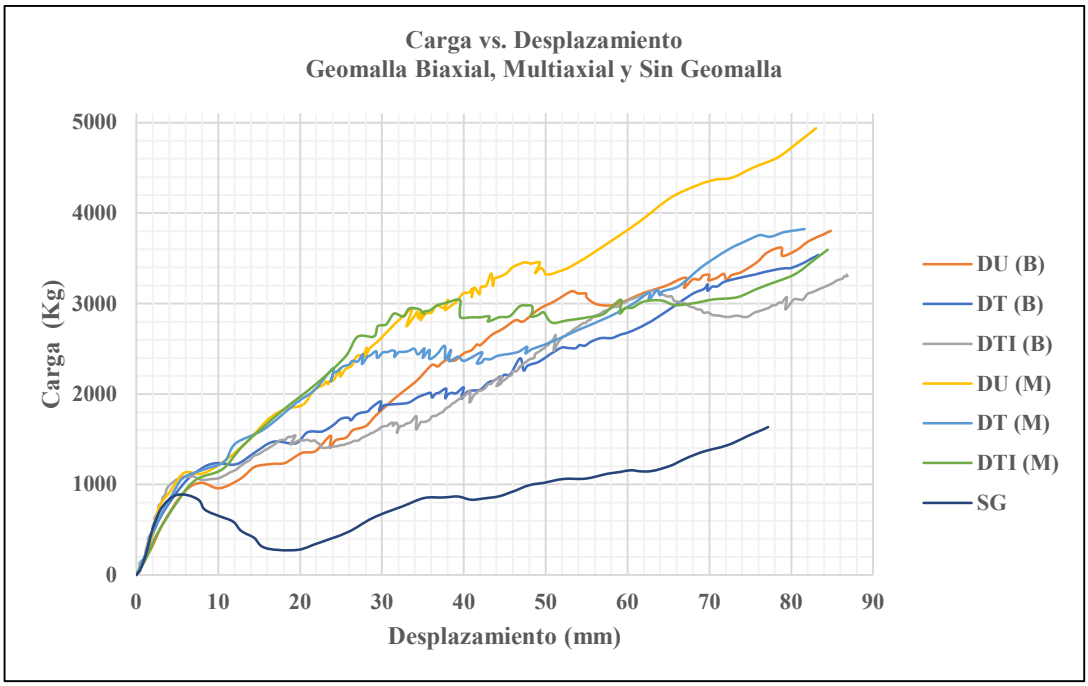
Gráfica 34: Esfuerzo vs. Desplazamiento, Gráfica completa. Elaboración Propia.

7.5.2 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Gráfica 35: S/B vs. Esfuerzo, al 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Elaboración Propia.

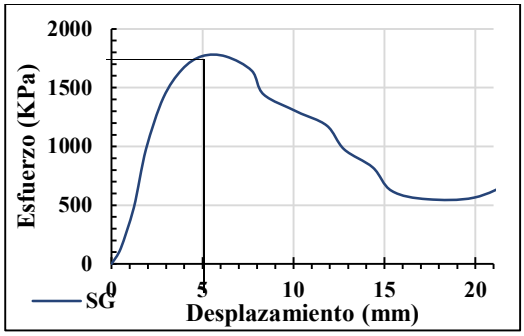
7.5.3 Gráfica Completa de Carga vs Desplazamiento

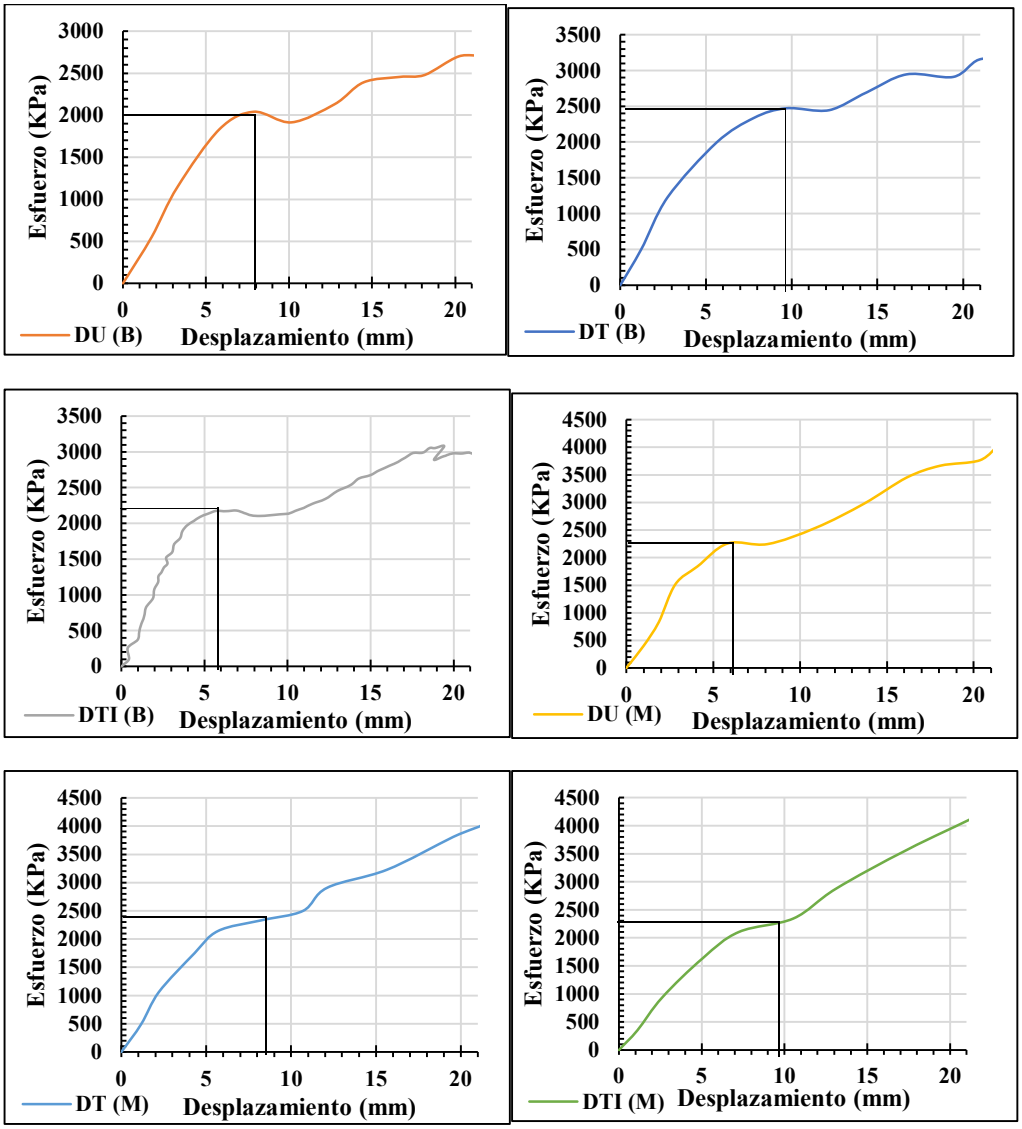


Gráfica 36: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.

7.2 Cálculo Experimental de Capacidad de Carga del Suelo

A continuación, se presentan los valores máximos obtenidos de las gráficas Esfuerzo vs. Desplazamiento para cada tipo de arreglo, cabe recalcar que los esfuerzos máximos determinados se obtienen en la primera meseta encontrada.





Gráfica 37: Esfuerzo vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.

Descripción	Esfuerzo Máximo (KPa)	Desplazamiento (mm)
SG	1800	5.0
DU (B)	2010	8.0
DT (B)	2450	9.3
DTI (B)	2200	6.0
DU (M)	2300	6.0
DT (M)	2400	8.5
DTI (M)	2300	9.8

Tabla 28: Resumen de Esfuerzos y Cargas Máximas a los 21 mm. Elaboración Propia.

Se realiza una comparación entre el esfuerzo que presenta el suelo reforzado con cada tipo de distribución de geomalla **"$q_{u(r)}$"** frente al esfuerzo del suelo sin reforzamiento de geomalla **"q_u",** a la cual hemos denominado como **BCR** (Bearing Capacity Ratio o Relación de Capacidad de Carga)**,** se obtienen los siguientes resultados:

- **DU (B)**

$$\boldsymbol{BCR_{DU(B)}} = \frac{q_{u(r)}}{q_u}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DU(B)}} = \frac{2010\ KPa}{1800\ KPa}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DU(B)}} = 1{,}12$$

  - Aumento del 12% de la Capacidad de Carga del Suelo.
  - **DT (B)**

$$\boldsymbol{BCR_{DT(B)}} = \frac{q_{u(r)}}{q_u}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DT(B)}} = \frac{2450\ KPa}{1800\ KPa}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DT(B)}} = 1{,}36$$

  - Aumento del 36% de la Capacidad de Carga del Suelo.

DTI (B)

$$\boldsymbol{BCR_{DTI(B)}} = \frac{q_{u(r)}}{q_u}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DTI(B)}} = \frac{2200\ KPa}{1800\ KPa}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DTI(B)}} = 1{,}22$$

- Aumento del 22% de la Capacidad de Carga del Suelo.

- **DU (M)**

$$\boldsymbol{BCR_{DU(M)}} = \frac{q_{u(r)}}{q_u}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DU(M)}} = \frac{2300\ KPa}{1800\ KPa}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DU(M)}} = 1{,}28$$

- Aumento del 28% de la Capacidad de Carga del Suelo.

- **DT (M)**

$$\boldsymbol{BCR_{DT(M)}} = \frac{q_{u(r)}}{q_u}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DT(M)}} = \frac{2400\ KPa}{1800\ KPa}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DT(M)}} = 1{,}33$$

- Aumento del 33% de la Capacidad de Carga del Suelo.

- **DTI (M)**

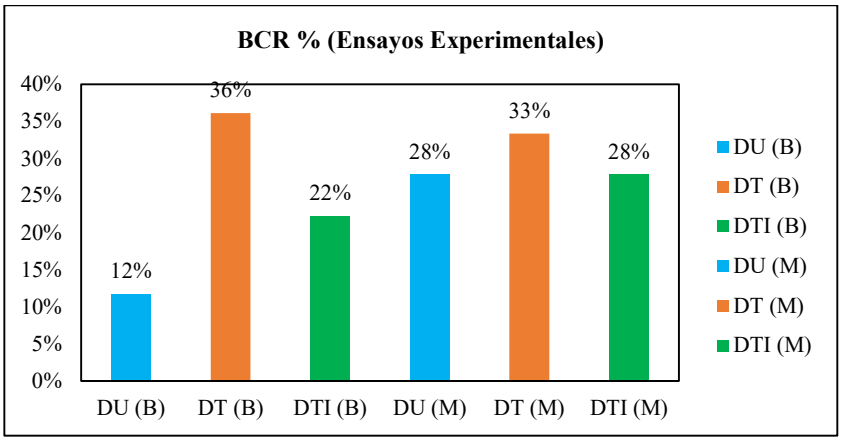
$$\boldsymbol{BCR_{DTI(M)}} = \frac{q_{u(r)}}{q_u}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DTI(M)}} = \frac{2300\ KPa}{1800\ KPa}$$

$$\boldsymbol{BCR_{DTI(M)}} = 1{,}28$$

Aumento del 28% de la Capacidad de Carga del Suelo.

A continuación, se analizará y comparará los resultados obtenidos en los ensayos experimentales. Para facilitar la comparación de resultados se realizó gráficos del porcentaje de incremento de capacidad de carga los cuales se muestran a continuación:



Gráfica 38: Grafico de barras del porcentaje de incremento de la capacidad de carga (BCR%) de los datos experimentales. Elaboración Propia.

Se puede decir que la distribución trapezoidal presentó un mayor incremento en la capacidad última del suelo, tanto en los arreglos con geomalla biaxial y en los arreglos con geomalla multiaxial. Adicionalmente, la geomalla biaxial presenta un incremento del 3% sobre la

geomalla multiaxial cuando se ocupa un arreglo Trapezoidal. Por otro lado, la geomalla multiaxial posee un mayor incremento en la capacidad de carga del suelo cuando se ocupa un arreglo de distribución uniforme y cuando se ocupa un arreglo de distribución trapezoidal inverso.

7.3 Tipo de falla generada

Utilizando el diagrama de modos de falla según el ¨Índice de compacidad para cimentaciones sobre arena¨ propuesto por Vesic (1963), y conociendo que la compacidad relativa es Cr=0.58 y la relación $\frac{Df}{B}$ parte desde cero; ya que el modelo no posee profundidad de desplante, el tipo de falla que se genera debajo de la cimentación es una *"Falla Local por Corte"*. Además, se tendrá el mismo tipo de falla, hasta un valor máximo de *Df* igual a 26cm.

Cálculo de la compacidad relativa:

$$e_{max} = Gs * \frac{\gamma_w}{\gamma_{max}} - 1 = 2.61 * \frac{1\frac{gr}{cm3}}{1.87\frac{gr}{cm3}} - 1 = 0.40$$

$$e_{min} = Gs * \frac{\gamma_w}{\gamma_{min}} - 1 = 2.61 * \frac{1\frac{gr}{cm3}}{1.47\frac{gr}{cm3}} - 1 = 0.78$$

$$e = Gs * \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - 1 = 2.61 * \frac{1\frac{gr}{cm3}}{1.61\frac{gr}{cm3}} - 1 = 0.62$$

$$Cr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{0.40 - 0.62}{0.40 - 0.78} = 0.58$$

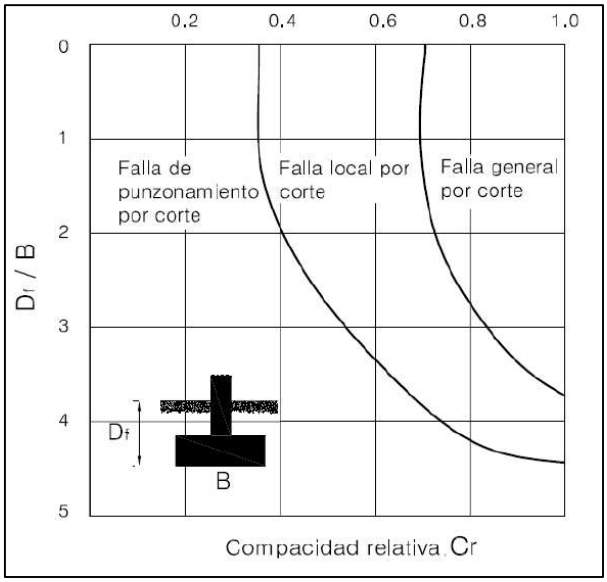


Figura 54: Modos de Falla de una Cimentación. Tomado de: Mamani Luis, 2014, pg. 165.

Sin embargo, en los ensayos realizados, se puede observar que falla a punzonamiento debido a la mala graduación del material y al acomodo de partículas que se realiza en la superficie del suelo moldeado al aplicarle una carga axial sobre la zapata de 7cm*7cm. Este tipo de falla se puede observar en las siguientes imágenes:

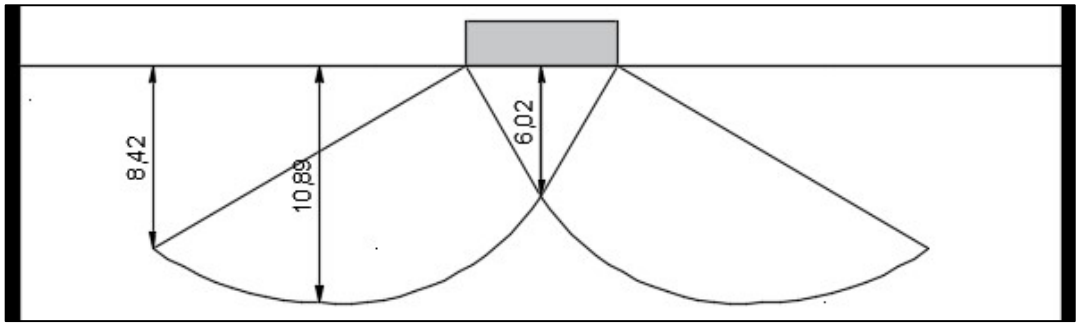


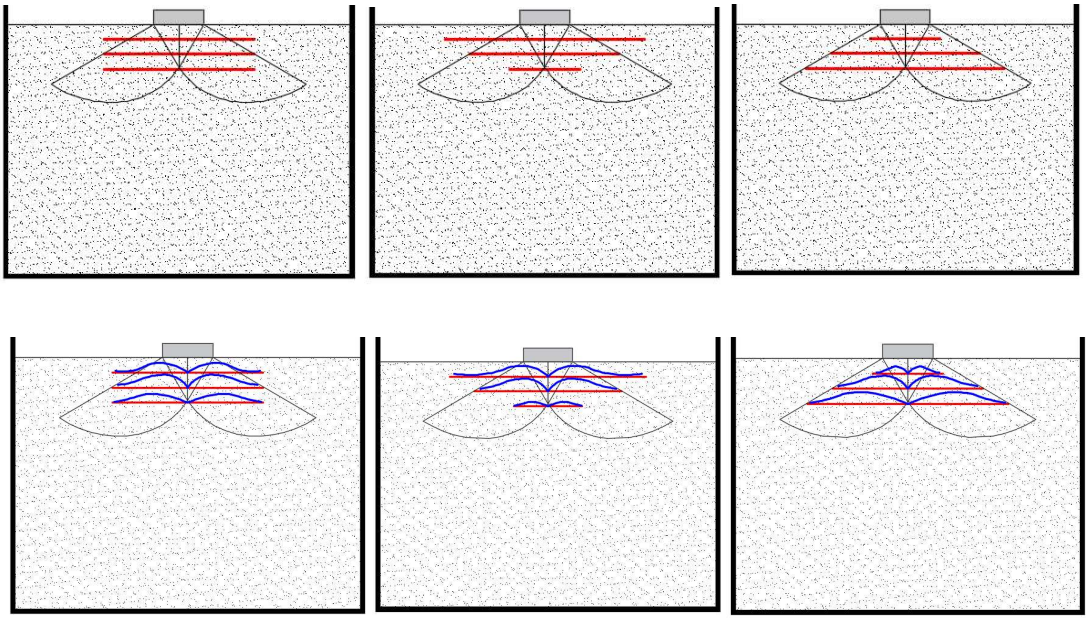
Fotografía 36: Falla por punzonamiento y falla general por corte en la muestra no saturada de los ensayos de verificación(S=37%). Elaboración Propia.



Fotografía 37: Falla por punzonamiento y falla general por corte en la muestra no saturada de los ensayos de verificación(S=43%). Elaboración Propia.

7.4 Mejor arreglo de geomalla





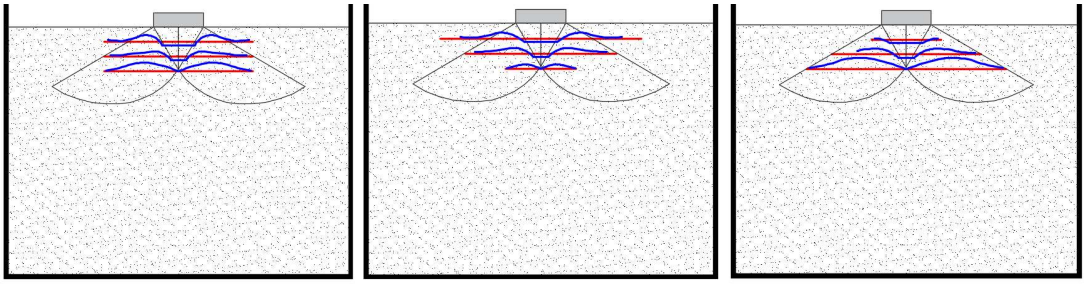
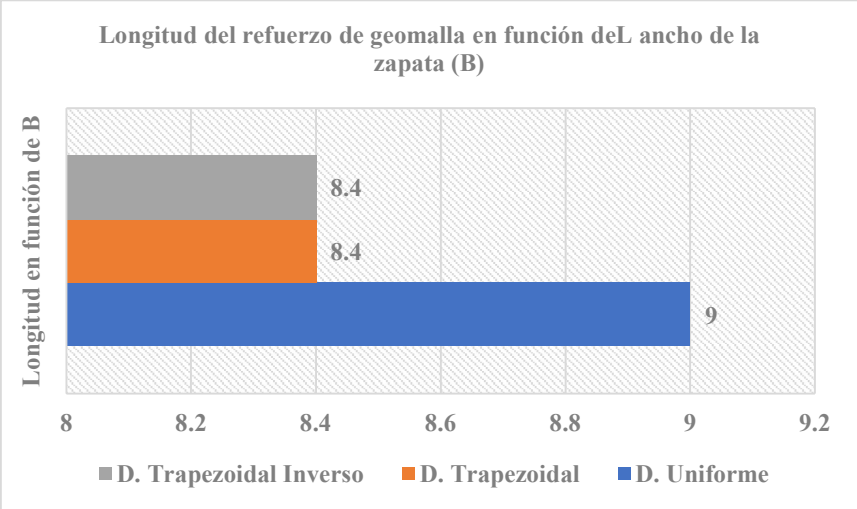


Figura 55: Grafica de Falla de Terzaghi Aproximada. Elaboración Propia.

Una vez graficado el alcance de la Falla del Suelo bajo la aplicación de carga de una zapata de 7x7 cm, se analizan los diferentes arreglos de geomalla utilizados y se determinó que la implementación de un refuerzo con geomalla utilizando una Distribución de Arreglo Trapezoidal presenta una mejora en la capacidad de carga última del suelo. Debido a que las geomallas se distribuyen de mejor manera en función del tipo de falla encontrado, la cual fue una "Falla Local por Corte". Adicionalmente, si se realiza un análisis desde el punto de vista económico y ambiental, y al utilizar el arreglo trapezoidal se ahorra un 7% de material en comparación con el uso de un arreglo uniforme, como se observa en la siguiente gráfica:



Gráfica 39: Longitud del refuerzo de geomalla en función del ancho de la zapata B. Elaboración propia.

Se descarta la utilización de la Distribución Uniforme y Distribución Trapezoidal Invertida de Geomalla, ya que su última capa no se adecua a la falla producida y la capa próxima a la superficie posee exceso de longitud ya que traspasa la cuna de falla, por lo tanto, permite que el geo sintético tenga una deformación cóncava impidiendo que desarrolle la resistencia a la tracción desde el inicio de la aplicación de carga.

Capítulo 8: Discusión de Resultados

8.1 Cálculo Teórico de Capacidad de Carga Última del Suelo

8.1.1 Cálculo Teórico de Capacidad de Carga Última - Suelo No Reforzado

8.1.1.1 Capacidad de Carga Última de Suelo Saturado

Se realiza el cálculo de la capacidad de carga del suelo sin reforzamiento a través de la aplicación de la Ecuación General, en donde las ecuaciones toman en cuenta la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla en el suelo en la parte superior del fondo de la cimentación, además, involucra a la orientación de la carga aplicada, la profundidad de desplante y la geometría de la zapata. Para ello, en 1963 Meyerhof sugiere la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{q_u} = c\ Nc\ F_{cs}F_{cd}F_{ci} + q\ N_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$\boldsymbol{q} = \gamma * D_f$$

$$\boldsymbol{q_u} = c\ Nc\ F_{cs}F_{cd}F_{ci} + \gamma D_f\ N_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Datos		
Descripción	**Unidades**	**Valor**
$\emptyset$	º	29.19
c	KPa	0
γ_{seco}	KN/m^3	16,68
W	%	14,32
$\gamma_{húmedo}$	KN/m^3	19,07
Df	m	0,00
B	m	0,07
L	m	0,07
β	º	0,00

Tabla 29: Datos para el Cálculo de Capacidad de Carga. Elaboración Propia.

Factores de Capacidad de Carga

Los factores de capacidad de carga utilizados fueron obtenidos mediante la aplicación de las siguientes fórmulas, las cuales involucran la geometría de la cimentación y el ángulo de fricción interno del suelo.

- **Reissner (1924)**

$$\boldsymbol{Nq} = tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2}\right) e^{\pi \tan \emptyset}$$

$$\boldsymbol{Nq} = tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{29.19 * \frac{\pi}{180}}{2}\right) e^{\pi \tan 2\ .19 * \frac{\pi}{180}}$$

$$\boldsymbol{Nq} = 16.80$$

- **Reissner (1924)**

$$\boldsymbol{Nc} = (Nq - 1)\ cot\ \emptyset$$

$$\boldsymbol{Nc} = (16.80 - 1)\ cot 29.19 * \frac{\pi}{180}$$

$$\boldsymbol{Nc} = 28.28$$

- **Hjiaj et al (2005)**

$$\boldsymbol{N\gamma} = e^{\left(\frac{1}{6}(\pi + 3\pi^2 \tan \emptyset)\right)}\ tan^{\frac{2\pi}{5}} \emptyset$$

$$\boldsymbol{N\gamma} = e^{\left(\frac{1}{6}(\pi + 3\pi^2 \tan 29.19 * \frac{\pi}{180})\right)}\ tan^{\frac{2\pi}{5}} * 29.19 \frac{\pi}{180}$$

$$\boldsymbol{N\gamma} = 12.79$$

Factores de Forma

- **Vesic (1973)**

$$\boldsymbol{Fcs} = 1 + \left(\frac{Nq * B}{Nc * L}\right)$$

$$\boldsymbol{Fcs} = 1 + \left(\frac{16.80 * 0{,}07}{28.28 * 0{,}07}\right)$$

$$\boldsymbol{Fcs} = 1.59$$

$$\boldsymbol{Fqs} = 1 + tan\ \emptyset\ \left(\frac{B}{L}\right)$$

$$\boldsymbol{Fqs} = 1 + tan\ 29.19\ \left(\frac{0{,}07}{0{,}07}\right)$$

$$\boldsymbol{Fqs} = 1{,}56$$

$$\boldsymbol{F\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$$

$$\boldsymbol{F\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{0{,}07}{0{,}07}\right)$$

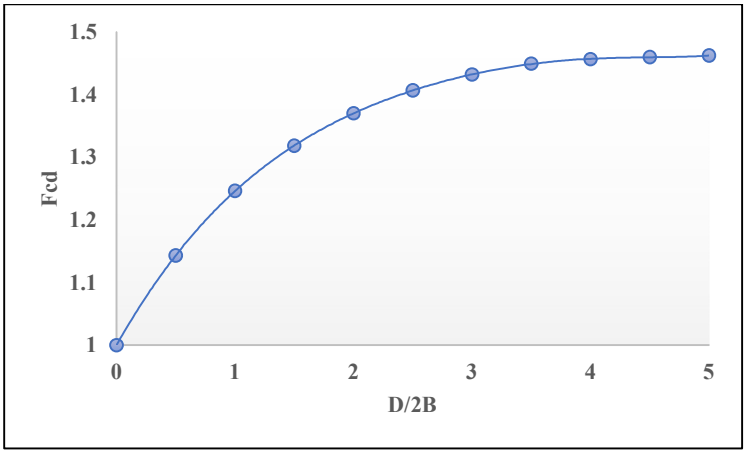
$$\boldsymbol{F\gamma s} = 0{,}6$$

Factores de Profundidad

- **Skempton (1971)**

$$\boldsymbol{Fqd} = 1$$

$$\boldsymbol{F\gamma d} = 1$$



Gráfica 40: Factor de Profundidad. Elaboración Propia.

$$\boldsymbol{Fcd} = 1$$

Factores de Inclinación

- **Hanna y Meyerhof (1981)**

$$\boldsymbol{Fci} = \boldsymbol{Fqi} = \left(1 - \frac{\beta°}{90°}\right)^2$$

$$\boldsymbol{Fci} = \boldsymbol{Fqi} = \left(1 - \frac{0°}{90°}\right)^2$$

$$\boldsymbol{Fci} = \boldsymbol{Fqi} = 1$$

$$\boldsymbol{F\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta°}{\emptyset}\right)^2$$

$$\boldsymbol{F\gamma i} = \left(1 - \frac{0°}{29.19°}\right)^2$$

$$\boldsymbol{F\gamma i} = 1$$

Capacidad de Carga Última de Suelo Saturado

Se descarta el segundo término de la ecuación, ya que la profundidad de desplante Df equivale a cero para el modelo de prueba planteado.

$$\boldsymbol{q_{u_sat}} = c\ Nc\ F_{cs}F_{cd}F_{ci} + \frac{1}{2}\gamma B N_{\gamma} F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$\boldsymbol{q_{u_sat}} = (0 * 28.28 * 1{,}59 * 1 * 1) + 0 + \left(\frac{1}{2} * 19{,}07 * 0{,}07 * 12.79 * 0{,}6 * 1 * 1\right)$$

$$\boldsymbol{q_{u_sat}} = 5.12\ \frac{KN}{m2}\ o\ KPa$$

8.1.1.2 Capacidad de Carga Última de Suelo Parcialmente Saturado

En el cálculo de Capacidad de Carga Última para suelos no saturados se emplea la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{q_{u_psat}} = [c' + (u_a - u_w)_b (tan\ \emptyset_{sat} - S_r^{\Psi} * tan\ \emptyset_{sat}) + (u_a - u_w)_{AVR} * S_r^{\Psi} * tan\ \emptyset_{sat}] * N_c S_c i_c d_c + \gamma * d * N_q S_q i_q d_q + 0.5 * \gamma * B * N_{\gamma} S_{\gamma} i_{\gamma} d_{\gamma}$$

Datos		
Descripción	**Unidades**	**Valor**
Øsat	º	29,19
c	KPa	0
γ_{seco}	KN/m^3	16,68
W	%	14,32
$\gamma_{húmedo}$	KN/m^3	19,07
Df	m	0,00
B	m	0,07
L	m	0,07
β	º	0,00

Tabla 30: Datos para el Cálculo de Capacidad de Carga. Elaboración Propia.

Donde:

$$\boldsymbol{Nq} = tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{29.19 * \frac{\pi}{180}}{2}\right) e^{\pi \text{ ta}} \quad {}^{.19*\frac{\pi}{180}} = 16.80$$

$$\boldsymbol{Nc} = (9.88 - 1)\ cot\ 29.19 * \frac{\pi}{180} = 28.28$$

$$\boldsymbol{N\gamma} = e^{\left(\frac{1}{6}(\pi + 3\pi^2 \tan 39{,}62)\right)}\ tan^{\frac{2\pi}{5}} 39{,}62 = 12.79$$

$$\boldsymbol{F\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{0{,}07}{0{,}07}\right) = 0.6$$

$$\boldsymbol{Fcs} = 1 + \left(\frac{16.80 * 0.07}{28.28 * 0.07}\right) = 1.59$$

$$\Psi = 1 + 0.34 * \pi - 0.0031 * \pi^2 = 2.04$$

El valor del "$\emptyset_{sat}$" se obtiene del ensayo de Corte Directo en Condiciones Saturadas, cuyo valor es $\emptyset_{sat} = 29{,}19°$. De la misma manera, se determina la cohesión efectiva cuyo valor es de $0\ KPa$. Por otro lado, el valor de $(u_a - u_w)_b\ y\ (u_a - u_w)_{AVR}$ se obtiene de la matriz de succión generalizada presentada por Lu. Ning y Likos. William en el libro ¨Unsaturated Soil Mechanics¨ pág. 42. Adicionalmente, los valores de $(u_a - u_w)_b\ y\ (u_a - u_w)_{AVR}$ toman el mismo valor ya que se asume una misma saturación del suelo en todo el molde compactado.(Lu & Likos, 2004)

- **Contenido de humedad volumétrico, Θ**

El contenido de humedad volumétrico se determina a partir de la humedad encontrada en el material antes de ser compactado y se calcula en función del volumen del agua sobre el volumen del suelo.

$$\boldsymbol{\theta} = \frac{V_w}{V_s}$$

$$\boldsymbol{Vw} = \frac{m_w}{d_w}$$

$$\boldsymbol{Vs} = \frac{m_s}{d_s}$$

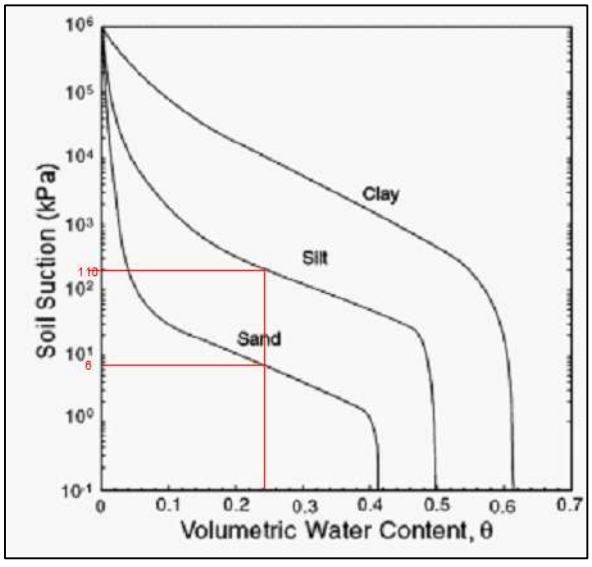
$$\boldsymbol{ms} = V_s * d_s = 0.48m * 0.48m * 0.343m * \frac{1690\ kg}{m^3} = 133.92\ kg$$

$$\boldsymbol{mw} = \left(ms * \left(1 + \frac{w\%}{100}\right)\right) - ms = (133.92kg * 1.1525) - 133.92\ kg = 20.42\ kg$$

$$\boldsymbol{\theta} = \frac{\frac{20.42\ kg}{997\frac{kg}{m^3}}}{\frac{133.92\ kg}{1610\frac{kg}{m^3}}} = 0.25$$

Con el valor del contenido volumétrico se obtiene el valor de la succión y matriz de succión. Para conocer su valor se utilizan las **"Curvas Generales para Suelos"** de ambas graficas a continuación, posterior a su lectura se realiza un promedio. De la primera gráfica se obtiene:

$$(\boldsymbol{u_a - u_w})_{\boldsymbol{b1}} = \frac{6 + 110}{2} = 58\ kPa$$



Gráfica 41: Curva SWCCs para arena, limo y arcilla. Tomado de Unsaturated Soil Mechanics, 2004, pág. 42

Por lo tanto, se obtiene el valore de Capacidad de Carga Ultima de Suelo Parcialmente Saturado "$\boldsymbol{q_{u_psat}}$":

$$\boldsymbol{q_{u_psat}} = [0 + 58\ kPa * (tan\ 29.19_{sat} - 0.4_r^{2.04} * tan\ 29.19_{sat}) + 58\ kPa * 0.4_r^{2.04} * tan\ 29.19_{sat}](28.28 * 1{,}59 * 1 * 1) + 0 + (0{,}5 * 19{,}07 * 0{,}07 * 12.79 * 0{,}6 * 1 * 1)$$

$$\boldsymbol{q_{u_psat}} = 1465.53\ KPa$$

8.2.2 Cálculo Teórico de Capacidad de Carga para Suelo Reforzado

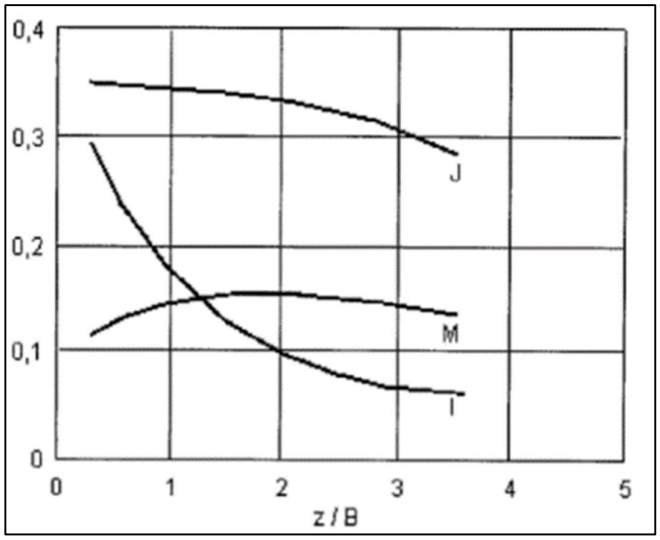
Para el cálculo teórico de la capacidad de carga de suelo reforzado se han utilizado las teorías de Binquet y Lee, y la teoría de Sharma, mencionadas en el capítulo 4.6. Los cálculos del incremento de la capacidad de carga, resultante por los refuerzos de geomallas, se los calculará como un **"ΔT",** que al final se sumará a la capacidad de carga calculada sin refuerzo, de manera que, se obtenga la capacidad de carga del suelo reforzado **"$\mathbf{q_{u(r)}}$"**. Por último, es importante aclarar, que se ocupa la fuerza de tensión longitudinal al 2 % de deformación de la geomalla que posee un valor de 4.1 kN/m2 obtenido de la ficha técnica de las geomallas. Además, se considerará el qu calculado para suelos no saturados ya que es el más cercano al valor obtenido en la gráfica.

8.2.2.1 Método de Binquet y Lee

El incremento de esfuerzo en la capacidad de carga se define en la siguiente ecuación:

$$\Delta T = \left(\frac{N * T}{J * B - I * \Delta h}\right)$$

Donde los valores de J e I se obtienen extendiendo las líneas de la siguiente figura considerando la relación z/B, en este caso se han considerado sus máximos valores.



Gráfica 42: Factores adimensionales I, M, J. Tomado de: Egoavil y Gonzáles, 2012, p.737.2.

De la figura se obtiene que los valores de I y J son aproximadamente 0.35 y 0.35, respectivamente, se colocaron en el suelo 3 capas de refuerzo (N), la fuerza de tensión es de 4.1 kN/m (T), el ancho de la zapata es 0.07 m (B) y la distancia entre geomallas es de 0.021 m (Δh). Se obtiene:

$$\Delta \boldsymbol{T} = \left(\frac{3 * 4.1 \frac{kN}{m}}{0.35 * 0.07m - 0.35 * 0.021m} \right)$$

$$\Delta \boldsymbol{T} = 717.20 \frac{kN}{m^2}$$

Por lo tanto, la capacidad de carga del suelo reforzado q(r) va a ser igual a

Capacidad de Carga:

$$\boldsymbol{q_{u(r)}} = q_u + \Delta T$$

$$\boldsymbol{q_{u(r)}} = 1465.53 \frac{kN}{m^2} + 717.20 \frac{kN}{m^2}$$

$$\boldsymbol{q_{u(r)}} = 2182.73\frac{kN}{m^2}$$

8.2.2.2 Método de Sharma

Usando el mecanismo de rotura dentro de la zona reforzada, el incremento de esfuerzo en la capacidad de carga se define en la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{4 * T_i * [u + (i-1) * h]}{B^2}$$

Conociendo que se ocuparon 3 capas de refuerzo (N), la fuerza de tensión es de 4.1 kN/m (T), el ancho de la zapata es 0.07 m (B), la distancia entre geomallas es de 0.021 m (h) y la distancia entre la cimentación y la primera capa de refuerzo es 0.021m (u). Se obtiene:

$$\Delta \boldsymbol{T} = \frac{4 * 4.1\frac{kN}{m} * [0.021m + (1-1) * 0.021]}{0.07^2} + \frac{4 * 4.1\frac{kN}{m} * [0.021m + (2-1) * 0.021]}{0.07^2} + \frac{4 * 4.1\frac{kN}{m} * [0.021m + (3-1) * 0.021]}{0.07^2}$$

$$\Delta \boldsymbol{T} = 70.29\frac{kN}{m^2} + 140.57\frac{kN}{m^2} + 210.86\frac{kN}{m^2}$$

$$\Delta \boldsymbol{T} = 421.71\ \frac{kN}{m^2}$$

Por lo tanto, la capacidad de carga del suelo reforzado es:

Capacidad de Carga:

$$\boldsymbol{q_{u(r)}} = q_u + \Delta T$$

$$\boldsymbol{q_{u(r)}} = 1465.53\frac{kN}{m^2} + 421{,}71\frac{kN}{m^2}$$

$$\boldsymbol{q_{u(r)}} = 1887.24\ \frac{kN}{m^2}$$

8.2 Cálculo de Capacidad de Carga mediante el Programa OPTUM G2

Adicionalmente, se realizó un modelado 2D del ensayo realizado con los parámetros del suelo que se involucran en el cálculo (medidas geométricas, ángulo de fricción, cohesión aparente y peso unitario del suelo), de manera que se pueda observar el comportamiento del suelo. Adicionalmente, se verificó el cálculo de la capacidad de carga mediante diferentes métodos.

El modelo utilizado fue el siguiente:

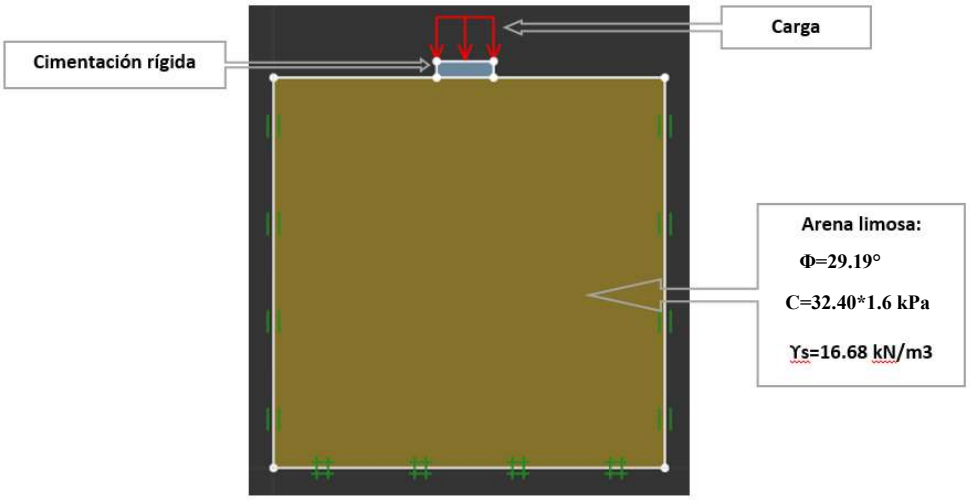


Figura 56: Modelo 2D utilizado en el programa de cálculo Optum G2. Obtenido del programa Optum G2

En el modelo 2D se puede apreciar el material granular de color café, colocado en un espacio de dimensiones de 48cm*48cm. Además, de tener la placa metálica ubicada en la parte superior de color gris, esta placa en el programa se la modeló como rígida y se desprecia su peso. Por

último, se colocó una carga distribuida sobre la placa, la cual se establece con un multiplicador que se incrementa hasta llegar a la falla del suelo.

La cohesión utilizada para el cálculo es la cohesión aparente obtenida de la ecuación de qu para suelos no saturados:

$$c = [0 + 58\ kPa * (tan\ 29.19_{sat} - 0.4_r^{2.04} * tan\ 29.19_{sat}) + 58\ kPa * 0.4_r^{2.04} * tan\ 29.19_{sat}] = 32.40\ kPa$$

Al ingresar la cohesión al programa Optum G2 se la multiplico por el factor de forma con un valor de 1.6 debido a que nuestro modelo real es una zapata cuadrada, y en el programa del Optum G2 únicamente modela en 2 dimensiones considerando como una zapata continua.

8.2.1 Cálculo de Capacidad de Carga para Suelo No Reforzado

En este programa existen varias maneras de calcular la capacidad de carga, de las cuales se ocupó dos métodos:

8.2.1.1 Métodos de Cálculo Aplicando la Teoría Elástica

8.2.1.1.1 Primer Método de Cálculo

El primer método realiza un cálculo iterativo para encontrar valores por debajo (Lower) y por encima (Upper) del valor real, para posteriormente sacar un valor aproximado medio. Para realizar este cálculo se ocuparon 8000 elementos para la generación de la malla, y 4 iteraciones, los valores resultantes fueron los siguientes:

8.2.1.1.1.1 Cálculo del Valor Superior (Upper)

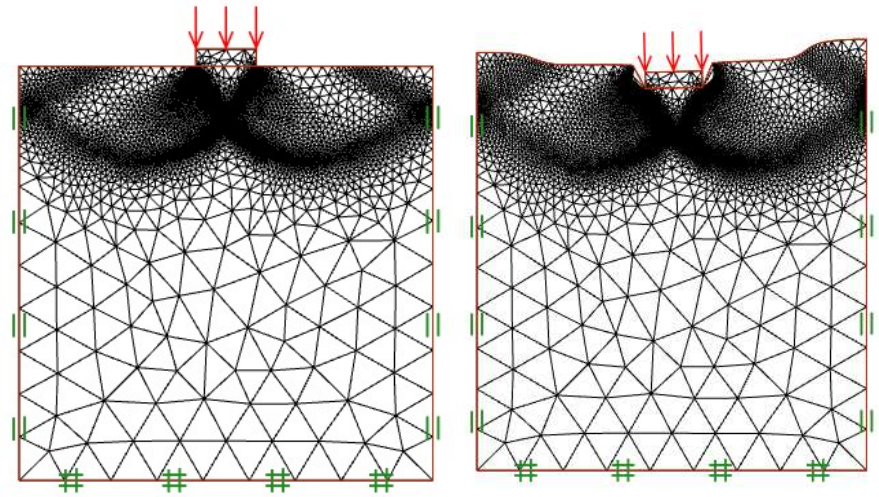


Figura 57: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2

El cálculo del valor superior dio como resultado 1505.33 kPa.

8.2.1.1.1.2 Cálculo del Valor Inferior (Lower)

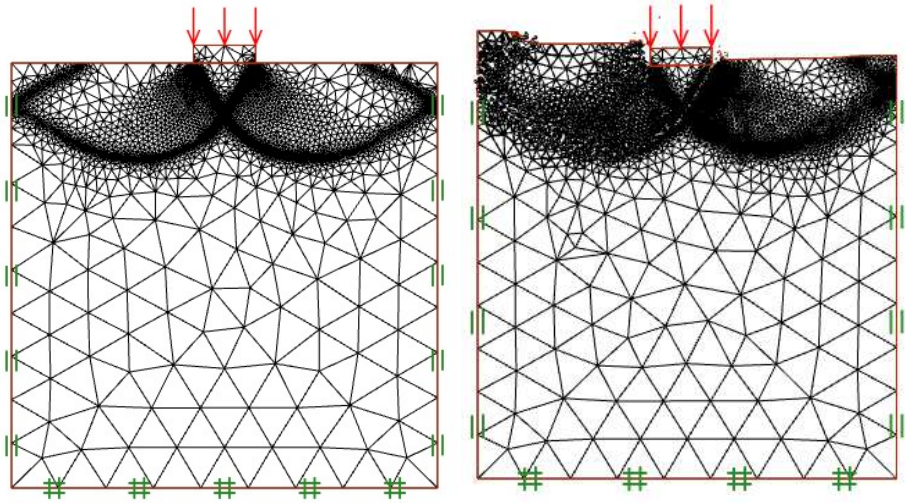


Figura 58: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.1. Obtenido del programa Optum G2

El cálculo del valor inferior dio como resultado 1438.93 kPa.

8.2.1.1.1.3 Cálculo del Valor Medio (qu)

Por lo tanto, la capacidad de carga se encuentra entre:

$$1438.93\ kPa < q_u < 1505.33\ kPa$$

Por lo que se procede a calcular el qu, con el promedio de los dos

$$qu = 1472.13 \pm 2.3\%$$

Como se puede observar con esta iteración se posee un error del 2.3 % entre los valores límites y el valor de qu medio, si se desea disminuir el valor del porcentaje solo se tiene que añadir más elementos, y/o más iteraciones.

8.2.1.1.2 Segundo Método de Cálculo

El segundo método, aplica el método de cálculo de Gauss, método el cual determina un valor aproximado al valor de capacidad de carga real. Para este cálculo se utilizaron 15 nodos de gauss, 8000 elementos para la generación de la malla y cuatro iteraciones, los resultados obtenidos son los siguientes:

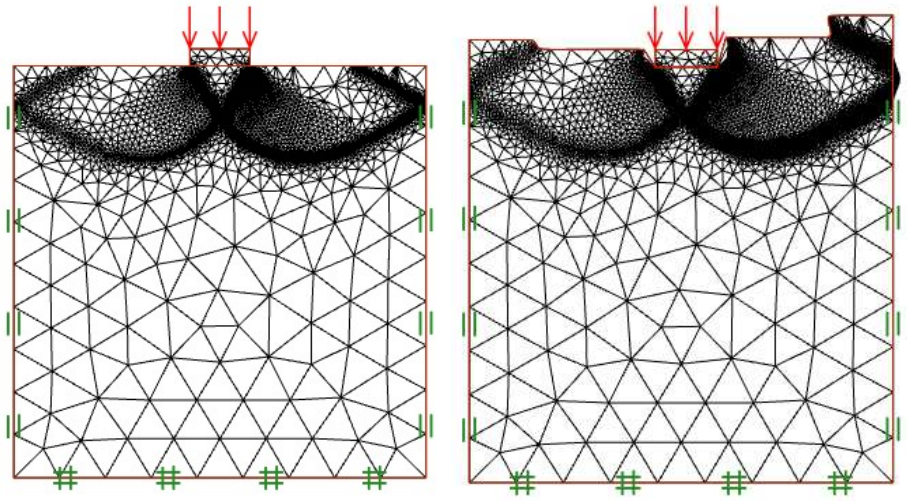


Figura 59: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2

El resultado del qu es igual a:

$$qu = 1483.54\ kPa$$

Como se pudo notar en los cálculos teóricos y del modelado, la capacidad portante del suelo resulta similar al cálculo de capacidad última realizado para suelos no saturado (inciso 7.2.1.2). Por lo que, se procederá a modelar en el Optum G2 los arreglos de geomallas utilizados para poder observar los resultados y comportamiento del suelo.

8.2.2 Cálculo de la Capacidad de Carga para Suelo Reforzado

Para reducir los resultados mostrados únicamente se colocará el cálculo por el método de Gauss. Adicionalmente, se definió usar 4.1 kN/m como valor de la fuerza de fluencia de la geomalla con deformación del 2%, de acuerdo a las fichas de la geomalla biaxial BX(Tensar, 2018). Además, se ocupará la misma fuerza de fluencia para la geomalla biaxial y multiaxial, debido a que el material que conforma las geomallas es el mismo y el área de geomalla utilizada es similar. Para realizar este cálculo se ocuparon 8000 elementos para la generación de la malla, y 4 iteraciones.

8.2.2.1 Capacidad de Carga del Suelo con Distribución Uniforme de Geomallas

La capacidad de carga obtenida con la distribución uniforme es de 1844.64 kPa

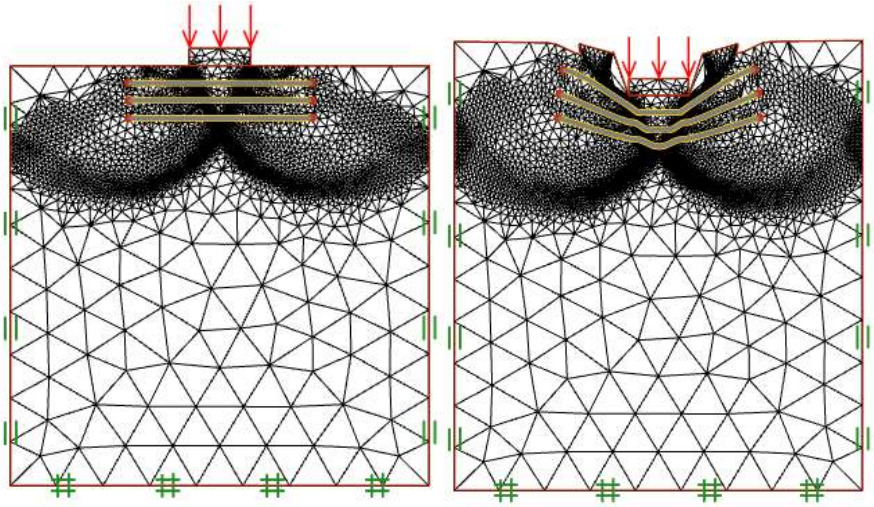


Figura 60: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2

8.2.2.2 Capacidad de Carga del Suelo con Distribución Trapezoidal de Geomallas

La capacidad de carga obtenida con la distribución uniforme es de 1803.71 kPa

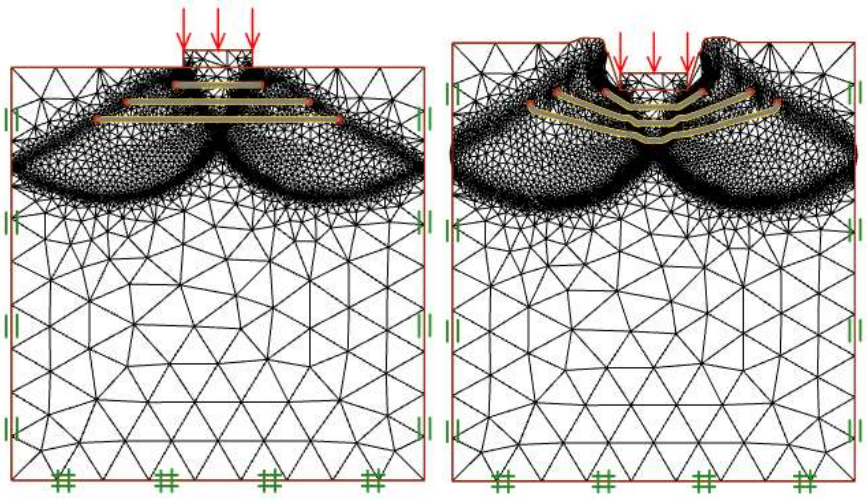


Figura 61: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2

8.2.2.3 Capacidad de Carga del Suelo con Distribución Trapezoidal Invertida

La capacidad de carga obtenida con la distribución uniforme es de 1839.61 kPa

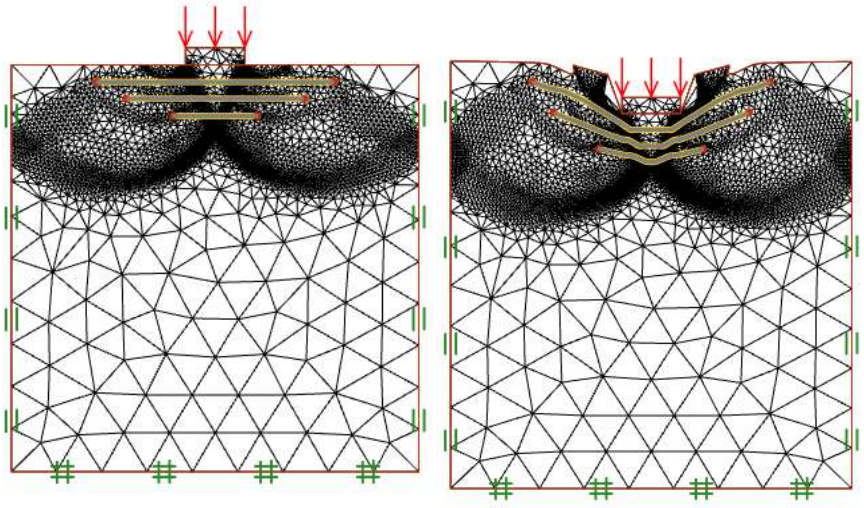


Figura 62: Modelo 2D y deformación de la malla a escala 0.05. Obtenido del programa Optum G2

8.2.2.4 Resultados Optum G2

Resultados Optum G2			
Descripción	**Esfuerzo Máximo (KPa)**	**BCR**	**BCR%**
SG	1483.54		
DU	1844.64	1.24	24%
DT	1803.71	1.22	22%
DTI	1839.61	1.24	24%

Tabla 31: Resultados Optum G2. Elaboración propia

8.3 Resumen de Resultados Experimentales, Resultados Numéricos y Resultados Teóricos

Una vez determinada la capacidad de carga del suelo reforzado y no reforzado, se ha realizado un cuadro de resumen que engloba los resultados obtenidos utilizando formulas teóricas, los resultados experimentales y los resultados numéricos de cada una de las muestras ensayadas con distintas distribuciones de geomalla.

	Resultados experimentales		**Resultados Optum G2**	**Resultados teóricos**	
Descripción	**Esfuerzo Máximo (KPa)**	**Desplazamiento (mm)**	**Esfuerzo Máximo (KPa)**	**Esfuerzo Máximo (KPa)-M. Binquet y Lee**	**Esfuerzo Máximo (KPa)- M. Sharma**
SG	1800.0	**5.0**	1483.54	1465.53	1465.53
DU (B)	2010.0	8.0	1844.64	2182.73	1887.24
DT (B)	2450.0	9.3	1803.71		
DTI (B)	2200.0	6.0	1839.61		
DU (M)	2300.0	6.0	1844.64		
DT (M)	2400.0	8.5	1803.71		
DTI (M)	2300.0	9.8	1839.61		

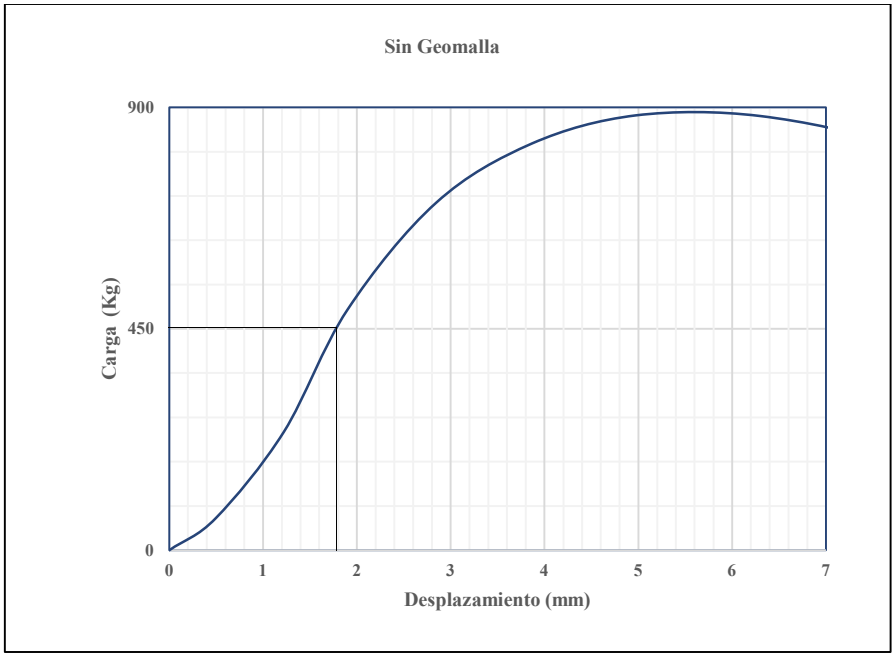
Tabla 32: Resumen de Resultados Experimentales, Numéricos y Teóricos. Elaboración Propia.

El análisis y comparación de los resultados de la investigación, se realizará en base a las gráficas obtenidas de Carga (Kg) vs. Desplazamiento (mm) y Esfuerzo (KPa) vs Desplazamiento (mm). De igual manera, se analizan y comparan las gráficas de S/B (%) vs Esfuerzo (KPa), únicamente en la relación porcentual de 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Por último, se realiza la comparación de los bulbos de presión generados; en el rango elástico, por

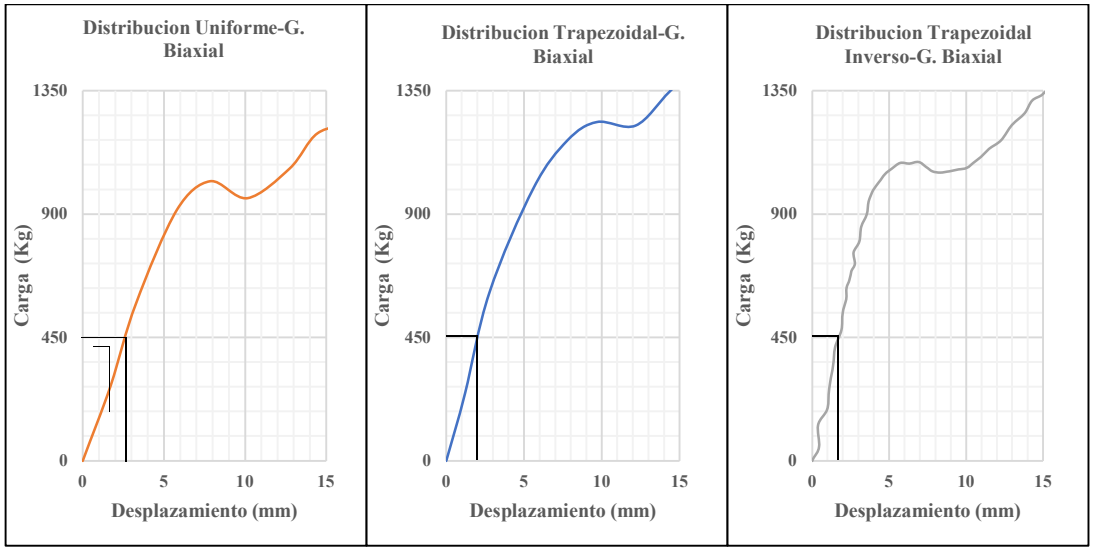
la distribución de esfuerzos para cada muestra con su respectivo refuerzo de geomalla, de manera que se tenga una referencia acerca de los esfuerzos producidos en el comportamiento elástico del suelo. Las tablas y gráficas completas del análisis se adjuntan en la sección de anexos para justificar la información aquí presentada. Adicionalmente se adjuntan las curvas de Carga (Kg) vs. Desplazamiento (mm) obtenidas con el método de verificación.

8.4 Gráficas de Disipación de Esfuerzo (kg/cm^2) vs Profundidad (cm)

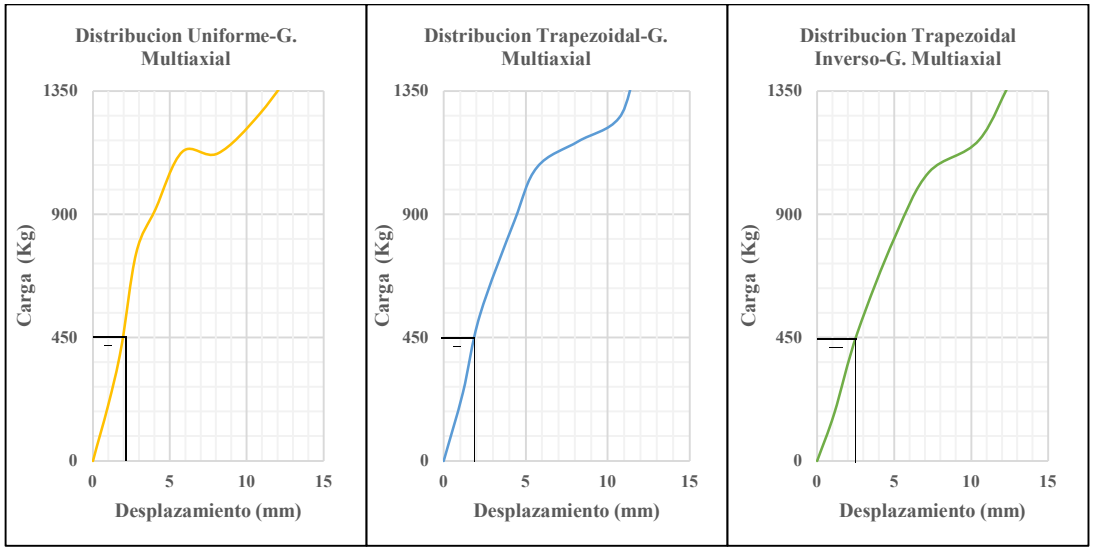
A continuación, se grafican los bulbos de presión generados debido a la aplicación de la carga encontrada; en el rango elástico, en cada muestra con y sin reforzamiento. Para tener una referencia global se tomó la carga de 450 kg obtenida de cada gráfico de los ensayos realizados.



Gráfica 43: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.



Gráfica 44: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.



Gráfica 45: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.

En los gráficos de los bulbos de presiones, en sentido horizontal se encuentra la dimensión de la caja (48 cm) al igual que en sentido vertical se ubica la profundidad de disipación (48 cm), dentro de la gráfica se ubican los valores de esfuerzo obtenidos mediante la expresión de Boussinesq para cada profundidad. En la parte superior de la figura se denota la dimensión de

la placa utilizada para transmitir la carga (color gris) y las geomallas colocadas para cada arreglo se denotan con color celeste.

8.4.1 Bulbo de Presiones - SG

Fuerza Aplicada: 450 kg

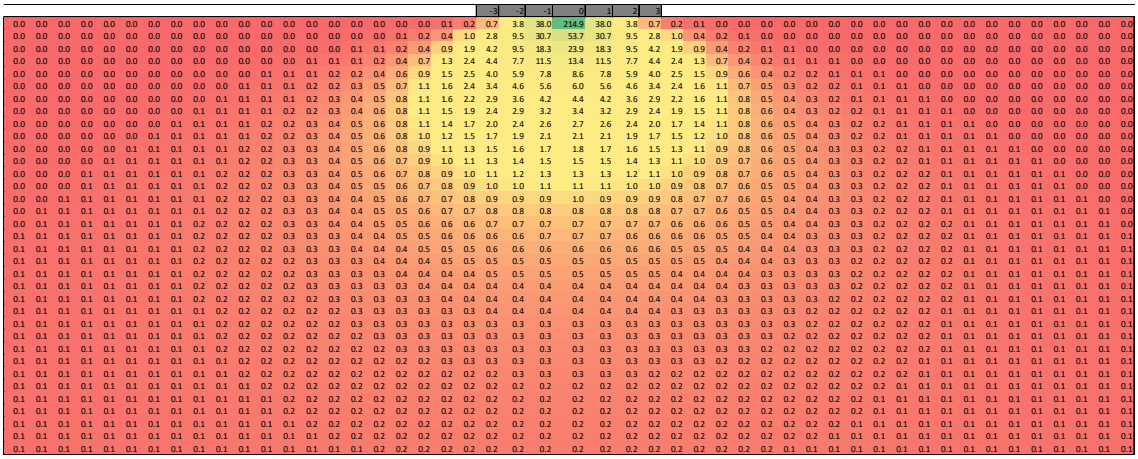


Figura 63: Bulbo de Presiones – SG. Elaboración Propia

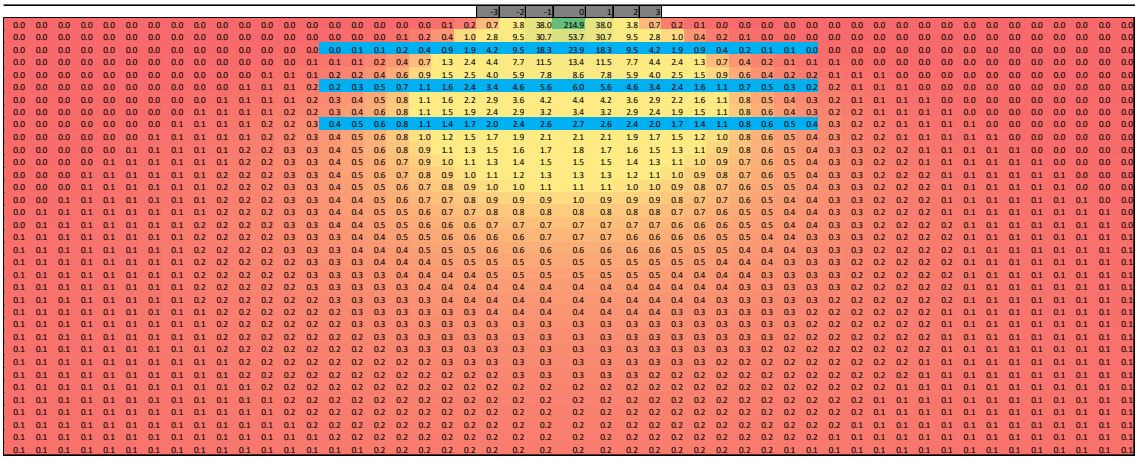


Figura 64: Bulbo de Presiones – DU (B). Elaboración Propia

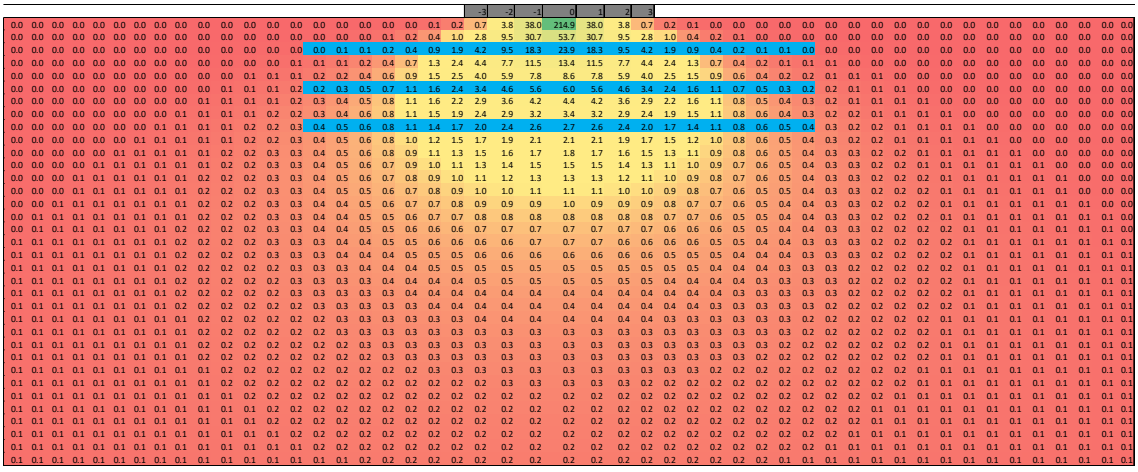


Figura 65: Bulbo de Presiones – DU (M). Elaboración Propia

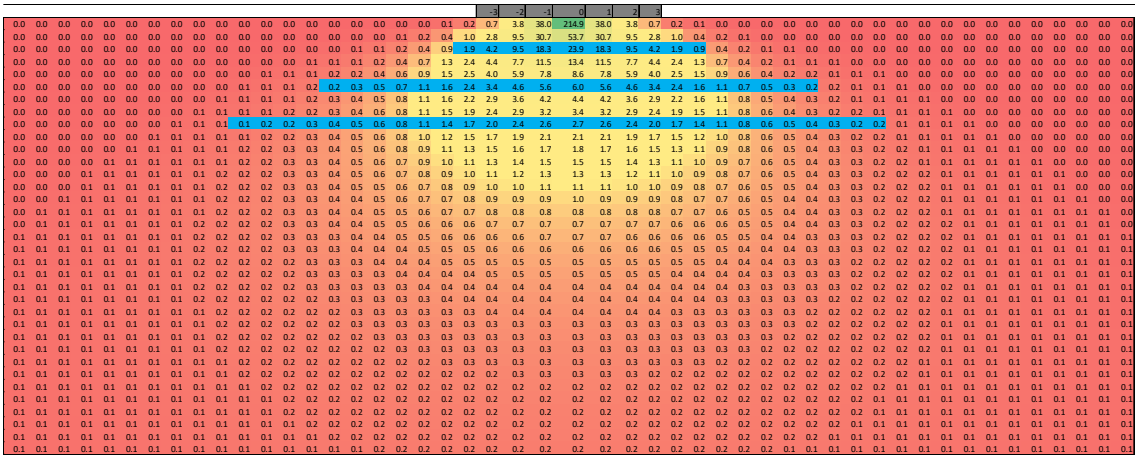


Figura 66: Bulbo de Presiones – DT (B). Elaboración Propia

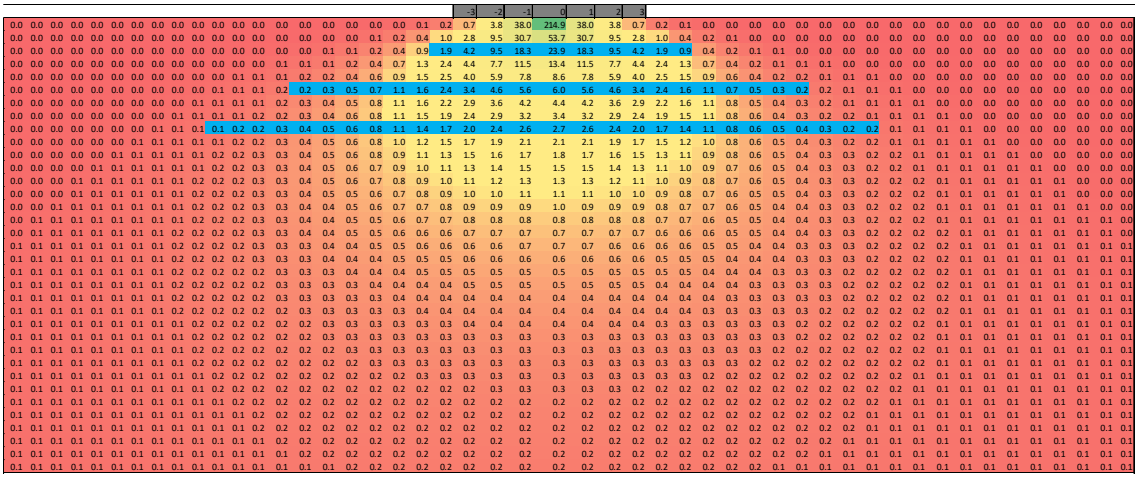


Figura 67: Bulbo de Presiones – DT (M). Elaboración Propia

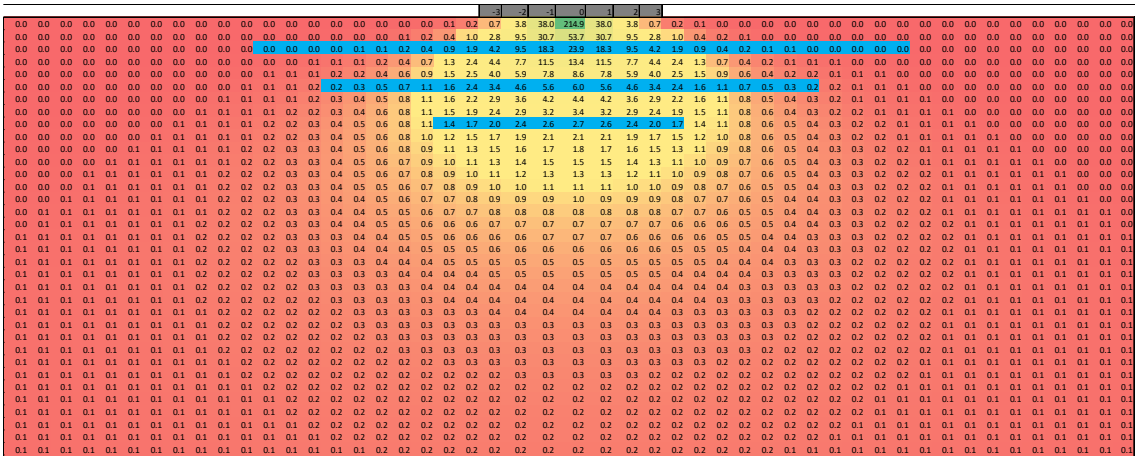


Figura 68: Bulbo de Presiones – DTI (B). Elaboración Propia.

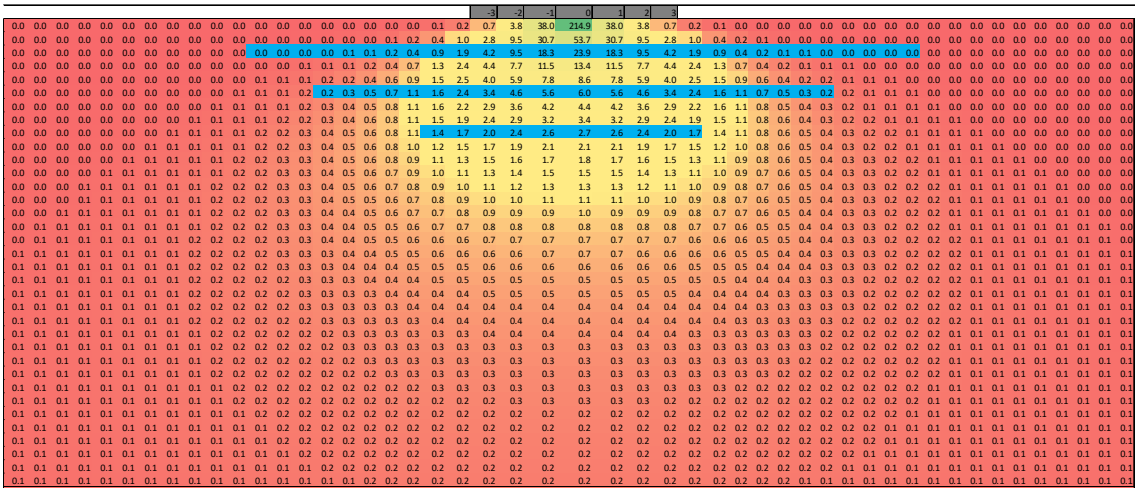
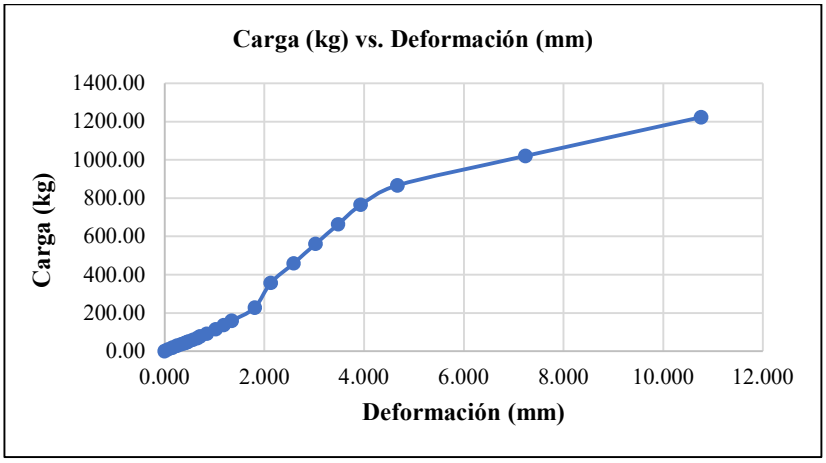


Figura 69: Bulbo de Presiones – DTI (M). Elaboración Propia.

8.5 Gráficas obtenidas mediante los ensayos de verificación

8.5.1 Gráfica y Datos de la curva Carga (kg) vs Desplazamiento (mm) para la muestra con S=64.15%

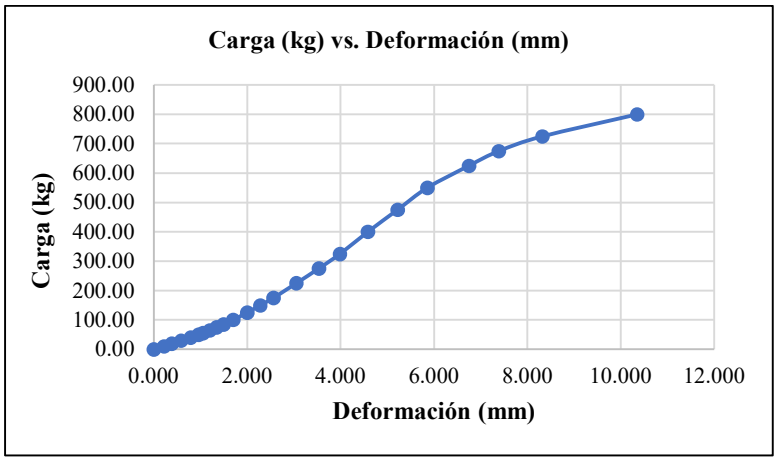


Gráfica 46: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.

Deformación (mm)	Carga (kg)
0.000	0.00
0.063	9.09
0.156	18.18
0.246	27.27
0.329	36.36
0.392	40.91
0.435	45.45
0.474	50.00
0.566	59.09
0.656	68.18
0.711	77.27
0.842	90.91
1.021	113.64
1.186	136.36
1.345	159.09
1.806	227.27
2.125	356.90
2.587	458.87
3.028	560.84
3.479	662.81
3.934	764.78
4.670	866.75
7.238	1019.70
10.763	1223.64

Tabla 33: Datos para la elaboración de la curva. Elaboración Propia.

8.5.2 Gráfica y Datos de la curva Carga (kg) vs Desplazamiento (mm) para la muestra con S=83.87%



Gráfica 47: Carga vs. Desplazamiento. Elaboración Propia.

Deformación (mm)	Carga (kg)
0.000	0.00
0.218	10.00
0.384	20.00
0.583	30.00
0.793	40.00
0.957	50.00
1.058	55.00
1.198	65.00
1.348	75.00
1.492	85.00
1.698	100.00
2.001	125.00
2.281	150.00
2.564	175.00
3.050	225.00
3.533	275.00
3.988	325.00
4.586	400.00
5.220	475.00
5.862	550.00
6.747	625.00
7.391	675.00
8.323	725.00
10.354	800.00

Tabla 34: Datos para la elaboración de la curva. Elaboración Propia.

8.5.3 Resumen de los resultados del ensayo de verificación

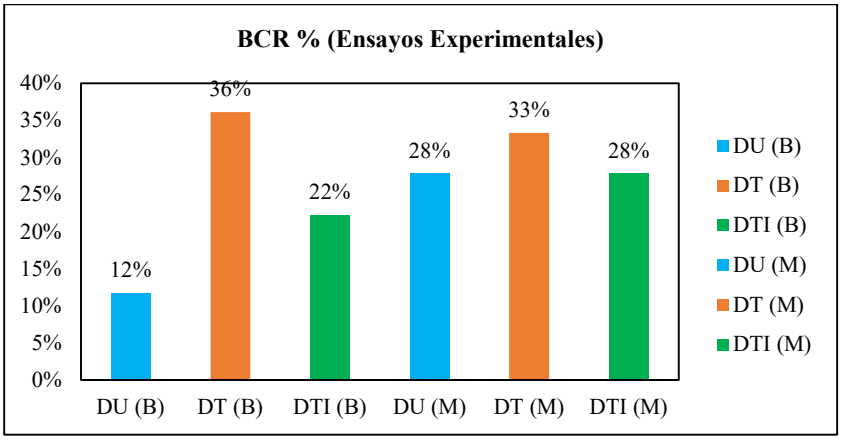
Resultados de verificación			
Descripción	**Carga máxima (kg)**	**Esfuerzo Máximo (KPa)**	**Desplazamiento (mm)**
Muestra 1 S=64.15%	866.75	1735.27	4.67
Muestra 2 S=83.87%	550.00	1101.12	5.86

Tabla 35: Resumen de los ensayos de verificación. Elaboración Propia.

Como se puede observar la muestra 1, que se realizó en las condiciones similares a los ensayos realizados con anterioridad en la Tinius, dan resultados de esfuerzo similares (Ensayo de verificación=1735.27 kPa vs Ensayo Tinius=1800 kPa), por lo que se asegura que los resultados obtenidos son correctos. Adicionalmente, el ensayo de la Muestra 2 se lo realizó con la intención de aumentar la saturación del suelo, de manera que disminuya el efecto de succión, y por ende disminuya el esfuerzo último. Como el valor del esfuerzo máximo disminuye, se puede asegurar que existe un efecto de succión en los ensayos realizados, que elevan la capacidad última del suelo.

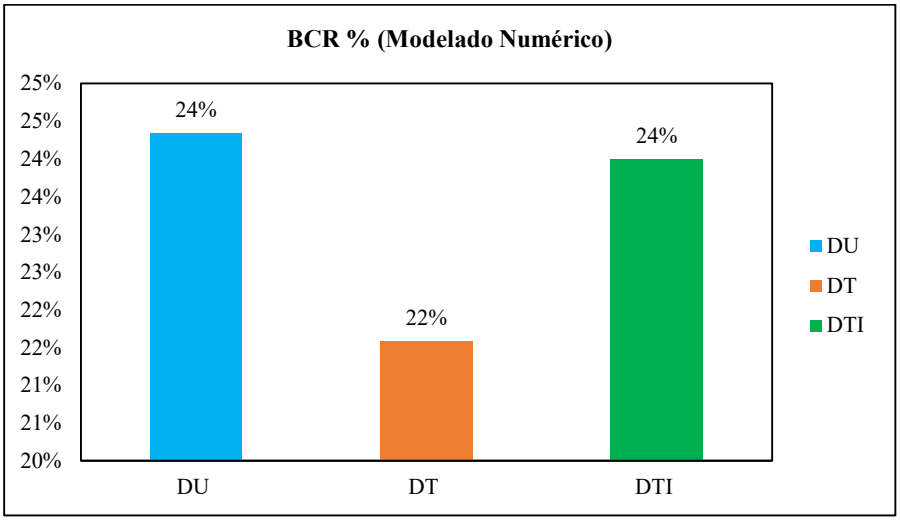
8.6 Comparación de resultados experimentales, teóricos y numéricos

A continuación, se analizará y comparará los resultados obtenidos de los cálculos teóricos y numéricos realizados. Para facilitar la comparación de resultados se realizó gráficos del porcentaje de incremento de capacidad de carga los cuales se muestran a continuación:



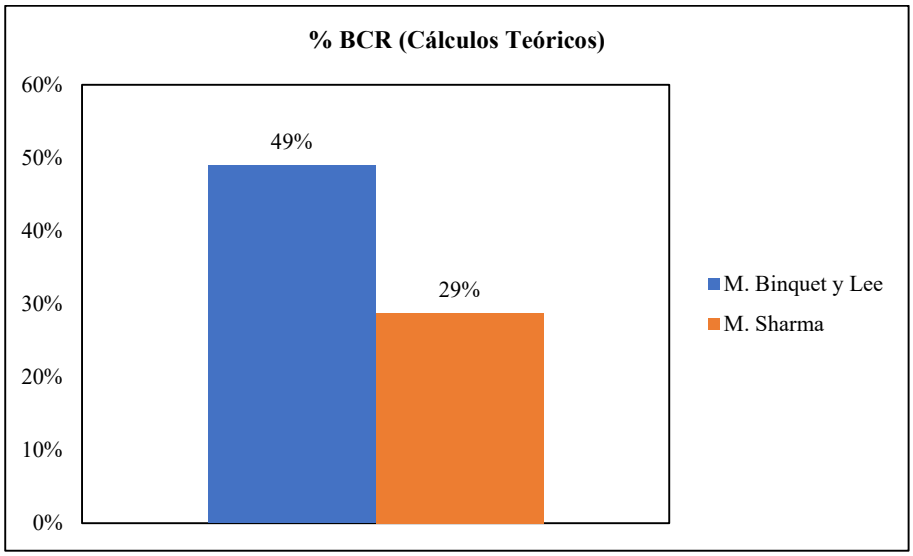
Gráfica 48: Grafico de barras del porcentaje de incremento de la capacidad de carga (BCR%) de los datos experimentales. Elaboración Propia.

Respecto a los ensayos experimentales se puede decir que la distribución trapezoidal presentó un mayor incremento en la capacidad última del suelo, tanto en los arreglos con geomalla biaxial y en los arreglos con geomalla multiaxial. Adicionalmente, la geomalla biaxial presenta un incremento del 3% sobre la geomalla multiaxial cuando se ocupa un arreglo Trapezoidal. Por otro lado, la geomalla multiaxial posee un mayor incremento en la capacidad de carga del suelo cuando se ocupa un arreglo de distribución uniforme y cuando se ocupa un arreglo de distribución trapezoidal inverso.



Gráfica 49: Grafico de barras del porcentaje de incremento de la capacidad de carga (BCR%) de los datos del modelamiento numérico. Elaboración Propia.

Respecto al modelado numérico se puede decir existe un incremento aproximado del 23% independientemente del tipo de arreglo de geomalla utilizado. Además, como los porcentajes de incremento son muy cercanos, no se podría definir qué tipo de arreglo es más beneficioso.



Gráfica 50: Grafico de barras del porcentaje de incremento de la capacidad de carga (BCR%) de los cálculos teóricos. Elaboración Propia.

Respecto a los cálculos teóricos, se puede decir que el Método de Sharma es más conservador, que el Método de Binquet y Lee, ya que con el Método de Binquet y Lee aproximadamente se duplica el incremento de carga encontrado con el Método de Sharma. Adicionalmente, del Método de Sharma da resultados similares a los encontrados en el modelado numérico. Sin embargo, como en estas teorías no se consideró la longitud de las geomallas, los resultados varían con diferencia con los resultados experimentales obtenidos, pero, si se requiere hacer un cálculo intuitivo de la capacidad que va a aportar las geomallas, sería recomendable usar el Método de Sharma, ya que da un resultado conservador.

Capítulo 9: Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

Las conclusiones se dividirán en referencia de los capítulos presentados en la tesis:

Capítulo 2 – El Suelo y los Suelos Granulares

- De acuerdo con la Norma SUCS, se pudo determinar que el material utilizado en la investigación es Arena Pobremente Gradada con Limo (SP-SM), constituida de un 1% de grava, un 89% de arena y un 10% de finos correspondiente a partículas de limo. Además, la naturaleza del material provoca que no se logre compactar correctamente el suelo, ya que al aplicar la carga se produce punzonamiento en el suelo y posteriormente se produce una falla local.
- La arena utilizada, es una arena de color café, que se encuentra en un estado con poca humedad, no posee restos de materia orgánica, su consistencia es suave y posee una estructura homogénea. El tamaño predominante de partículas es de arena mediana, y es un material no plástico. Adicionalmente, la densidad seca máxima es de 1.87 g/cm3 con una humedad óptima de 13.3.% y la gravedad especifica es de 2.61.

Capítulo 3 – Geo-sintéticos y Geomallas

- De los diferentes tipos de geo sintéticos se ha utilizado geomallas de polipropileno del tipo biaxial y multiaxial, las cuales se pueden ocupar para dar un efecto de confinamiento a las partículas del suelo, reparar fallas de taludes, reforzar suelos blandos, refuerzos de cimentaciones entre otros usos.
- Se optó por el reforzamiento del suelo con las geomallas debido a que la disposición de las costillas de las geomallas permite una trabazón con las partículas del suelo,

produciendo una estructura suelo-geomalla que otorga una resistencia adicional a la capacidad portante del suelo, objetivo primordial de la investigación.

Capítulo 4 – Cimentaciones y Capacidad de Carga

- El reforzamiento de suelos con geomallas de esta investigación ha sido desarrollado para cimentaciones superficiales, debido a la complejidad que abarca la implementación de áreas de geomalla en altas profundidades del suelo.
- La teoría para la determinación de capacidad de carga última del suelo ha sido desarrollada considerando una condición de suelo saturado, sin embargo, en nuestra investigación al presentar un suelo en una condición parcialmente saturada se ha utilizado la teoría de capacidad de carga última modificada para un suelo parcialmente saturado, donde se involucran parámetros como la matriz de succión, cohesión aparente, porcentaje de saturación del suelo y el ángulo de fricción saturado.
- Para la determinación de la capacidad de carga última de un suelo reforzado con geomallas, se implementó la metodología de Binquet y Lee, y la metodología de Sharma, donde, únicamente se calcula un incremento de esfuerzo (ΔT), el cual se adiciona a la capacidad de carga última del suelo sin reforzar.
- Cabe recalcar que en la zona reforzada la falla que se genera en el suelo no se ve afectada por la disposición del geo sintético, por lo contrario, se mantiene la forma de falla propuesta por Terzaghi. Además, la geomalla se considera como parte de la estructura del suelo que trabajará cuando este empiece a fallar.

Capítulo 5 – Metodología de Investigación

- El proceso de compactación mediante una carga estática se eligió porque reducía el tiempo de realización de los ensayos y evitaba el uso de una compactación dinámica

con un instrumento mecánico, que podía dañar la estructura de la caja metálica. Además, el molde metálico se lo eligió en base a las altas cargas de compactación a las cuales se sometía el suelo para llegar a la altura designada.

- La metodología de verificación fue implementada para ser comparada con los resultados obtenidos en la máquina Tinius Olsen (máquina universal), de manera que se sustenten los valores obtenidos y se verifique que los ensayos fueron correctamente realizados. De igual forma, se realizó un ensayo con una saturación del 83.87%, saturación mayor a la presente en los ensayos de prueba, para confirmar la presencia de succión en el suelo. Cerciorando un decremento de carga de un 866.75 kg a 550.00 kg, producido por la reducción del efecto de succión.

Capítulo 6 – Ensayos de Laboratorio del Suelo

- Al realizar los ensayos de corte se refleja como en un suelo granular saturado no existe una cohesión por lo que la capacidad de carga depende del ángulo de fricción, el cuál es menor que en condiciones no saturadas. Al contrario, cuando se realiza un corte en condiciones parcialmente saturadas, el ángulo de fricción incrementa, y se genera una cohesión aparente.
- Con los ensayos de densidad natural se confirma que el porcentaje de compactación utilizado se encuentra en el rango de 86 % ± 3%, establecido previamente. Así mismo, con el ensayo de Proctor Modificado se pudo confirmar la textura del material al compactarlo a la densidad seca máxima y constatar el acomodo no uniforme de las partículas.
- De acuerdo con las gráficas de Carga Axial vs. Desplazamiento se contempla que las curvas siguen una misma tendencia, por ello, los resultados son comparables debido a que las condiciones de cada ensayo son similares.

Capítulo 7 – Cálculos Teóricos y Modelamiento Virtual

- La capacidad de carga última de un suelo parcialmente saturado se determinó mediante el cálculo de una cohesión aparente la cual involucra parámetros de succión y parámetros de condiciones saturadas.
- Realizar un modelado numérico o aplicar un cálculo teórico de la capacidad de carga con la teoría de Sharma, brinda la posibilidad de conocer un valor aproximado del incremento de carga, el cual se lo puede utilizar para el prediseño de una estructura. Adicionalmente, estos valores serían conservadores en cuanto al incremento de carga real que se produce.
- Utilizando la herramienta Optum G2 se realiza una simulación del comportamiento de los modelos de prueba, de manera que se observe el comportamiento del suelo junto a las geomallas.

Capítulo 8 – Análisis y Comparación de Resultados

- De acuerdo con las gráficas obtenidas de las pruebas de carga, se determina que a partir de los 10 mm de desplazamiento de la cimentación se observa un incremento considerable entre la resistencia que aporta la geomalla multiaxial sobre la geomalla biaxial. Por otro lado, antes de este desplazamiento la resistencia de las geomallas es similar.
- El arreglo trapezoidal de geomallas que aporta el mayor incremento de capacidad de carga, con un incremento del 36% al utilizar la geomalla biaxial, y un incremento del 33% al utilizar la geomalla multiaxial. Adicionalmente, resulta más económico utilizar este tipo de arreglo, por lo que existe un ahorro en la cantidad de material utilizado.
- Se planteó analizar los esfuerzos en el rango elástico previo a la rotura del suelo, de manera que se pueda anticipar el comportamiento del suelo reforzado con geomallas, y

a través de esta distribución de esfuerzos conocer la ubicación de las geomallas dentro del bulbo de presión. Sin embargo, la interacción entre el suelo-geomalla se genera cuando el suelo tiende a fallar, por ende, este análisis resulto inadecuado.

9.2 Recomendaciones

- El área de investigación del uso de geomallas como refuerzo en obras civiles, es un campo muy amplio en el cual se puede seguir investigando las aplicaciones y métodos de mejora de suelos y estructuras con geomallas. Por lo que, se recomienda a futuros investigadores analizar, la eficiencia de la implementación de geomallas en función del espesor de la capa de reforzamiento, además, de ser posible realizar ensayos a escala real, para obtener datos prácticos para aplicar en obras. Adicionalmente, este trabajo de investigación brinda una pauta para realizar futuros estudios relacionados al campo de suelos y geotecnia, ejemplificando, el análisis del efecto de las geomallas para reducir asentamientos diferenciales en suelos de estructura no homogénea.

  De igual manera, se recomienda realizar una investigación a un mayor porcentaje de compactación del suelo, de manera que se pueda determinar y obtener una falla generalizada en el suelo, con lo que se pueda observar cómo se deforma el suelo, y en qué puntos las geomallas empiezan a brindar resistencia a la capacidad de carga del suelo.
- La presente investigación da una pauta de las cargas máximas que se aplicaron al suelo. De manera que en el futuro se pueda diseñar un molde seguro, estable en el cual se eviten fisuras en sus conexiones, de tal forma, que sus resultados no se vean afectados por la fatiga que sufra el material durante el ensayo.
- De acuerdo con los resultados de compactación y ensayos posteriores realizados en el modelo y debido a la naturaleza del material utilizado (SP-SM), se recomienda utilizar

un material bien gradado, como una arena con porcentaje de finos considerable para que exista un mejor reacomodo de partículas durante el proceso de compactación. Adicionalmente, otra alternativa a implementar es la eliminación de material fino del suelo para descartar el efecto de presión negativa entre las partículas del material (succión) y obtener valores menores de capacidad de carga última del suelo.

- Debido a que el suelo ensayado es una "Arena mal gradada con limo" la fuerzas de compactación estática utilizadas permitió alcanzar porcentajes bajos de compactación, si se requiere un grado de compactación mayor será necesario utilizar un mecanismo de compactación dinámica (Proctor Modificado) que ayude a un mejor reacomodo de partículas, o aplicar mayores fuerzas de compactación estática.
- Sería interesante realizar la aplicación de carga axial a distintas velocidades, para observar el efecto que tiene la velocidad del ensayo sobre el modelo de prueba y la capacidad portante del suelo.
- Es recomendable, utilizar una placa rígida que sustituya a la placa de madera empleada en el proceso de compactación estática, con ello, se evita una compactación no homogénea del suelo.
- Es recomendable realizar los ensayos de corte directo y densidad natural para cada modelo de prueba ensayado, con el fin de verificar que las propiedades del material son las estipuladas previamente y poder comparar los resultados en iguales condiciones de compactación.
- Es necesario determinar la matriz de succión del suelo utilizado ya que los valores empleados en la investigación están basados en "Curvas Características Representativas del Suelo-Agua para arena, limo y arcilla". Una vez encontrado el valor

real de succión del suelo, se podrá aplicar de mejor manera la teoría de suelos parcialmente saturados e interpretar su efecto en el suelo.

- A partir de la investigación realizada se pueden realizar mejoras referentes a los parámetros y metodologías utilizadas, de manera que, los procedimientos y instrumentos utilizados en el ensayo se empleen de una manera más eficiente.

Capítulo 10: Fuentes Bibliográficas

Abdi, M. R., & Zandieh, A. R. (2014). Experimental and numerical analysis of large scale pull out tests conducted on clays reinforced with geogrids encapsulated with coarse material. *Geotextiles and Geomembranes*, *42*(5), 494–504. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.07.008

Abu-Farsakh, M. Y., Chen, Q., & Yoon, S. (2008). *Use of Reinforced Soil Foundation (RSF) to support shallow foundation*. (2).

Abu Farsakha, M., Chen, Q. and Sharma, R. (2013). An experimental evaluation of the behavior of footings on geosunthetic-reinforced sand. In *Soils and Foundations* (pp. 335–348).

Adams, M.T., Collin, J. G. (1997). Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *ASCE 123*, 66–72.

ASTM:D698-12. (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. *ASTM International*, *3*, 1–13. https://doi.org/10.1520/D0698-12.1.4

ASTM. (2010). D2216-10: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass 1. *ASTM International*, 1–7. https://doi.org/10.1520/D2216-19.

ASTM. (2015). ASTM C128 - 15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. *ASTM International*, *i*, 1–6. https://doi.org/10.1520/C0128-15.2

ASTM C29/C29M. (2016). Standard Test Method for Bulk Density (" Unit Weight ") and Voids in Aggregate. *American Society of Testing Materials*, *i*(c), 1–5. https://doi.org/10.1520/C0029

ASTM D 1557. (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort. *ASTM International*, *3*, 1–10. https://doi.org/10.1520/D1557-12.1

ASTM D4439. (2018). Standard Terminology for Geosynthetics. *Measurement*, *i*(May), 1–4. https://doi.org/10.1520/D3878-15.2

ASTM D7928. (2019). *Test {Method} for {Particle}-{Size} {Distribution} ({Gradation}) of {Fine}-{Grained} {Soils} {Using} the {Sedimentation} ({Hydrometer}) {Analysis}*. 1–25. https://doi.org/10.1520/D7928-17

Bernal, J. (2012). Cimentaciones Superficiales. *Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas Para Carreteras*, 855.

Berry, P., & Reid, D. (1993). *Mecánica de Suelos* (Primera Ed). Salford: McGRAW-HILL.

Borings, A. (1998). Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual. *Test*, *04*, 1–11. https://doi.org/10.1520/D2488-09A.2

Braja, D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (Séptima Ed; C. L. Editors, Ed.). México D.F.

Cao, J., Jung, J., Song, X., & Bate, B. (2018). On the soil water characteristic curves of poorly graded granular materials in aqueous polymer solutions. *Acta Geotechnica*, *13*(1), 103–116. https://doi.org/10.1007/s11440-017-0568-7

Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (Quinta Edi; LIMUSA S.A, Ed.). Mexico, D.F.

Cruz, E. (2013). *Influencia De Geomallas En Los Parámetros Mecánicos De Materiales Para Vías Terrestres*. (Ingeniería Civil), 148.

Durán, M. (2015). *Geotecnia, Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda."*

Egoavil, H., & Gonzáles, J. (2012). *Refuerzo de cimentaciones superficiales con geosintéticos*. 1–109.

Geosoft PAVCO. (2009). *Manual de diseño con geosintéticos* (Octava Edi; Z. C. S.A, Ed.). Bogotá - Colombia.

Guido, V.A., Chang, D.K., Sweeney, M. . (1987). *Plate loading tests on geogrid-reinforced earth slabs. Proceedings of the Geosynthetic '87 Conference*. 216–225.

Han, J. (2015). *Principles and Practice of Ground Improvement*. Retrieved from http://ebookcentral.proquest.com/lib/puce/detail.action?docID=4180216

Ishibashi, I., & Hazarika, H. (2010a). *Soil Mechanics Fundamentals*. Baton Rouge, UNITED STATES: CRC Press LLC.

Ishibashi, I., & Hazarika, H. (2010b). *Soil Mechanics Fundamentals*. Retrieved from http://ebookcentral.proquest.com/lib/puce/detail.action?docID=1595257

Jiménez, R. (1980). *Geotecnia y Cimientos II y III* (Editorial). Madrid.

Juarez, E., & Rico, A. (1975). *Mecánica de Suelos* (Tercera Ed; LIMUSA, Ed.). Mexico.

Juárez, E., & Rico, A. (1973). *Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos - Tomo II* (LIMUSA S.A, Ed.). Mexico, D.F.

Juárez, E., & Rico, A. (1976). *MECANICA DE SUELOS* (Tercera). Mexico, D.F.: EDITORIAL, LIMUSA, S.A.

Koerner, R. (1998). *Designing with Geosynthetics* (Fourth Edi; P. Hall, Ed.).

Lambe, W., & Whitman, R. (1972). *Mecánica de Suelos* (Primera Ed; LIMUSA-WILEY, Ed.). Mexico.

Latha, G. M., & Somwanshi, A. (2009). Bearing capacity of square footings on geosynthetic reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, *27*(4), 281–294. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2009.02.001

Lu, N., & Likos, W. . (2004). Unsaturated Soil Mechanics. In *Vadose Zone Journal* (Vol. 4).

Montero, J. C. (2004). *Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos I*. Quito - Ecuador.

Montoya, J. (2010). *Universidad de Los Andes Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Geológica*.

PIVALTEC. (1987). Geomallas.

Powrie, W. (2010). Soil mechanics. In *Soil mechanics*. https://doi.org/10.4324/9780203475348

Product Specification - TriAx ® TX5 Geogrid. (2011). (7), 2011.

Reduction, T. (1984). *Tensar Geogrids reduce the thickness of unbound granular layers in flexible pavements* . 1–7.

Rodriguez, A., & Hermilo, D. C. (2013). *La ingeniería de suelos en vias terrestres* (Primera Ed; L. S.A, Ed.). Mexico.

Rodriguez, J. (1970). *Cimentaciones* (BLUME, Ed.). Barcelona - España.

Rojas, J. (2011). *Informe de Ensayo de Corte Directo*. Santo Domingo.

Romo, M. (2016). *Introducción al diseño de cimentaciones de hormigón armado*.

Sanchez, E. (2007). *Losas de Cimentación: "Proceso Constructivo y Protocolos de Calidad para la Cosntrucción Masiva de Vivienda."* Mexico, D.F.

Segovia, J., & Hidalgo, S. (2001). *Diseño de obras civiles mediante materiales geosintéticos*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Td--, P. N. F. (2006). *Shored Mechanically Stabilized Earth (SMSE) Wall Systems Design Guidelines*. (February).

Tensar. (2018). *Product Specification Tensar Biaxial Geogrid*.

Terzaghi, K., & Peck, R. (2013). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (Tercera Ed). Illinois - EEUU: Wiley Interscience.

Tristá, J. G., Daniel, W., Cristía, C., Julio, G., & Sotolongo, Q. (n.d.). *Bearing capacity of footings in unsaturated soils employing analytic methods Obtención de la capacidad de carga en cimentaciones para un suelo parcialmente saturado empleando métodos analíticos*. *3461*.

Tsukada, Y; Isoda, T; Yamanouchi, T. (1993). Geogrid subgrade reinforcement and deep foundation. In: Raymond, Giroud. *Proceedings Geosynthetics Case Histories*, 158–159.

Type, B. G., Type, B. G., Bx, B. G., Bx, B. G., Bx, B. G., Bx, B. G., … Bx, B. G. (n.d.). *Product Specification Tensar Biaxial Geogrid*.

Urgiles, L. M., & Boada, L. (2011). *Diseño y evaluación de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros,para agregados de canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el Distrito Metropolitano de Quito*.

Young, R. (1975a). *Soil Properties and Behaviour*. Amsterdam, NETHERLANDS, THE: Elsevier.

Young, R. (1975b). *Soil Properties and Behaviour*. Retrieved from http://ebookcentral.proquest.com/lib/puce/detail.action?docID=1179897

Zhang, X., Fu, H., Yu, X., & Zhang, J. (2009). *Characterization, Modeling, and Performance of Geomaterials : Selected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference, August 3-6, 2009, Changsha, Hunan, China*. Retrieved from http://ebookcentral.proquest.com/lib/puce/detail.action?docID=3115495

Capítulo 11: Anexos

11.1 Anexo 1: Cálculos de Propiedades del Suelo Seleccionado

11.1.1 Gravedad Específica

Arena de Pifo

$\boldsymbol{M_{sumergida}} = 1{,}155\ kg$ $\boldsymbol{M_{seca+recipiente}} = 684{,}3\ gr$

$\boldsymbol{M_{sss}} = 503{,}3\ gr$ $\boldsymbol{M_{recipiente}} = 205{,}7 gr$

$\boldsymbol{M_{matraz}} = 154{,}8\ gr$ $\boldsymbol{M_{matraz+w}} = 647{,}4\ gr$

$\boldsymbol{M_{ma+w+suelo}} = 959{,}7\ gr$

$$\boldsymbol{G_S} = \frac{M_{sss}}{M_{matraz+w} + M_{sss} + M_{ma+w+suel}}$$

$$\boldsymbol{G_S} = \frac{503{,}3\ gr}{647{,}4\ gr + 503{,}3\ gr + 959{,}7\ gr}$$

$$\boldsymbol{G_S} = 2{,}64$$

Arena de San Antonio

$\boldsymbol{M_{sumergida}} = 1{,}18\ kg$ $\boldsymbol{M_{seca+recipiente}} = 691{,}5\ gr$

$\boldsymbol{M_{sss}} = 504{,}2\ gr$ $\boldsymbol{M_{recipiente}} = 202{,}2 gr$

$\boldsymbol{M_{matraz}} = 158{,}1\ gr$ $\boldsymbol{M_{matraz+w}} = 674{,}4\ gr$

$\boldsymbol{M_{ma+w+suelo}} = 958{,}5\ gr$

$$\boldsymbol{G_S} = \frac{M_{sss}}{M_{matraz+} + M_{sss} + M_{ma+w+suelo}}$$

$$\boldsymbol{G_S} = \frac{504{,}2\ gr}{674{,}4\ gr + 504{,}2\ gr + 958{,}5\ gr}$$

$$\boldsymbol{G_S} = 2{,}61$$

11.1.2 Peso Unitario

Arena de Pifo

$\boldsymbol{M_{molde}} = 1655\ gr$ $\boldsymbol{M1_{molde+suelto}} = 6265\ gr$

$\boldsymbol{V_{molde}} = 2735\ gr$ $\boldsymbol{M1_{molde+compactado}} = 6660\ gr$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto1}} = \frac{M1_{molde+suelto} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto1}} = \frac{6265\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto1}} = 1{,}686\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado1}} = \frac{M1_{molde+compactad} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado1}} = \frac{6660\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado1}} = 1{,}830\left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$\boldsymbol{M_{molde}} = 1655\ gr$

$\boldsymbol{V_{molde}} = 2735\ gr$

$\boldsymbol{M2_{molde+suelto}} = 6290\ gr$

$\boldsymbol{M2_{molde+compactado}} = 6680\ gr$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto2}} = \frac{M2_{molde+suelto} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto2}} = \frac{6290\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto2}} = 1{,}695\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado2}} = \frac{M2_{molde+compactado} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado2}} = \frac{6680\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado2}} = 1{,}837\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto}} = \frac{1{,}686 + 1{,}695}{2} = 1{,}69\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado}} = \frac{1{,}830 + 1{,}837}{2} = 1{,}83\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

Arena de San Antonio

$\boldsymbol{M_{molde}} = 1655\ gr$ $\qquad$ $\boldsymbol{M1_{molde+suelto}} = 5630\ gr$

$\boldsymbol{V_{molde}} = 2735\ gr$ $\qquad$ $\boldsymbol{M1_{molde+compactado}} = 5970\ gr$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto1}} = \frac{M1_{molde+suelt} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto1}} = \frac{5630\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto1}} = 1{,}453\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado1}} = \frac{M1_{molde+compactad} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado1}} = \frac{5970\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado1}} = 1{,}578\left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$\boldsymbol{M_{molde}} = 1655\ gr$ $\qquad$ $\boldsymbol{M2_{molde+suelto}} = 5730\ gr$

$\boldsymbol{V_{molde}} = 2735\ gr$ $\qquad$ $\boldsymbol{M2_{molde+compactado}} = 6055\ gr$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto2}} = \frac{M2_{molde+suelto} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto2}} = \frac{5730\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{suelto2}} = 1{,}490\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado2}} = \frac{M2_{molde+compac} - M_{molde}}{V_{molde}}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado2}} = \frac{6055\ gr - 1655\ gr}{2735\ gr}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{compactado2}} = 1.609\left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\gamma_{suelto} = \frac{1{,}453 + 1{,}490}{2} = 1{,}47\left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

$$\gamma_{compactado} = \frac{1{,}578 + 1{,}609}{2} = 1{,}59\ \left(\frac{gr}{cm3}\right)$$

11.1.3 Granulometría de los Suelos

11.1.3.1 Arena de San Antonio

Curva Granulométrica 1

Tamiz	Abertura (mm)	% Pasa
#3/8	9.5	100.00%
#4	4.7	99.44%
#8	2.36	95.41%
#16	1.18	84.02%
#30	0.6	69.42%
#50	0.3	47.62%
#100	0.15	26.32%
#200	0.075	13.42%
Pasante #200	0.054	10.73%
Pasante #200	0.040	9.30%
Pasante #200	0.030	7.87%
Pasante #200	0.022	6.44%
Pasante #200	0.016	5.49%
Pasante #200	0.012	4.53%
Pasante #200	0.009	3.34%
Pasante #200	0.006	2.39%
Pasante #200	0.005	1.67%
Pasante #200	0.003	1.43%
Pasante #200	0.002	0.48%
Pasante #200	0.001	0.24%

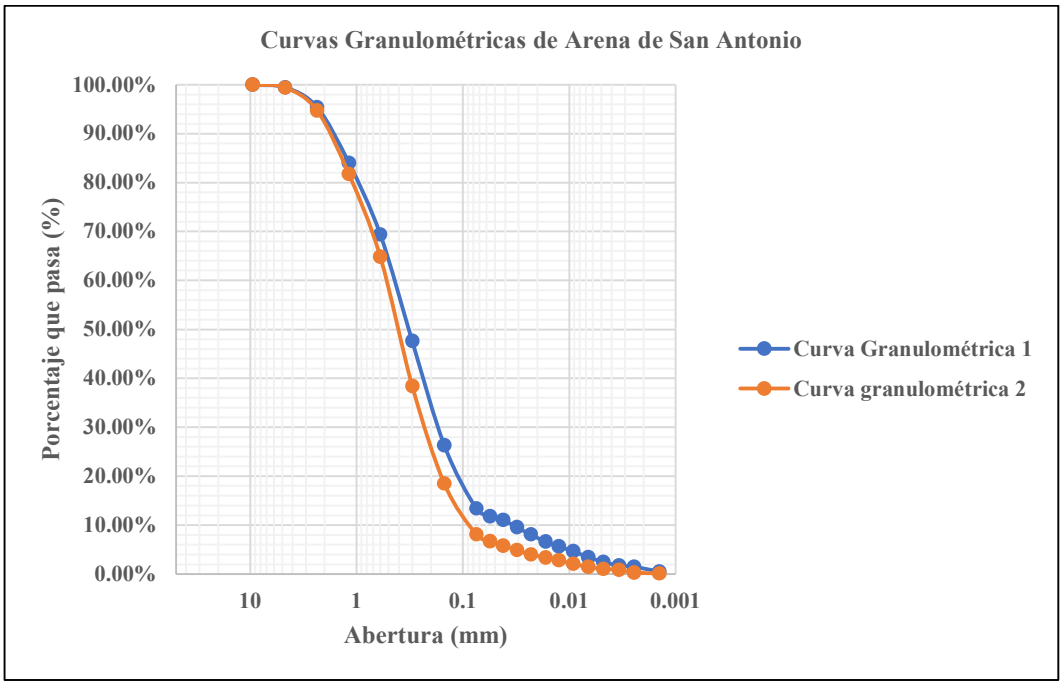
Anexo 1: Granulometría de Arena de San Antonio: Curva Granulométrica 1. Elaboración Propia.

Curva Granulométrica 2

Tamiz	Abertura (mm)	% Pasa
#3/8	9.5	100.00%
#4	4.7	99.41%
#8	2.36	94.74%
#16	1.18	81.74%
#30	0.6	64.87%
#50	0.3	38.43%
#100	0.15	18.53%
#200	0.075	8.12%
Pasante #200	0.054	6.92%
Pasante #200	0.040	6.49%
Pasante #200	0.030	5.63%
Pasante #200	0.022	4.76%
Pasante #200	0.016	3.89%
Pasante #200	0.012	3.32%

Pasante #200	0.009	2.74%
Pasante #200	0.006	2.02%
Pasante #200	0.005	1.44%
Pasante #200	0.003	1.01%
Pasante #200	0.002	0.87%
Pasante #200	0.001	0.29%

Anexo 2: Granulometría de Arena de San Antonio: Curva Granulométrica 2. Elaboración Propia.



Anexo 3: Curvas Granulométricas de Arena de San Antonio. Elaboración Propia.

11.1.3.2 Arena de Pifo

Curva Granulométrica 1

Tamiz	Abertura (mm)	% Pasa
#3/8	9.5	100.00%
#4	4.7	96.63%
#8	2.36	82.61%
#16	1.18	65.16%
#30	0.6	47.53%
#50	0.3	27.50%
#100	0.15	7.12%
#200	0.075	2.55%
Pasante #200	0.054	2.19%
Pasante #200	0.040	1.82%
Pasante #200	0.030	1.49%
Pasante #200	0.022	1.16%
Pasante #200	0.016	0.93%
Pasante #200	0.012	0.75%
Pasante #200	0.009	0.56%
Pasante #200	0.006	0.37%
Pasante #200	0.005	0.28%

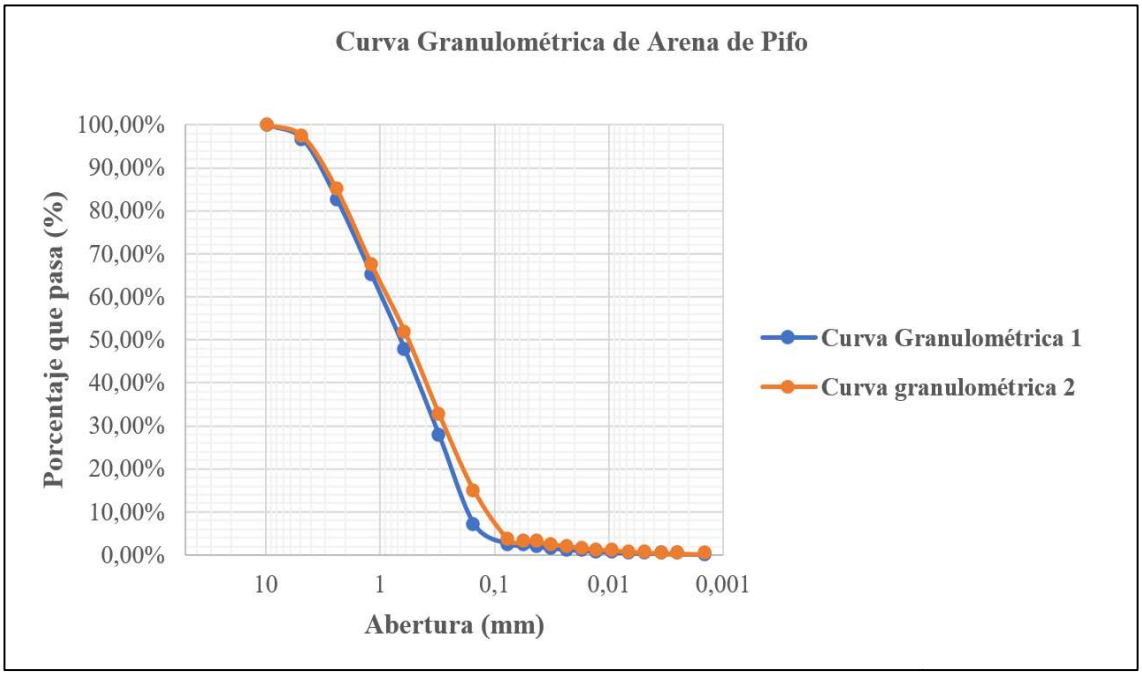
Pasante #200	0.003	0.19%
Pasante #200	0.002	0.09%
Pasante #200	0.001	0.05%

Anexo 4: Granulometría de Arena de Pifo: Curva Granulométrica 1. Elaboración Propia.

Curva Granulométrica 2

Tamiz	Abertura (mm)	% Pasa
#3/8	9.5	100.00%
#4	4.7	97.32%
#8	2.36	84.82%
#16	1.18	67.46%
#30	0.6	51.68%
#50	0.3	32.46%
#100	0.15	14.86%
#200	0.075	3.51%
Pasante #200	0.054	3.20%
Pasante #200	0.040	3.01%
Pasante #200	0.030	2.50%
Pasante #200	0.022	2.05%
Pasante #200	0.016	1.60%
Pasante #200	0.012	1.28%
Pasante #200	0.009	1.02%
Pasante #200	0.006	0.77%
Pasante #200	0.005	0.51%
Pasante #200	0.003	0.38%
Pasante #200	0.002	0.26%
Pasante #200	0.001	0.13%

Anexo 5: Granulometría de Arena de Pifo: Curva Granulométrica 2. Elaboración Propia.

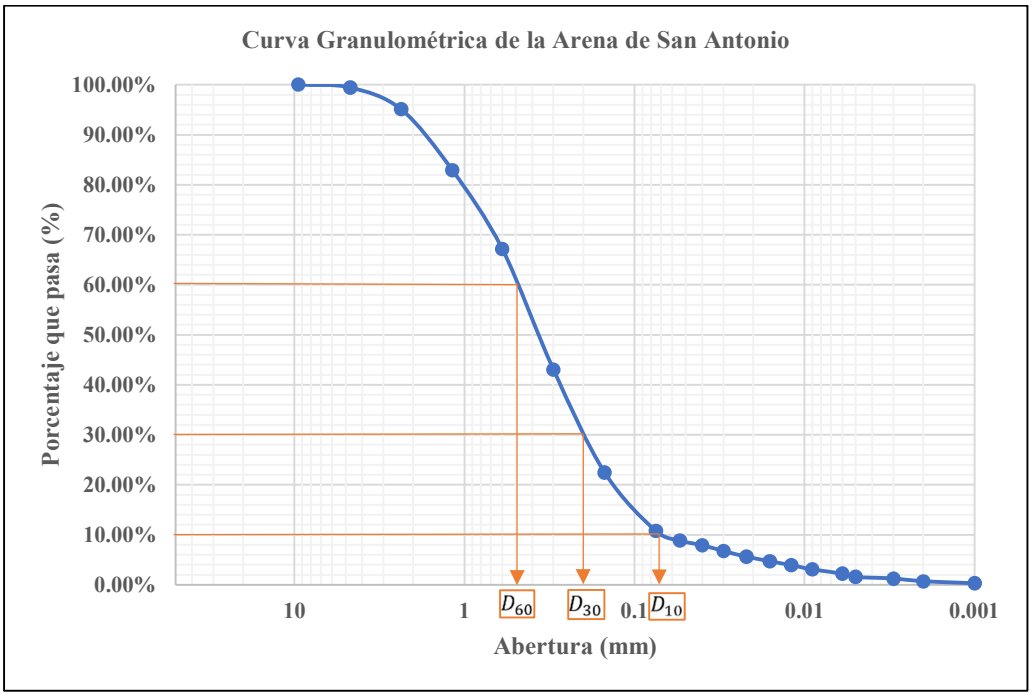


Anexo 6: Curvas Granulométricas de Arena de Pifo. Elaboración Propia.

11.1.3.3 Parámetros Derivados

11.1.3.3.1 Arena de San Antonio

Curva Granulométrica



Anexo 7: *Curva Granulométrica Promedio de Arena de San Antonio. Elaboración Propia.*

$$\boldsymbol{C_u} = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.49\ mm}{0.071\ mm} = 6.90$$

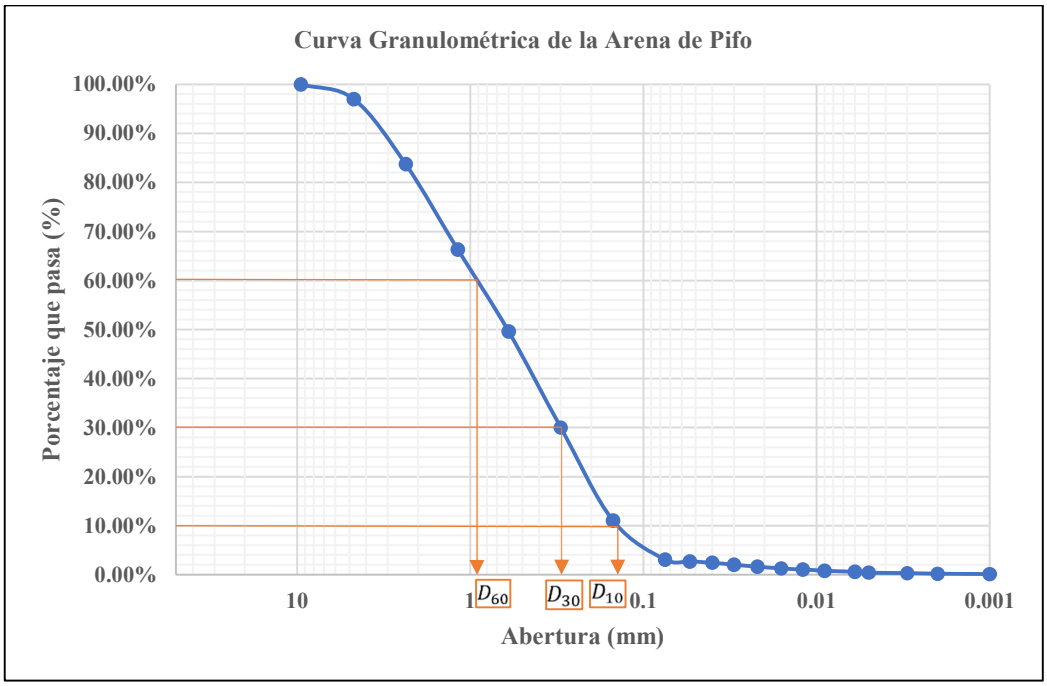
$$\boldsymbol{D_{60}} = 0.49\ mm$$

$$\boldsymbol{D_{10}} = 0.071\ mm$$

$$\boldsymbol{C_c} = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{0.16\ mm^2}{0.49\ mm * 0.071\ mm} = 0.74$$

$$\boldsymbol{D_{30}} = 0.16\ mm$$

11.1.3.3.2 Arena de Pifo
Curva Granulométrica



Anexo 8: *Curva Granulométrica Promedio de Arena de Pifo. Elaboración Propia.*

$$\boldsymbol{C_u} = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.98\ mm}{0.15\ mm} = 6.53$$

$$\boldsymbol{D_{60}} = 0.98\ mm$$

$$\boldsymbol{D_{10}} = 0.15\ mm$$

$$\boldsymbol{C_c} = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{0.26\ mm^2}{0.98\ mm * 0.15\ mm} = 0.46$$

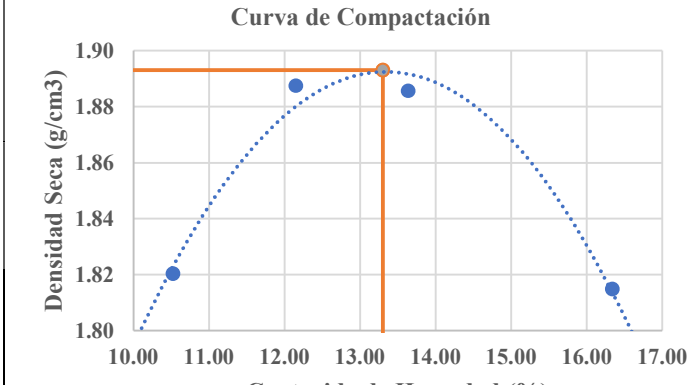
$$\boldsymbol{D_{30}} = 0.26\ mm$$

11.1.4 Compactación Modificada

11.1.4.1 Arena de San Antonio

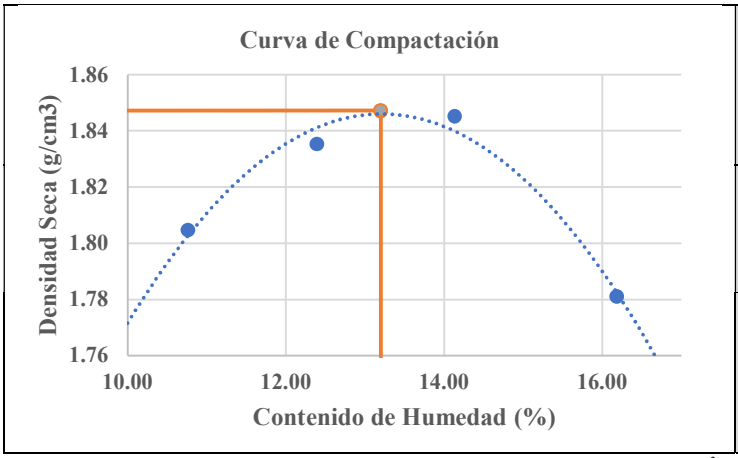
Identificación de Material	B1EA		SB1JZ		B1bJZ		B1bJZ	
Contenido de humedad (%)	8%		10%		12%		14%	
Masa inicial fundas (gr)	3123		3019		3219		3219	
Masa agua (gr)	249.84		301.9		386.28		450.66	
Peso molde más suelo húmedo	5531		5600		5623		5654	
Peso molde (g)	3772		3772		3772		3772	
Peso suelo húmedo (g)	1759		1828		1851		1882	
Densidad húmeda (g/cm^3)	1.84		1.91		1.93		1.97	
Identificación capsula	A27	PS68	301	PS70	PS39	PS130	A22	A4A4
Peso capsula (g)	18.48	17.05	11.59	17.07	16.35	17.42	17.96	16.79
Peso cap + suelo húmedo (g)	83.85	77.27	74.77	85.91	86.28	91.35	97.93	99.13
Peso cap + suelo seco (g)	77.98	71.86	68.35	78.78	77.78	82.43	86.87	87.86
Contenido de humedad calculado (%)	9.87	9.87	11.31	11.55	13.84	13.72	16.05	15.86
Promedio del contenido de humedad (%)	9.87		11.43		13.78		15.95	
Densidad seca (g/cm^3)	1.67		1.69		1.70		1.70	
Peso unitario seco máximo (KN/m^3)	16.42		16.56		16.68		16.64	

Anexo 9: Resultados de Proctor Modificado de la Arena de San Antonio. Elaboración Propia.



Contenido de Humedad máximo (%)	13.3
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	1,89
Peso Unitario Seco Máximo (KN/m3)	18.53

Anexo 10: Curva de Compactación 1 de Arena de San Antonio en (g/cm^3). Elaboración Propia.



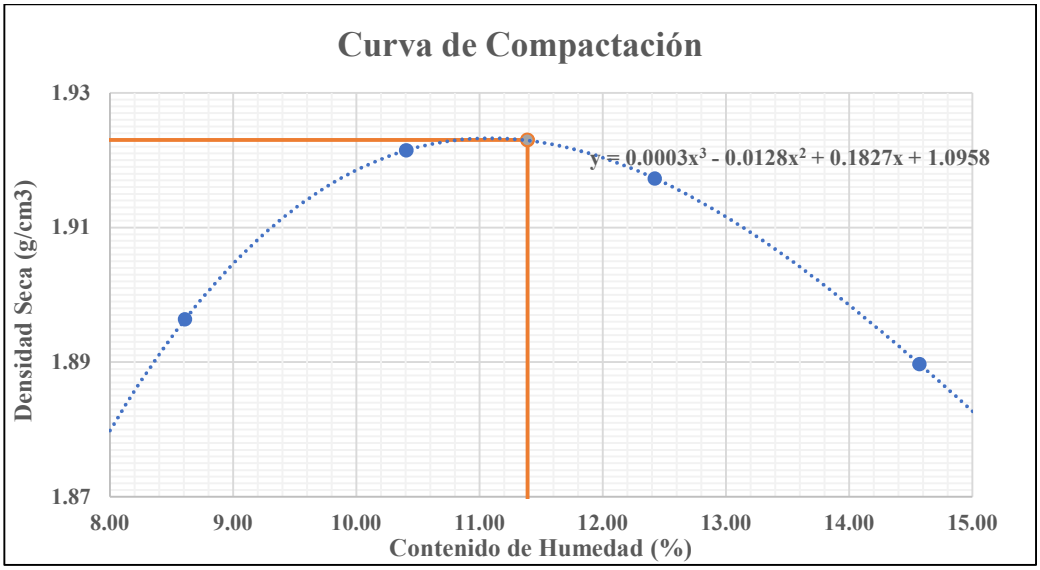
Contenido de Humedad máximo (%)	13.2
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	1.84
Peso Unitario Seco Máximo (KN/m3)	18.04

Anexo 11: Curva de Compactación 2 de Arena de San Antonio en (g/cm³). Elaboración Propia.

11.1.4.2 Arena de Pifo

Identificación de Material	**B1EA**		**SB1JZ**		**B1bJZ**		**B1bJZ**	
Contenido de humedad (%)	**8%**		**10%**		**12%**		**14%**	
Masa inicial fundas(gr)	3123		3019		3219		3219	
Masa agua (gr)	249.84		301.9		386.28		450.66	
Peso molde más suelo húmedo	5983		6041		6073		6082	
Peso molde (g)	4049		4049		4049		4049	
Peso suelo húmedo (g)	1934		1992		2024		2033	
Densidad húmeda (g/cm³)	2.06		2.12		2.16		2.17	
Identificación capsula	A27	PS68	301	PS70	PS39	PS130	A22	A4A4
Peso capsula (g)	17.64	16.82	18	17.8	17.99	18.07	17.7	16.8
Peso cap + suelo húmedo (g)	81.54	70.09	76.13	71.82	61.4	57.58	93.52	79.09
Peso cap + suelo seco (g)	76.47	65.87	70.66	66.72	56.64	53.18	84.07	71.01
Contenido de humedad calculado (%)	8.62	8.60	10.39	10.43	12.32	12.53	14.24	14.90
Promedio del contenido de humedad (%)	8.61		10.41		12.42		14.57	
Densidad seca (g/cm³)	1.90		1.92		1.92		1.89	
Peso unitario seco máximo (KN/m³)	18.60		18.85		18.81		18.54	

Anexo 12: Resultados de Proctor Modificado de la Arena de Pifo. Elaboración Propia.



Anexo 13:: Curva de compactación de Arena de Pifo en g/cm3.Elaboracion Propia.

11.1.5 Densidad Natural

$\boldsymbol{\gamma_{máx}} = 1{,}69\,\frac{gr}{cm3}$

$\boldsymbol{W_{opt}} = 14{,}32\%$

11.1.5.1 Cálculo de Densidad Natural – Muestra SG

$\boldsymbol{\gamma_{obtenida}} = 1{,}66\,\frac{gr}{cm3}$

$\%\boldsymbol{W_{real}} = 13{,}82\,\frac{gr}{cm3}$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{obtenida}}{\gamma_{máx}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{1{,}66\,\frac{gr}{cm3}}{1{,}69\,\frac{gr}{cm3}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = 98{,}40\%$$

11.1.5.2 Cálculo de Densidad Natural – Muestra DU (B)

$\boldsymbol{\gamma_{obtenida}} = 1{,}55\,\frac{gr}{cm3}$

$\%\boldsymbol{W_{real}} = 14{,}22\,\frac{gr}{cm3}$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{obtenida}}{\gamma_{máx}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{1{,}55\,\frac{gr}{cm3}}{1{,}69\,\frac{gr}{cm3}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = 91{,}78\%$$

11.1.5.3 Cálculo de Densidad Natural – Muestra DT (B)

$\boldsymbol{\gamma_{obtenida}} = 1{,}60\,\frac{gr}{cm3}$

$\%\boldsymbol{W_{real}} = 14{,}04\,\frac{gr}{cm3}$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{obtenida}}{\gamma_{máx}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{1{,}60\,\frac{gr}{cm3}}{1{,}69\,\frac{gr}{cm3}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = 95{,}05\%$$

11.1.5.4 Cálculo de Densidad Natural – Muestra DTI (B)

$\boldsymbol{\gamma_{obtenida}} = 1{,}59\,\frac{gr}{cm3}$

$\%\boldsymbol{W_{real}} = 13{,}85\,\frac{gr}{cm3}$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{obtenida}}{\gamma_{máx}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{1{,}59\,\frac{gr}{cm3}}{1{,}69\,\frac{gr}{cm3}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = 94{,}20\%$$

11.1.5.5 Cálculo de Densidad Natural – Muestra DU (M)

$\boldsymbol{\gamma_{obtenida}} = 1{,}66\,\frac{gr}{cm3}$

$\%\boldsymbol{W_{real}} = 13{,}84\,\frac{gr}{cm3}$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{obtenida}}{\gamma_{máx}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{1{,}66\,\frac{gr}{cm3}}{1{,}69\,\frac{gr}{cm3}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = 98{,}28\%$$

11.1.5.6 Cálculo de Densidad Natural – Muestra DT (M)

$\boldsymbol{\gamma_{obtenida}} = 1{,}65\,\frac{gr}{cm3}$

$$\%\boldsymbol{W_{real}} = 13{,}49\frac{gr}{cm3}$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{obtenida}}{\gamma_{máx}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{1{,}65\frac{gr}{cm3}}{1{,}69\frac{gr}{cm3}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = 97{,}93\%$$

11.1.5.7 Cálculo de Densidad Natural – Muestra DTI (M)

$$\boldsymbol{\gamma_{obtenida}} = 1{,}63\frac{gr}{cm3}$$

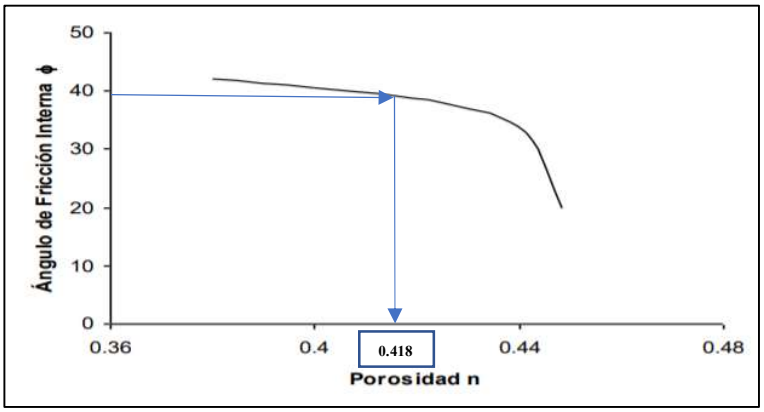
$$\%\boldsymbol{W_{real}} = 14{,}15\frac{gr}{cm3}$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{obtenida}}{\gamma_{máx}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\mathbf{1{,}63\frac{gr}{cm3}}}{\mathbf{1{,}69\frac{gr}{cm3}}} * \mathbf{100}\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{96{,}63}\%$$

11.1.6 Porosidad



Anexo 14: Grafica de Angulo de Fricción vs. Porosidad. Elaboración Propia.

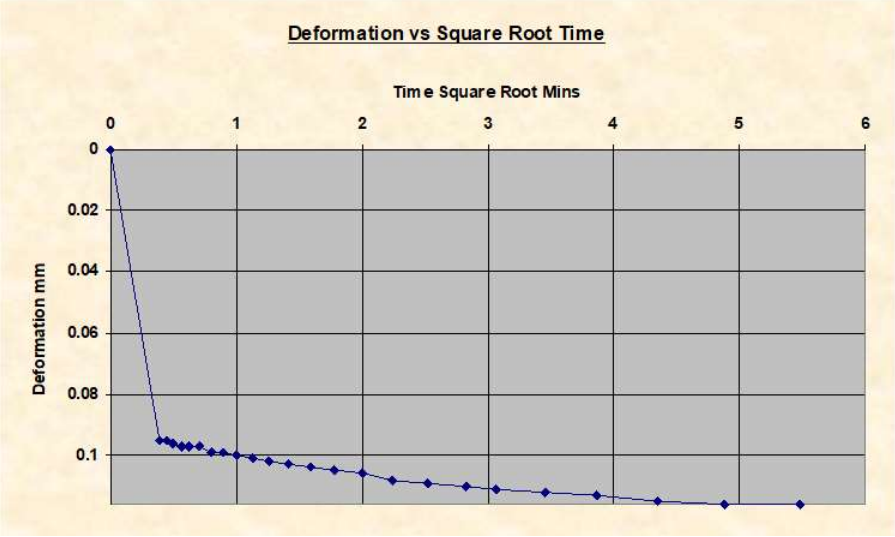
11.1.7 Corte Directo

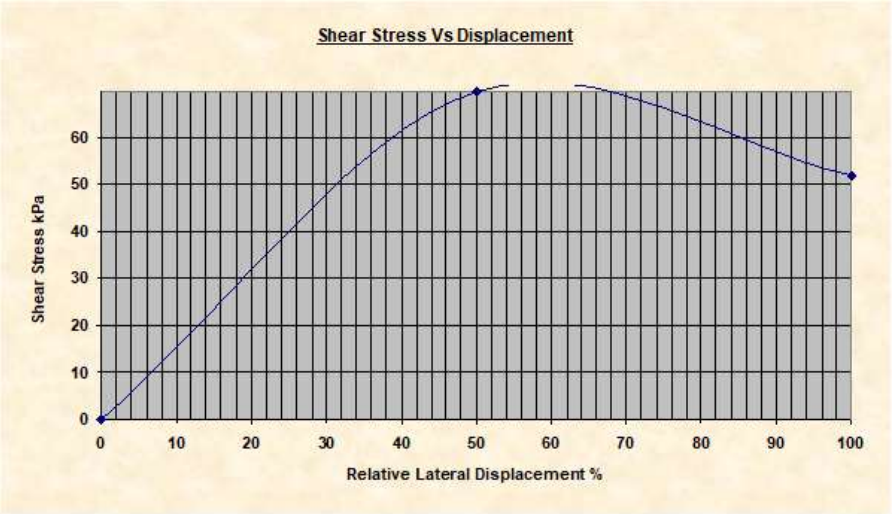
11.1.7.1 Corte Directo Sin Saturar – CD

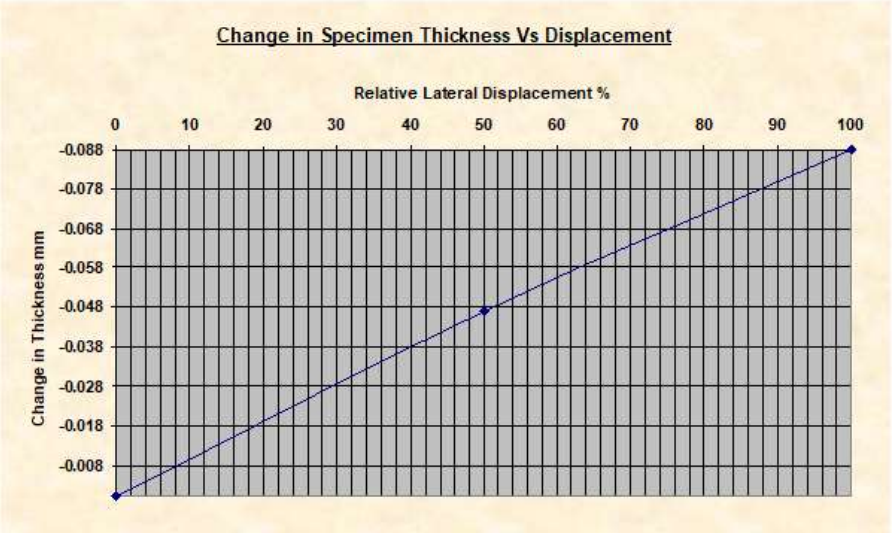
Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	**Particle Specific Gravity**	2.60
Sample Type	CBR mould sample	**Single or Multi Stage**	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	**Location**	Quito
Sample Description			
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	A	**Description**	
Depth within Sample	0.00mm	**Orientation within Sample**	
Initial Height	20.050 mm	**Area**	3581.00 mm2
Structure / Preparation		**Initial Water Content***	13.98 %
Initial Wet Unit Weight	18.57 kN/m3	**Degree of Saturation**	64.29 %
Initial Dry Unit Weight	16.29 kN/m3	**Initial Voids Ratio**	0.565
Final Wet Unit Weight	18.60 kN/m3	**Final Water Content**	13.98%
Final Dry Unit Weight	16.32 kN/m3	**Dry Mass**	119.26 g
Tested Dry or Submerged	Dry		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen







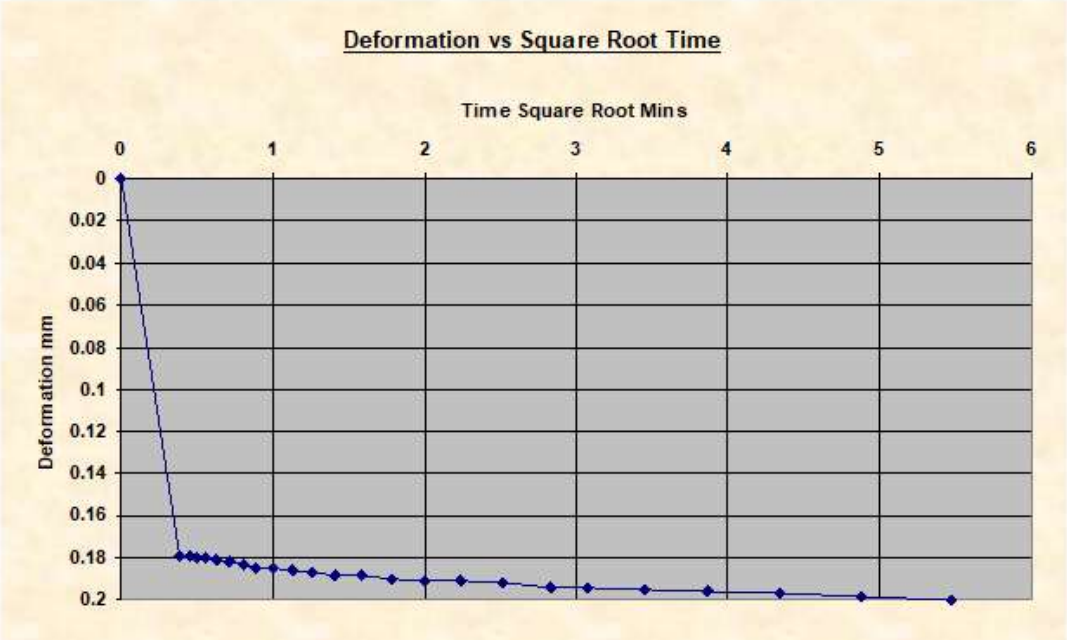
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.5086mm/min

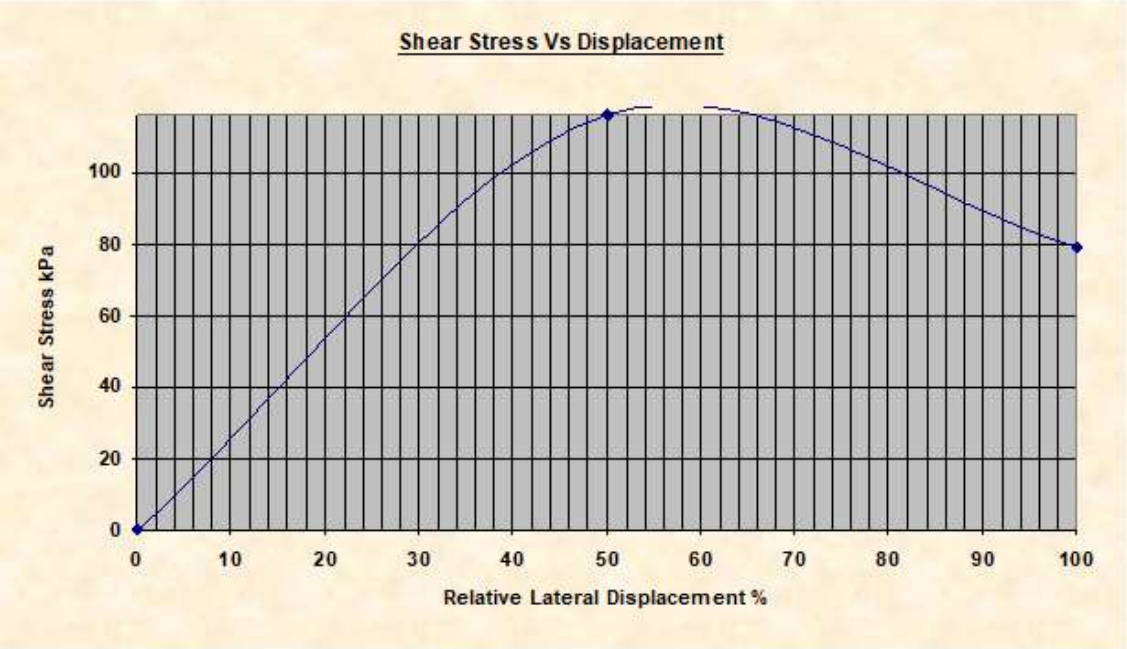
Conditions at Failure	
Normal Stress	50.0 kPa
Peak Strength	69.8 kPa
Horizontal Deformation	1.199 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	0.071 mm

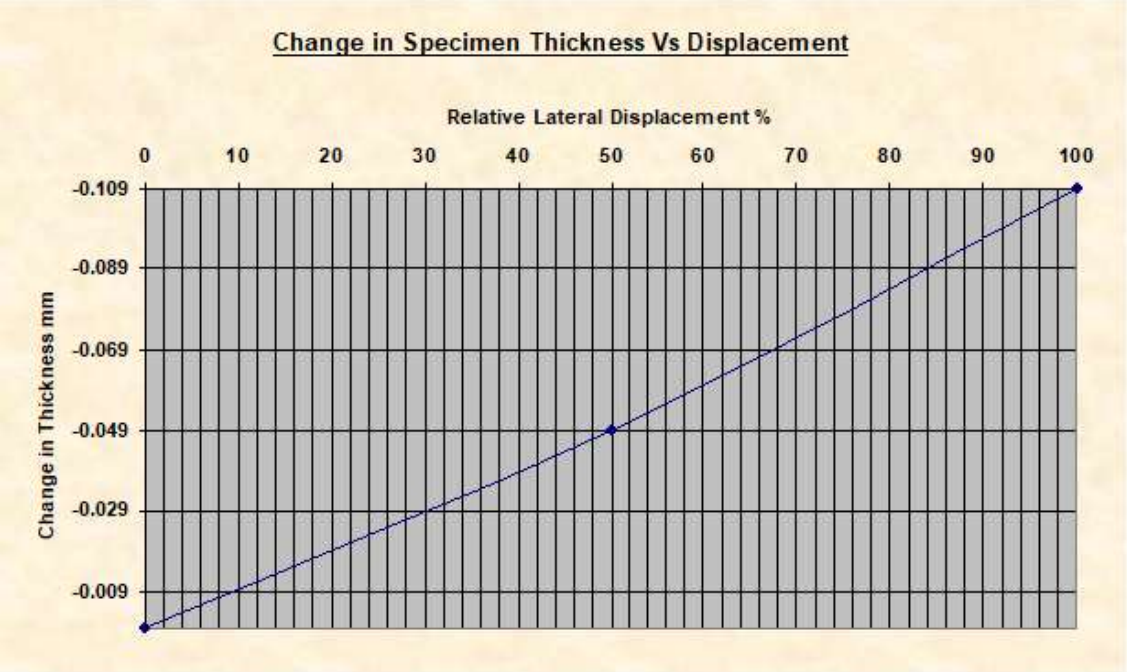
Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	**Particle Specific Gravity**	2.60
Sample Type	CBR mould sample	**Single or Multi Stage**	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	**Location**	Quito
Sample Description			
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	B	**Description**	
Depth within Sample	0.00mm	**Orientation within Sample**	
Initial Height	20.050 mm	**Area**	3581.00 mm2
Structure / Preparation		**Initial Water Content***	13.86 %
Initial Wet Unit Weight	18.74 kN/m3	**Degree of Saturation**	65.60 %
Initial Dry Unit Weight	16.46 kN/m3	**Initial Voids Ratio**	0.549
Final Wet Unit Weight	18.83 kN/m3	**Final Water Content**	13.86%
Final Dry Unit Weight	16.54 kN/m3	**Dry Mass**	120.49 g
Tested Dry or Submerged	Dry		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen







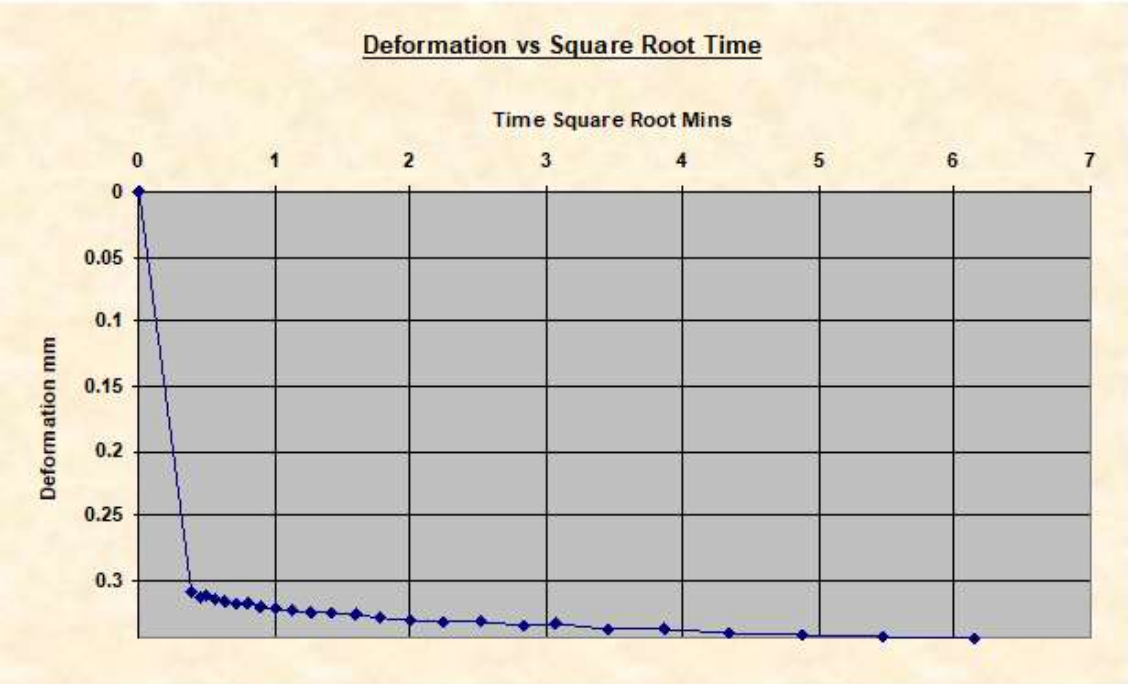
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.5043mm/min

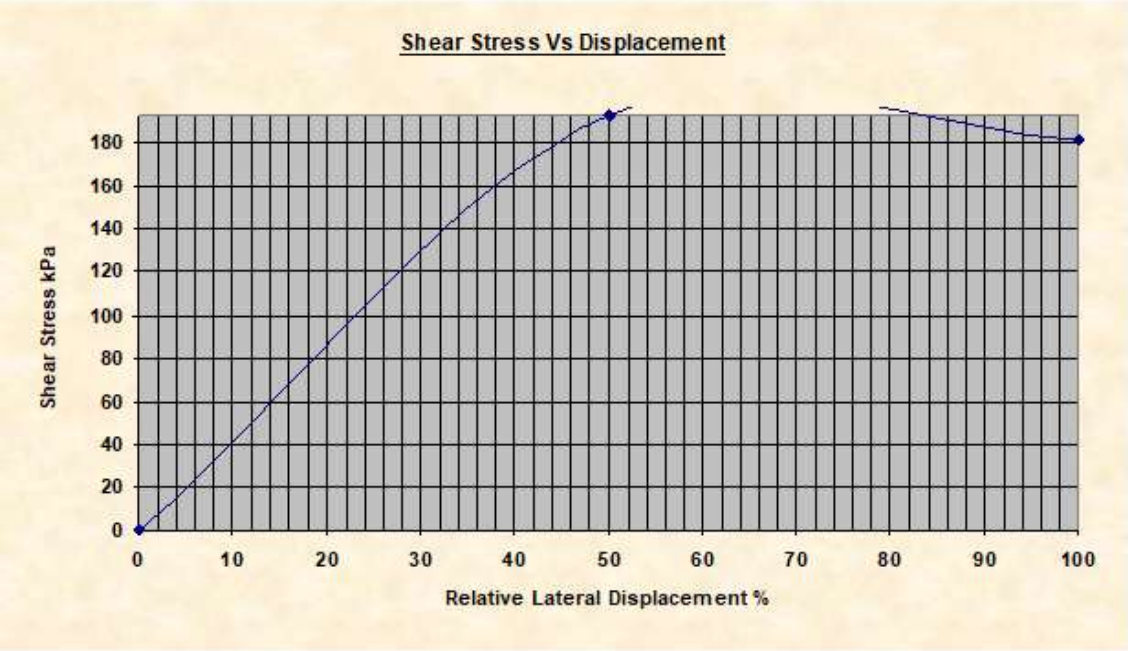
Conditions at Failure	
Normal Stress	100.0 kPa
Peak Strength	116.3 kPa
Horizontal Deformation	1.199 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	0.151 mm

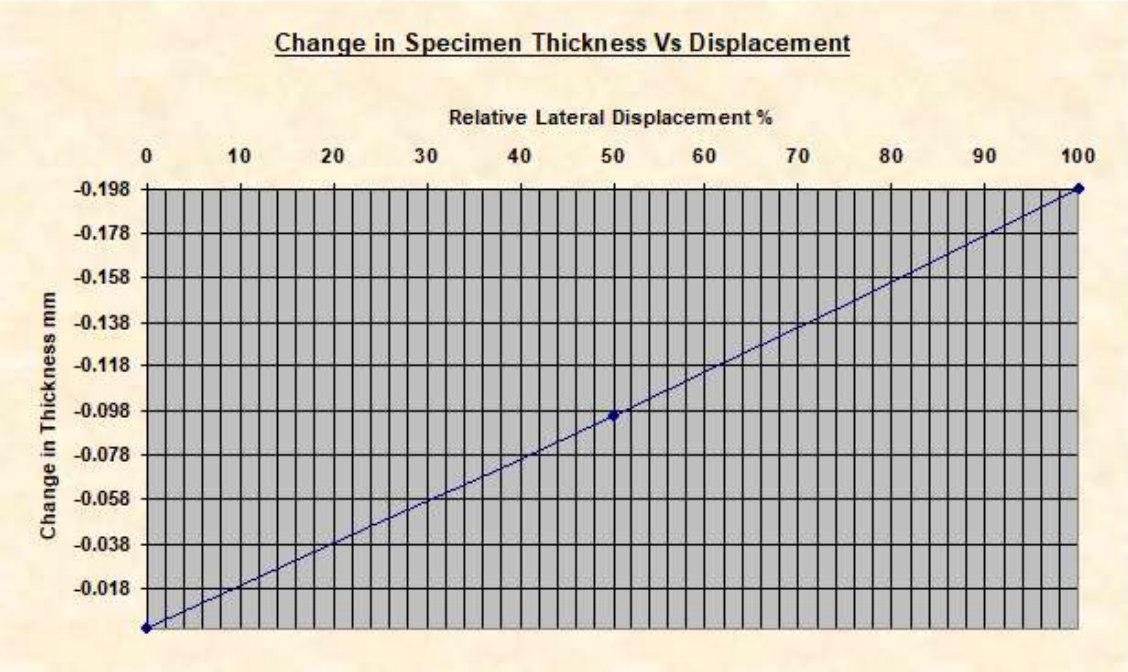
Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	**Particle Specific Gravity**	2.60
Sample Type	CBR mould sample	**Single or Multi Stage**	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	**Location**	Quito
Sample Description			
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	C	**Description**	
Depth within Sample	0.00mm	**Orientation within Sample**	
Initial Height	20.050 mm	**Area**	3581.00 mm2
Structure / Preparation		**Initial Water Content***	13.18 %
Initial Wet Unit Weight	18.29 kN/m3	**Degree of Saturation**	59.25 %
Initial Dry Unit Weight	16.16 kN/m3	**Initial Voids Ratio**	0.579
Final Wet Unit Weight	18.42 kN/m3	**Final Water Content**	13.18%
Final Dry Unit Weight	16.28 kN/m3	**Dry Mass**	118.26 g
Tested Dry or Submerged	Dry		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen







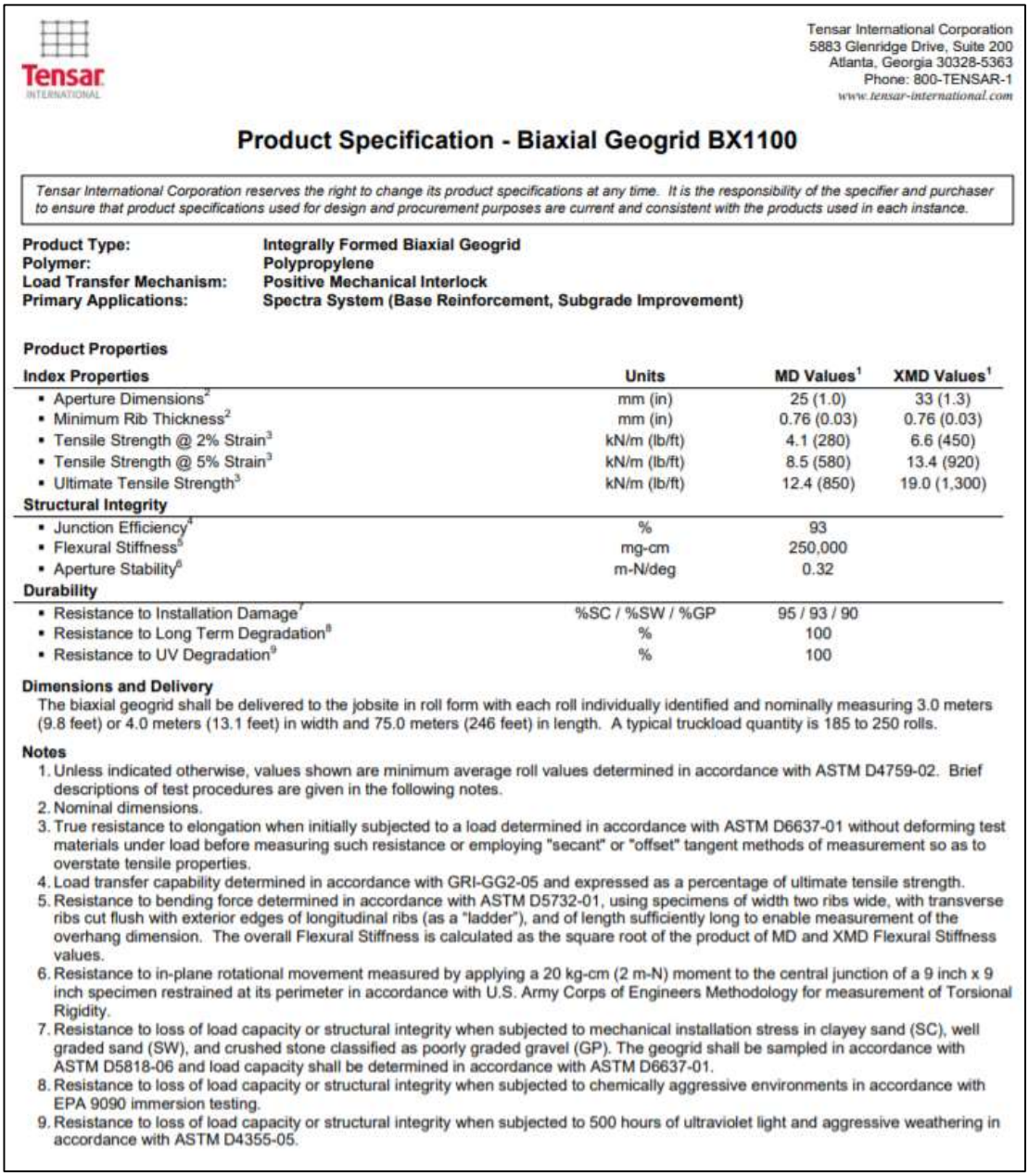
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.5036mm/min

Conditions at Failure	
Normal Stress	200.0 kPa
Peak Strength	193.2 kPa
Horizontal Deformation	1.199 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	0.252 mm

11.1.7.2 Corte Directo Sin Saturar – CD

11.2 Anexo 2: Especificación Técnica de Geomallas

Geomalla Biaxial – Modelo Bx 1100



Tensar International Corporation
5883 Glenridge Drive, Suite 200
Atlanta, Georgia 30328-5363
Phone: 800-TENSAR-1
www.tensar-international.com

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1100

Tensar International Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance.

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

Product Properties

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

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

Notes
1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759-02. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637-01 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-05 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-01, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818-06 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637-01.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355-05.

Anexo 15: Especificación Técnica de Geomalla Biaxial Bx 1100. Tomado de: Tensar Corp. Pg. 4.

11.3 Anexo 3: Ejemplo de Cálculo de Compactación con Maquina Universal

Para una capa de 7 cm de espesor:

$$\boldsymbol{\gamma_{máx}} = 1{,}69\,\frac{gr}{cm^3}$$

$$\boldsymbol{W_{opt}} = 14{,}32\%$$

$$\boldsymbol{V_{capa}} = 48 * 48 * 7\ (cm^3) = 16128\ cm^3$$

$$\boldsymbol{W_{saco}} = 5{,}11\%$$

$$\boldsymbol{\gamma_{húmeda}} = \gamma_{máx} * \left(1 + \frac{W_{opt}}{100}\right) = 1{,}69\,\frac{gr}{cm^3} * \left(1 + \frac{14{,}32\%}{100\%}\right) = 1{,}93\ \frac{gr}{cm^3}$$

$$\boldsymbol{M_{húmeda}} = \gamma_{húmeda} * V_{capa} = 1{,}932\ \frac{gr}{cm^3} * 16128\ cm^3 = 31159{,}43\ gr = 31{,}16\ kg$$

$$\boldsymbol{M_{seca}} = \frac{M_{húmeda}}{1 + \frac{W_{opt}}{100}} = \frac{31{,}16\ kg}{1 + \frac{14{,}32\%}{100\%}} = 27{,}26\ kg$$

$$\boldsymbol{M_{capa1}} = M_{seca} * \left(1 + \frac{W_{saco}}{100}\right) = 27{,}26\ kg * \left(1 + \frac{5{,}11\%}{100\%}\right) = 28{,}648\ kg = 28{,}65\ kg$$

$$\boldsymbol{M_{agua}} = \frac{\left(W_{opt} - W_{saco}\right) * M_{capa1}}{100 + W_{saco}} = \frac{(14{,}32\% - 5{,}11\%) * 28{,}65\ kg}{100\% + 5{,}11\%} = 2{,}51\ kg$$

Nota: *Una vez determinada la masa del saco a colocarse, esta fue dividida en dos partes iguales debido a la facilidad de mezclado en la bandeja para alcanzar su humedad óptima.*

Altura Total (cm) A	**Altura Medida (cm)** B	**Altura Resultante (cm)** C = A-B
48	41,4	6,6
48	41,1	6,9
48	40,6	7,4
48	40,7	7,3
48	41,1	6,9
48	41,5	6,5
48	40,1	7,9
48	40,9	7,1
48	41,2	6,8
Promedio de Alturas (cm)		7,0

Anexo 16: Tabla de Alturas Medidas para Compactación de una Capa. Elaboración Propia.

$$\boldsymbol{V_{capa1}} = 48 * 48 * 7{,}0\ (cm^3) = 16230{,}4\ cm^3$$

$$\boldsymbol{M_{capa1}} = 28648{,}96\ gr$$

$$\boldsymbol{\gamma_{húmeda1}} = \frac{M_{capa}}{V_{capa1}} = \frac{28648{,}96\ gr}{16230{,}4\ cm^3} = 1{,}77\ \frac{gr}{cm^3}$$

$$\boldsymbol{\gamma_{seca}} = \frac{\gamma_{húmeda1}}{1 + \frac{W_{opt}}{100}} = \frac{1{,}77\ \frac{gr}{cm^3}}{1 + \frac{14{,}32\%}{100\%}} = 1{,}54\ \frac{gr}{cm^3}$$

Porcentaje de compactación respecto a la densidad seca máxima deseada:

$$\%\boldsymbol{\gamma} = \frac{\gamma_{seca}}{\gamma_{máx}} * 100\% = \frac{1{,}54\ \frac{gr}{cm^3}}{1{,}69\frac{gr}{cm^3}} * 100\%$$

$$\%\boldsymbol{\gamma} = 91{,}36\%$$

11.4 Anexo 4: Tablas y Gráficas de Compactación en la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 toneladas.

11.4.1 Muestras Sin Geomalla

11.4.1.1 Muestra 1 - SG

CAJA 1	
Fecha:	11-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	1498
Esfuerzo (Mpa):	3

Deformación (mm)	Fuerza (kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.04	8.80	0.01
0.03	4.33	0.0	42.47	8667.80	8.67
0.09	14.67	0.1	143.79	29345.60	29.35
0.13	33.83	0.2	331.51	67655.60	67.66
0.16	52.37	0.2	513.26	104746.60	104.75
0.24	66.30	0.3	649.78	132608.20	132.61
0.29	79.35	0.4	777.58	158690.20	158.69
0.33	93.41	0.5	915.39	186814.60	186.81
0.41	108.53	0.6	1063.58	217057.60	217.06
0.48	127.82	0.7	1252.63	255638.80	255.64
0.54	148.75	0.8	1457.80	297509.20	297.51
0.61	163.61	0.9	1603.35	327214.60	327.21
0.65	185.10	0.9	1813.98	370199.20	370.20
0.76	204.45	1.1	2003.63	408903.60	408.90
0.82	229.73	1.2	2251.34	459457.80	459.46
0.94	252.31	1.3	2472.61	504614.20	504.61
0.98	275.24	1.4	2697.31	550471.00	550.47
1.13	298.82	1.6	2928.45	597642.20	597.64
1.18	322.31	1.7	3158.60	644612.40	644.61
1.28	343.43	1.8	3365.62	686860.60	686.86
1.31	360.49	1.9	3532.83	720985.40	720.99
1.39	376.11	2.0	3685.90	752225.00	752.23
1.46	394.66	2.1	3867.62	789310.40	789.31
1.50	414.00	2.1	4057.21	828002.40	828.00

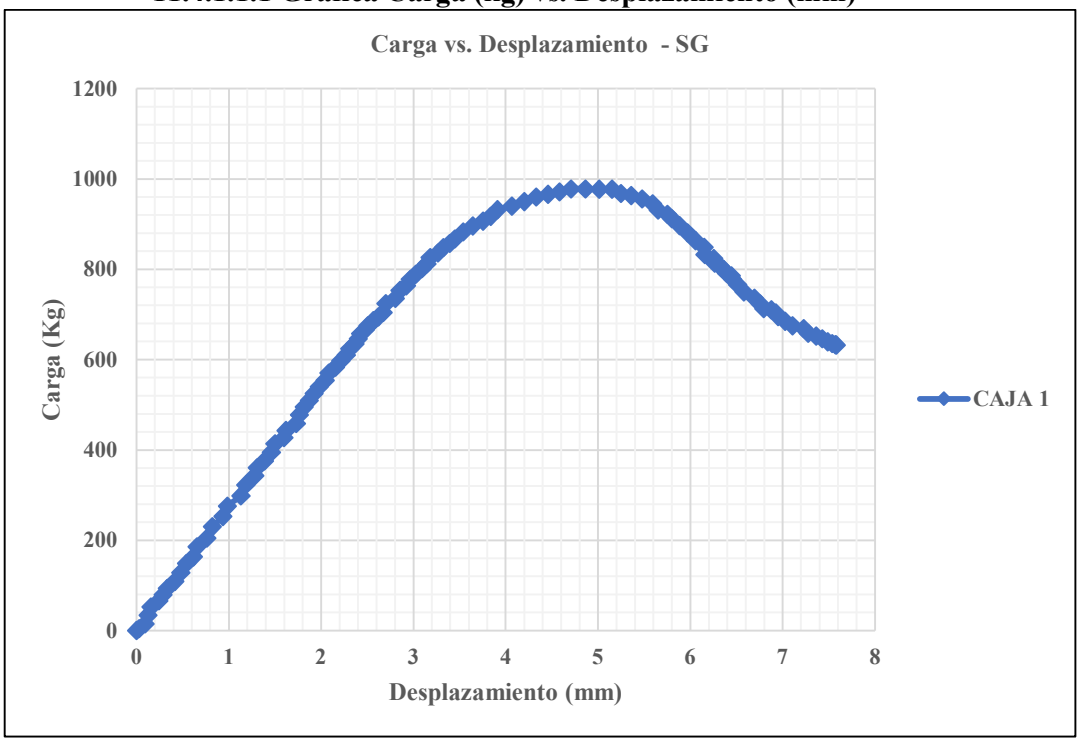
1.60	427.31	2.3	4187.64	854619.80	854.62
1.62	443.27	2.3	4344.08	886547.40	886.55
1.73	458.21	2.5	4490.43	916414.20	916.41
1.76	477.44	2.5	4678.92	954881.40	954.88
1.82	495.32	2.6	4854.17	990647.40	990.65
1.87	509.63	2.7	4994.38	1019260.40	1019.26
1.92	524.89	2.7	5143.90	1049775.80	1049.78
1.98	539.99	2.8	5291.85	1079970.00	1079.97
2.04	554.17	2.9	5430.85	1108337.00	1108.34
2.08	570.09	3.0	5586.84	1140171.80	1140.17
2.16	583.16	3.1	5715.02	1166329.60	1166.33
2.21	597.26	3.2	5853.17	1194525.00	1194.53
2.27	610.34	3.2	5981.30	1220672.60	1220.67
2.31	624.11	3.3	6116.31	1248225.80	1248.23
2.37	635.18	3.4	6224.77	1270362.20	1270.36
2.40	646.19	3.4	6332.64	1292375.80	1292.38
2.43	657.49	3.5	6443.42	1314984.00	1314.98
2.48	666.43	3.5	6531.03	1332863.20	1332.86
2.51	674.74	3.6	6612.43	1349474.60	1349.47
2.54	680.30	3.6	6666.92	1360595.40	1360.60
2.56	686.30	3.7	6725.78	1372608.60	1372.61
2.62	694.75	3.7	6808.56	1389503.00	1389.50
2.67	704.42	3.8	6903.31	1408839.40	1408.84
2.70	724.08	3.9	7095.96	1448154.20	1448.15
2.80	735.74	4.0	7210.29	1471488.60	1471.49
2.85	753.61	4.1	7385.42	1507229.20	1507.23
2.92	763.38	4.2	7481.09	1526753.20	1526.75
2.97	777.88	4.2	7623.18	1555750.60	1555.75
3.03	789.66	4.3	7738.62	1579310.40	1579.31
3.09	801.62	4.4	7855.84	1603233.20	1603.23
3.15	812.17	4.5	7959.28	1624342.00	1624.34
3.18	825.93	4.5	8094.12	1651861.00	1651.86
3.26	836.09	4.7	8193.67	1672178.40	1672.18
3.32	847.78	4.7	8308.24	1695558.40	1695.56
3.39	857.31	4.8	8401.64	1714620.60	1714.62
3.45	867.45	4.9	8500.99	1734896.00	1734.90
3.54	882.66	5.1	8650.06	1765318.00	1765.32
3.64	896.01	5.2	8780.92	1792024.80	1792.02
3.75	906.83	5.4	8886.91	1813655.40	1813.66
3.83	917.18	5.5	8988.32	1834351.80	1834.35
3.91	931.76	5.6	9131.21	1863511.60	1863.51
4.07	939.88	5.8	9210.85	1879765.40	1879.77
4.20	950.31	6.0	9312.99	1900610.40	1900.61

4.33	959.74	6.2	9405.49	1919487.20	1919.49
4.46	966.02	6.4	9467.00	1932040.60	1932.04
4.58	971.17	6.5	9517.48	1942342.20	1942.34
4.70	977.69	6.7	9581.33	1955372.80	1955.37
4.86	978.22	6.9	9586.55	1956438.80	1956.44
5.01	977.47	7.2	9579.22	1954943.60	1954.94
5.15	977.43	7.4	9578.78	1954852.60	1954.85
5.25	968.11	7.5	9487.44	1936212.40	1936.21
5.36	963.58	7.7	9443.08	1927159.60	1927.16
5.48	955.99	7.8	9368.73	1911986.20	1911.99
5.59	945.28	8.0	9263.79	1890569.00	1890.57
5.65	931.04	8.1	9124.15	1862070.80	1862.07
5.75	922.13	8.2	9036.87	1844260.00	1844.26
5.80	911.70	8.3	8934.68	1823404.60	1823.40
5.88	896.70	8.4	8787.70	1793408.80	1793.41
5.97	880.84	8.5	8632.25	1761684.40	1761.68
6.05	863.16	8.6	8458.96	1726318.40	1726.32
6.15	848.74	8.8	8317.66	1697480.80	1697.48
6.16	832.74	8.8	8160.85	1665480.20	1665.48
6.25	823.81	8.9	8073.30	1647612.20	1647.61
6.26	813.41	8.9	7971.40	1626816.40	1626.82
6.32	806.41	9.0	7902.85	1612826.80	1612.83
6.36	799.62	9.1	7836.24	1599233.40	1599.23
6.39	791.77	9.1	7759.32	1583535.00	1583.54
6.44	785.76	9.2	7700.48	1571525.60	1571.53
6.46	778.40	9.2	7628.36	1556809.00	1556.81
6.51	766.09	9.3	7507.66	1532175.00	1532.18
6.58	749.95	9.4	7349.48	1499894.00	1499.89
6.69	736.04	9.6	7213.15	1472072.20	1472.07
6.76	723.52	9.7	7090.48	1447037.40	1447.04
6.79	712.59	9.7	6983.42	1425187.40	1425.19
6.88	710.12	9.8	6959.19	1420243.00	1420.24
6.92	703.66	9.9	6895.83	1407313.00	1407.31
6.95	695.80	9.9	6818.79	1391590.20	1391.59
7.03	685.01	10.0	6713.09	1370018.60	1370.02
7.11	674.75	10.2	6612.52	1349493.80	1349.49
7.23	668.87	10.3	6554.91	1337736.80	1337.74
7.28	658.11	10.4	6449.53	1316229.80	1316.23
7.36	652.47	10.5	6394.21	1304941.40	1304.94
7.43	646.31	10.6	6333.81	1292614.00	1292.61
7.49	639.29	10.7	6265.00	1278571.40	1278.57
7.54	635.28	10.8	6225.70	1270551.40	1270.55
7.57	633.07	10.8	6204.07	1266137.20	1266.14

7.58	632.44	10.8	6197.91	1264878.60	1264.88

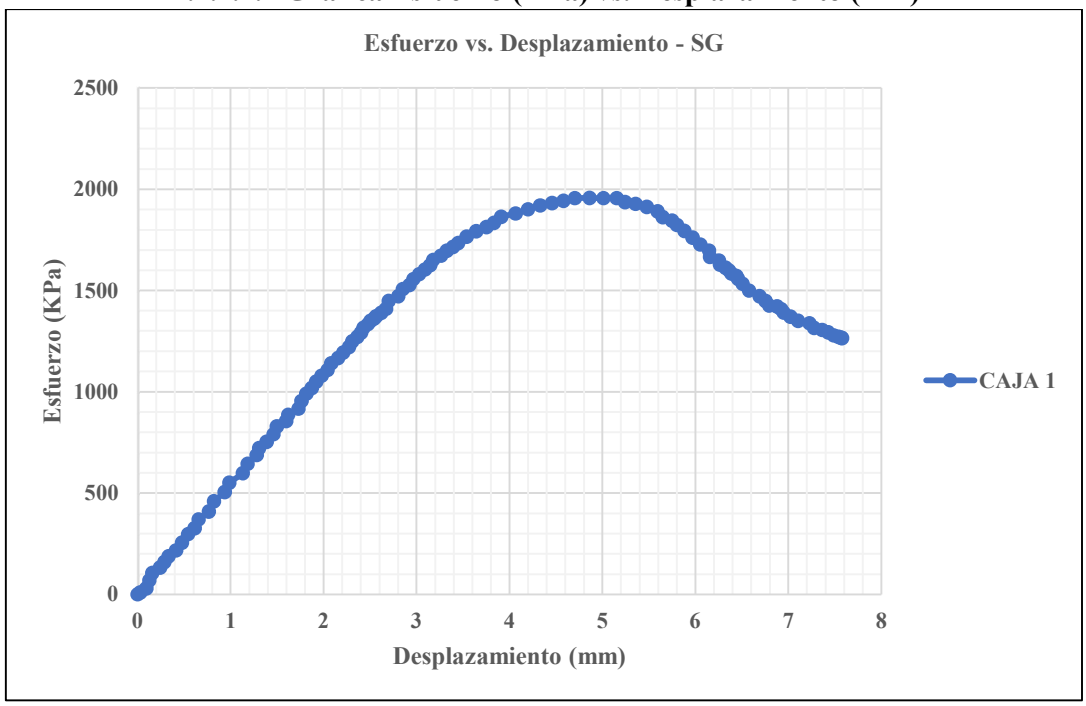
Anexo 17: Cálculos de Muestra 1 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.1.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



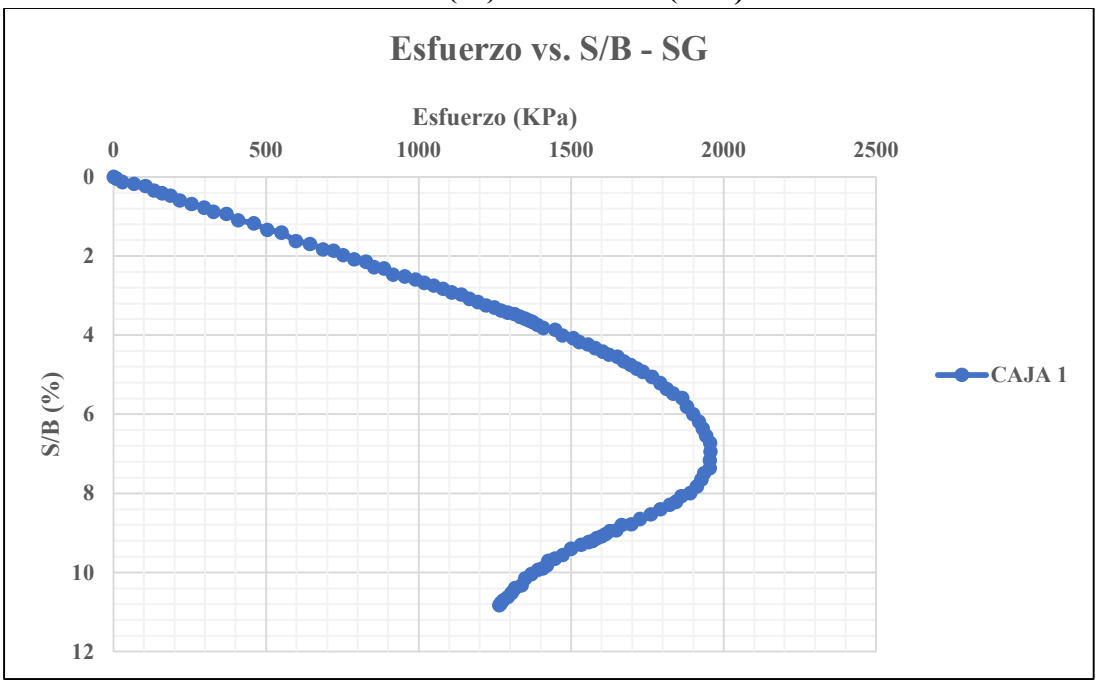
Anexo 18: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.1.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 19: Gráfica Esfuerzo vs. Desplazamiento Muestra 1 – SG. Elaboración Propia.

11.3.1.1.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 20: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.2 Muestra 2 - SG

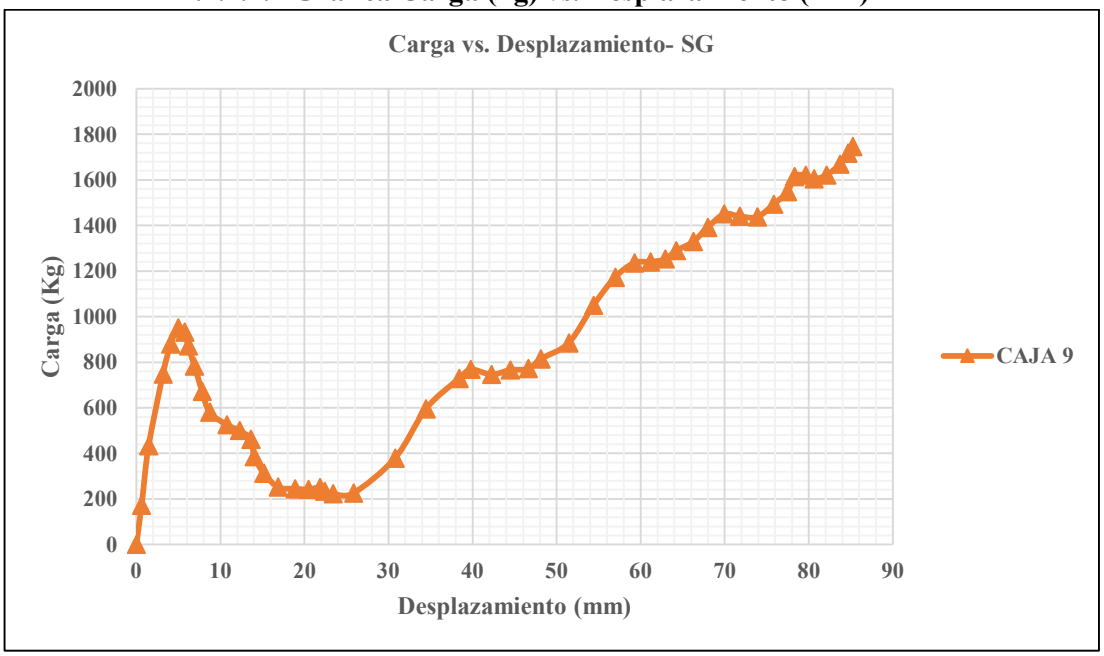
CAJA 9	
Fecha:	25-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	2300
Esfuerzo (Mpa):	4.61

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.62	172.38	0.9	1689.34	344762.60	344.76
1.46	432.55	2.1	4238.95	865091.20	865.09
3.17	748.52	4.5	7335.48	1497036.60	1497.04
4.07	879.84	5.8	8622.47	1759687.40	1759.69
4.96	950.83	7.1	9318.10	1901652.60	1901.65
5.77	931.46	8.2	9128.29	1862916.40	1862.92
6.17	871.64	8.8	8542.05	1743275.40	1743.28
6.92	782.74	9.9	7670.88	1565486.00	1565.49
7.82	672.27	11.2	6588.27	1344544.80	1344.54

8.71	580.70	12.4	5690.89	1161407.00	1161.41
10.78	525.21	15.4	5147.09	1050427.20	1050.43
12.27	499.90	17.5	4899.03	999802.40	999.80
13.64	461.99	19.5	4527.47	923973.00	923.97
14.02	386.21	20.0	3784.82	772412.60	772.41
15.16	312.42	21.7	3061.75	624847.20	624.85
16.86	251.90	24.1	2468.57	503790.60	503.79
18.87	245.00	27.0	2401.03	490006.00	490.01
20.45	242.05	29.2	2372.13	484108.80	484.11
21.84	250.13	31.2	2451.29	500264.00	500.26
22.39	233.18	32.0	2285.21	466368.60	466.37
23.40	222.96	33.4	2185.06	445929.80	445.93
25.81	225.57	36.9	2210.58	451138.60	451.14
30.78	378.98	44.0	3713.97	757953.00	757.95
34.45	595.36	49.2	5834.55	1190724.80	1190.72
38.38	728.16	54.8	7135.97	1456321.00	1456.32
39.78	768.28	56.8	7529.10	1536551.40	1536.55
42.27	746.18	60.4	7312.59	1492364.80	1492.36
44.47	765.48	63.5	7501.73	1530965.40	1530.97
46.63	771.66	66.6	7562.30	1543327.00	1543.33
48.12	814.43	68.7	7981.41	1628859.80	1628.86
51.44	884.90	73.5	8672.00	1769796.80	1769.80
54.37	1049.77	77.7	10287.70	2099531.00	2099.53
56.95	1172.38	81.4	11489.29	2344752.60	2344.75
59.24	1235.66	84.6	12109.43	2471312.80	2471.31
61.15	1239.84	87.4	12150.43	2479679.20	2479.68
62.90	1252.11	89.9	12270.64	2504212.80	2504.21
64.23	1288.79	91.8	12630.19	2577589.80	2577.59
66.25	1329.28	94.6	13026.95	2658561.20	2658.56
67.98	1391.60	97.1	13637.73	2783209.80	2783.21
69.93	1449.89	99.9	14208.90	2899774.60	2899.77
71.76	1440.14	102.5	14113.35	2880274.60	2880.27
73.88	1437.41	105.5	14086.62	2874820.00	2874.82
75.82	1493.03	108.3	14631.72	2986065.60	2986.07
77.47	1548.22	110.7	15172.60	3096448.80	3096.45
78.31	1614.60	111.9	15823.08	3229200.40	3229.20
79.60	1620.75	113.7	15883.39	3241508.80	3241.51
80.63	1604.23	115.2	15721.49	3208467.80	3208.47
82.12	1620.91	117.3	15884.93	3241821.60	3241.82
83.69	1667.64	119.6	16342.90	3335285.00	3335.29
84.66	1716.95	120.9	16826.07	3433892.40	3433.89
85.24	1746.05	121.8	17111.34	3492109.40	3492.11

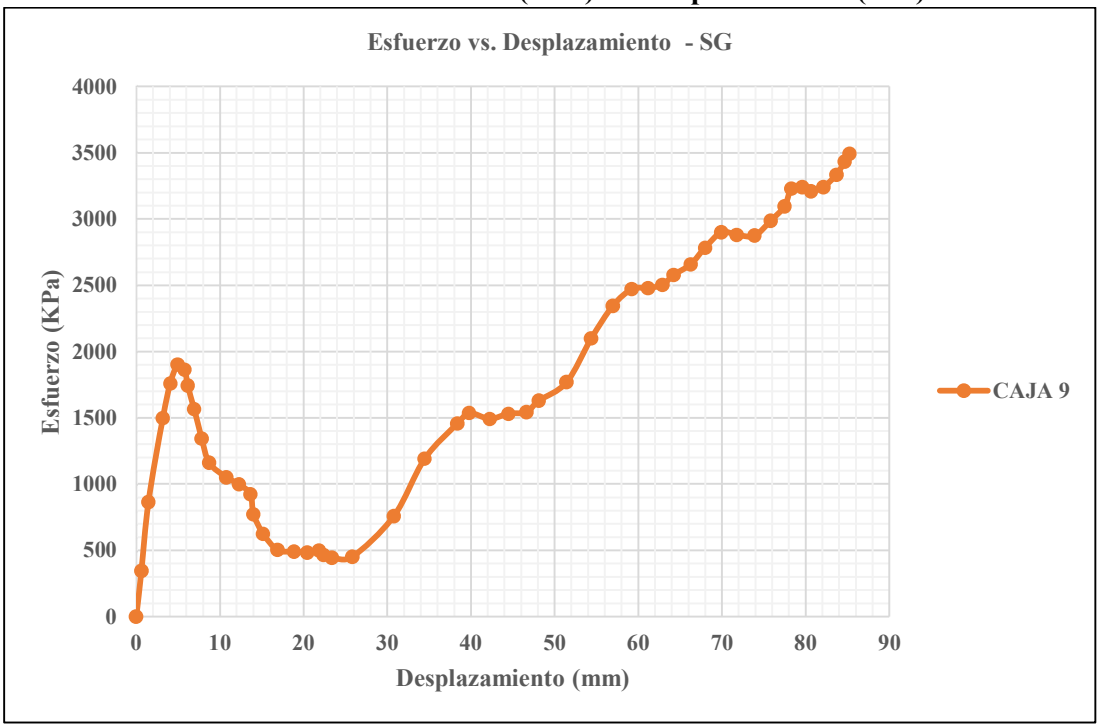
Anexo 21: Cálculos de Muestra 2 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.2.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



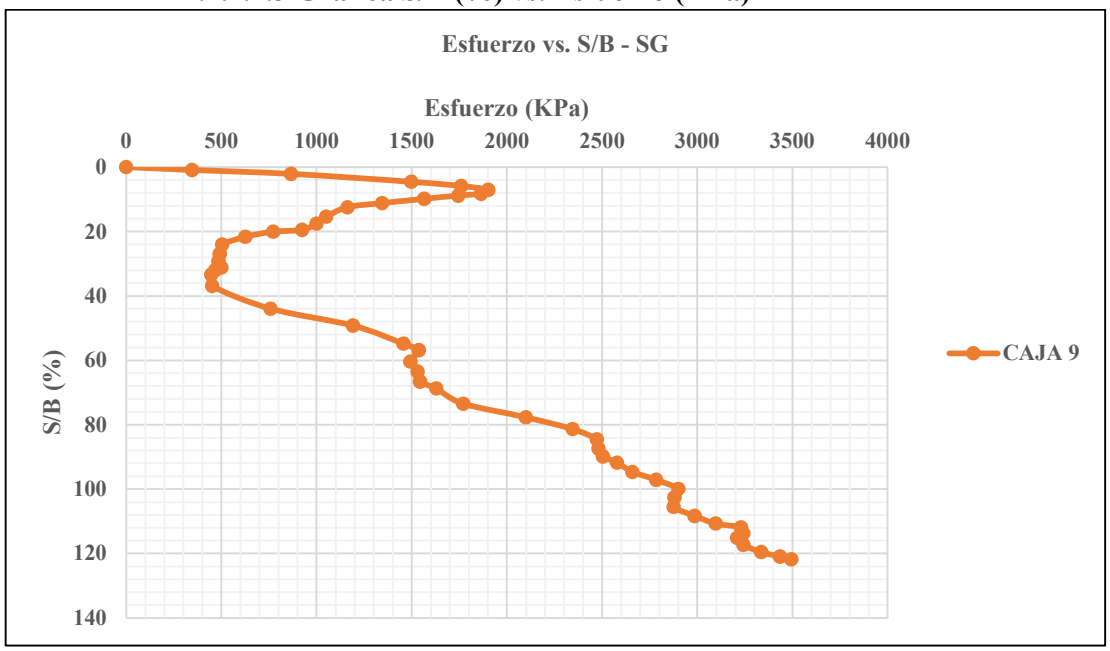
Anexo 22: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.2.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 23: Gráfica Esfuerzo vs. Deformación Muestra 2 – SG. Elaboración Propia

11.4.1.2.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 24: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.3 Muestra 3 - SG

CAJA 10	
Fecha:	29-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	2620
Esfuerzo (Mpa):	5.24

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.16	24.82	0.2	243.22	49637.40	49.64
0.49	77.44	0.7	758.94	154885.00	154.89
0.81	158.26	1.2	1550.91	316512.60	316.51
1.02	238.27	1.5	2335.09	476548.80	476.55
1.24	307.59	1.8	3014.39	615180.80	615.18
1.55	379.67	2.2	3720.77	759341.20	759.34
1.71	453.19	2.4	4441.27	906382.20	906.38
1.92	521.57	2.7	5111.42	1043147.60	1043.15
2.14	582.93	3.1	5712.73	1165863.80	1165.86
2.48	625.51	3.5	6129.95	1251010.00	1251.01
2.46	663.44	3.5	6501.67	1326872.00	1326.87
2.42	705.73	3.5	6916.13	1411455.40	1411.46
2.94	747.55	4.2	7325.95	1495091.40	1495.09

2.94	794.23	4.2	7783.46	1588462.20	1588.46
3.06	816.14	4.4	7998.15	1632274.60	1632.27
3.01	853.28	4.3	8362.15	1706560.40	1706.56
3.39	886.23	4.8	8685.09	1772467.40	1772.47
3.69	934.52	5.3	9158.30	1869041.00	1869.04
3.80	972.48	5.4	9530.31	1944961.60	1944.96
4.09	1016.86	5.8	9965.23	2033720.40	2033.72
4.35	1053.42	6.2	10323.50	2106837.00	2106.84
4.60	1083.49	6.6	10618.24	2166988.60	2166.99
4.83	1104.92	6.9	10828.21	2209839.40	2209.84
5.05	1119.15	7.2	10967.68	2238302.40	2238.30
5.42	1132.67	7.7	11100.16	2265339.40	2265.34
6.10	1140.63	8.7	11178.17	2281259.00	2281.26
6.38	1116.12	9.1	10937.96	2232236.80	2232.24
6.79	1102.07	9.7	10800.33	2204148.80	2204.15
6.75	1082.60	9.6	10609.46	2165196.80	2165.20
6.96	1066.00	9.9	10446.82	2132003.60	2132.00
7.15	1048.95	10.2	10279.73	2097904.80	2097.90
7.16	1028.31	10.2	10077.45	2056622.00	2056.62
7.22	1010.87	10.3	9906.51	2021737.60	2021.74
7.33	996.10	10.5	9761.82	1992207.60	1992.21
7.40	982.67	10.6	9630.17	1965340.60	1965.34
7.49	969.36	10.7	9499.68	1938711.20	1938.71
7.55	955.61	10.8	9364.98	1911220.80	1911.22
7.60	940.79	10.9	9219.69	1881570.00	1881.57
7.64	916.83	10.9	8984.91	1833654.20	1833.65
7.86	892.15	11.2	8743.10	1784306.40	1784.31
7.83	867.34	11.2	8499.92	1734678.20	1734.68
8.11	843.49	11.6	8266.18	1686974.80	1686.97
8.09	816.31	11.6	7999.88	1632628.80	1632.63
8.30	791.34	11.9	7755.16	1582686.20	1582.69
8.43	776.14	12.0	7606.12	1552270.00	1552.27
8.48	763.60	12.1	7483.25	1527193.00	1527.19
8.54	747.78	12.2	7328.26	1495562.60	1495.56
8.77	735.76	12.5	7210.42	1471515.20	1471.52
8.88	720.73	12.7	7063.18	1441464.60	1441.46
8.98	709.58	12.8	6953.90	1419163.00	1419.16
8.95	695.14	12.8	6812.36	1390277.40	1390.28
9.22	686.64	13.2	6729.03	1373272.00	1373.27
9.31	673.07	13.3	6596.08	1346138.40	1346.14
9.47	663.61	13.5	6503.34	1327212.60	1327.21
9.62	654.17	13.7	6410.91	1308348.00	1308.35
9.77	646.27	14.0	6333.40	1292531.00	1292.53

9.94	636.64	14.2	6239.08	1273281.00	1273.28
10.18	628.99	14.5	6164.13	1257986.60	1257.99
10.45	624.44	14.9	6119.54	1248885.00	1248.89
10.64	613.78	15.2	6015.05	1227561.40	1227.56
10.94	603.85	15.6	5917.73	1207699.80	1207.70
11.50	604.22	16.4	5921.39	1208447.40	1208.45
11.80	588.63	16.9	5768.60	1177265.60	1177.27
12.23	574.24	17.5	5627.52	1148474.40	1148.47
12.54	563.93	17.9	5526.53	1127862.40	1127.86
12.75	550.04	18.2	5390.36	1100074.40	1100.07
12.92	543.35	18.5	5324.81	1086696.00	1086.70
13.04	537.07	18.6	5263.33	1074148.40	1074.15
13.21	533.61	18.9	5229.40	1067225.20	1067.23
13.26	527.90	18.9	5173.43	1055801.20	1055.80
13.35	521.69	19.1	5112.61	1043389.20	1043.39
13.47	514.43	19.2	5041.46	1028868.80	1028.87
13.57	506.20	19.4	4960.71	1012390.20	1012.39
13.69	498.98	19.6	4890.00	997958.80	997.96
13.85	493.54	19.8	4836.70	987081.80	987.08
13.98	486.51	20.0	4767.82	973024.40	973.02
14.14	476.15	20.2	4666.30	952307.00	952.31
14.35	468.82	20.5	4594.44	937641.20	937.64
14.49	458.59	20.7	4494.21	917185.80	917.19
14.71	451.56	21.0	4425.32	903126.60	903.13
14.94	445.53	21.3	4366.19	891058.40	891.06
15.11	435.43	21.6	4267.19	870854.60	870.85
15.30	427.83	21.9	4192.75	855664.20	855.66
15.50	418.86	22.1	4104.82	837718.40	837.72
15.74	414.26	22.5	4059.78	828527.00	828.53
15.95	408.64	22.8	4004.69	817283.20	817.28
16.13	404.29	23.0	3962.04	808579.20	808.58
16.40	398.47	23.4	3904.96	796930.80	796.93
16.73	397.14	23.9	3891.92	794270.20	794.27
17.11	396.23	24.4	3883.02	792452.20	792.45
17.53	390.02	25.0	3822.18	780036.20	780.04
17.98	388.24	25.7	3804.72	776472.80	776.47
18.47	391.01	26.4	3831.86	782013.00	782.01
18.95	395.62	27.1	3877.10	791244.80	791.24
19.55	406.04	27.9	3979.16	812072.60	812.07
20.01	416.94	28.6	4086.03	833883.20	833.88
20.41	427.99	29.2	4194.30	855979.40	855.98
20.77	432.43	29.7	4237.77	864850.40	864.85
21.08	441.93	30.1	4330.87	883850.00	883.85

21.39	453.20	30.6	4441.38	906405.00	906.41
21.76	462.79	31.1	4535.32	925575.20	925.58
22.19	474.41	31.7	4649.18	948813.20	948.81
22.66	482.86	32.4	4732.01	965715.60	965.72
23.28	480.99	33.3	4713.72	961983.80	961.98
23.85	490.91	34.1	4810.93	981822.60	981.82
24.36	489.89	34.8	4800.95	979784.80	979.78
24.77	497.21	35.4	4872.61	994410.80	994.41
25.22	501.85	36.0	4918.12	1003698.40	1003.70
25.67	508.64	36.7	4984.63	1017270.60	1017.27
26.17	514.11	37.4	5038.26	1028216.60	1028.22
26.58	517.94	38.0	5075.81	1035880.00	1035.88
27.06	523.10	38.7	5126.34	1046191.20	1046.19
27.35	519.96	39.1	5095.57	1039912.40	1039.91
27.85	527.54	39.8	5169.85	1055070.60	1055.07
28.29	537.96	40.4	5272.01	1075920.60	1075.92
28.81	547.40	41.2	5364.55	1094806.60	1094.81
29.07	551.06	41.5	5400.34	1102110.80	1102.11
29.31	555.19	41.9	5440.88	1110383.40	1110.38
29.52	561.94	42.2	5507.00	1123877.20	1123.88
29.84	570.37	42.6	5589.62	1140739.00	1140.74
30.17	578.52	43.1	5669.46	1157031.80	1157.03
30.47	581.98	43.5	5703.39	1163957.40	1163.96
30.89	587.52	44.1	5757.70	1175041.20	1175.04
31.22	612.31	44.6	6000.65	1224622.00	1224.62
31.98	618.05	45.7	6056.88	1236097.40	1236.10
32.63	638.95	46.6	6261.71	1277900.40	1277.90
33.16	659.01	47.4	6458.30	1318020.80	1318.02
33.76	670.45	48.2	6570.38	1340894.80	1340.89
34.01	688.55	48.6	6747.74	1377090.00	1377.09
34.40	695.58	49.1	6816.66	1391155.60	1391.16
34.79	705.05	49.7	6909.53	1410107.80	1410.11
35.12	716.12	50.2	7017.97	1432238.20	1432.24
35.68	716.43	51.0	7021.03	1432863.80	1432.86
36.03	730.94	51.5	7163.25	1461888.60	1461.89
36.42	734.93	52.0	7202.34	1469865.60	1469.87
36.71	745.46	52.4	7305.54	1490927.00	1490.93
37.13	750.41	53.0	7354.04	1500824.60	1500.82
37.53	762.25	53.6	7470.08	1524506.80	1524.51
37.86	771.30	54.1	7558.72	1542596.00	1542.60
38.17	782.82	54.5	7671.61	1565634.40	1565.63
38.47	788.40	55.0	7726.36	1576808.40	1576.81
38.73	795.67	55.3	7797.53	1591332.80	1591.33

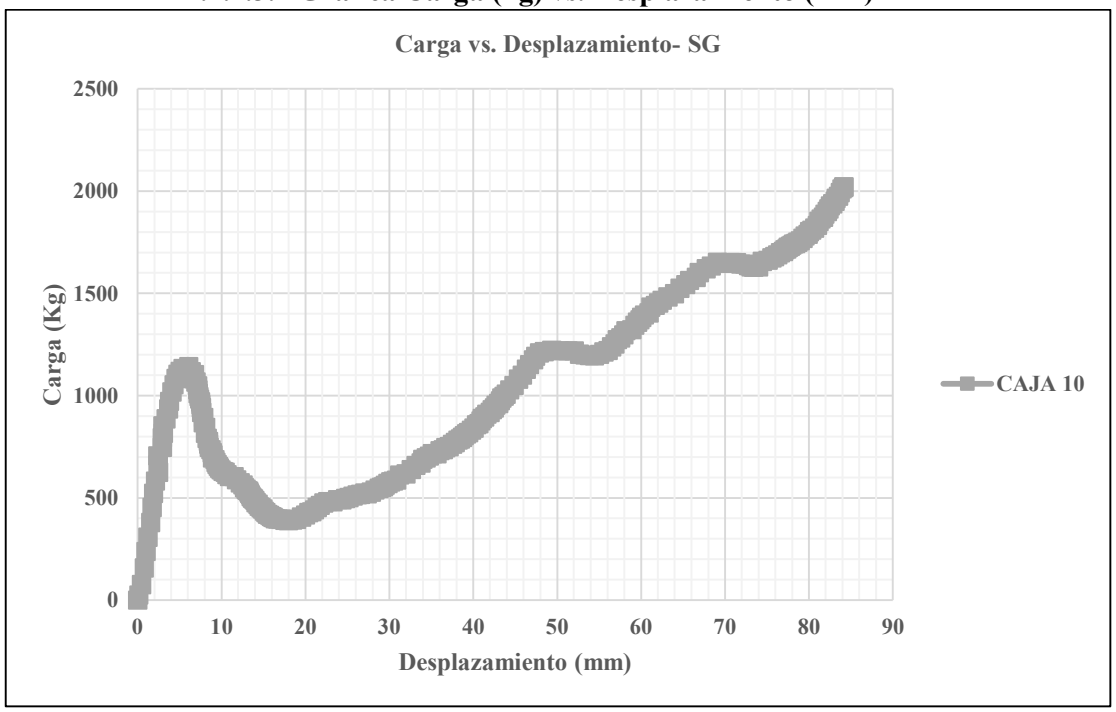
38.94	803.72	55.6	7876.42	1607432.80	1607.43
39.18	813.60	56.0	7973.26	1627195.80	1627.20
39.43	819.79	56.3	8033.92	1639575.60	1639.58
39.78	830.71	56.8	8140.95	1661417.40	1661.42
40.08	841.21	57.3	8243.85	1682417.40	1682.42
40.41	856.60	57.7	8394.68	1713200.60	1713.20
40.71	863.11	58.2	8458.48	1726219.40	1726.22
40.91	876.56	58.4	8590.26	1753114.00	1753.11
41.09	887.95	58.7	8701.94	1775906.20	1775.91
41.39	896.16	59.1	8782.36	1792319.20	1792.32
41.64	908.90	59.5	8907.18	1817791.00	1817.79
42.01	917.66	60.0	8993.10	1835326.80	1835.33
42.26	930.96	60.4	9123.41	1861919.80	1861.92
42.54	939.01	60.8	9202.32	1878024.80	1878.02
42.69	953.55	61.0	9344.76	1907093.20	1907.09
43.04	961.18	61.5	9419.60	1922366.40	1922.37
43.23	975.61	61.8	9560.95	1951214.20	1951.21
43.40	987.60	62.0	9678.46	1975196.40	1975.20
43.66	997.26	62.4	9773.15	1994520.00	1994.52
43.91	1006.56	62.7	9864.28	2013118.60	2013.12
44.34	1027.59	63.3	10070.39	2055181.20	2055.18
44.84	1049.40	64.1	10284.10	2098796.40	2098.80
45.41	1080.33	64.9	10587.23	2160660.20	2160.66
45.87	1099.62	65.5	10776.31	2199246.80	2199.25
46.31	1129.09	66.2	11065.05	2258174.00	2258.17
46.72	1151.02	66.7	11280.01	2302042.40	2302.04
47.18	1174.68	67.4	11511.91	2349369.80	2349.37
47.43	1192.81	67.8	11689.50	2385612.80	2385.61
47.90	1208.92	68.4	11847.39	2417834.00	2417.83
48.48	1213.85	69.3	11895.72	2427697.00	2427.70
49.39	1222.04	70.6	11975.95	2444070.80	2444.07
50.33	1219.02	71.9	11946.35	2438031.60	2438.03
51.26	1219.53	73.2	11951.36	2439053.80	2439.05
52.04	1219.40	74.3	11950.15	2438806.40	2438.81
52.65	1203.09	75.2	11790.29	2406180.80	2406.18
53.31	1198.60	76.2	11746.32	2397208.20	2397.21
53.85	1195.81	76.9	11718.93	2391618.40	2391.62
54.46	1193.71	77.8	11698.33	2387413.40	2387.41
55.08	1201.39	78.7	11773.58	2402770.60	2402.77
55.57	1213.65	79.4	11893.77	2427299.40	2427.30
56.07	1220.20	80.1	11957.97	2440402.80	2440.40
56.49	1237.38	80.7	12126.28	2474750.60	2474.75
56.90	1252.03	81.3	12269.89	2504058.80	2504.06

57.17	1273.45	81.7	12479.83	2546903.40	2546.90
57.59	1281.39	82.3	12557.58	2562772.00	2562.77
57.94	1296.72	82.8	12707.84	2593436.60	2593.44
58.20	1317.53	83.1	12911.78	2635056.80	2635.06
58.92	1322.47	84.2	12960.21	2644940.40	2644.94
59.26	1344.38	84.7	13174.96	2688767.80	2688.77
59.59	1358.83	85.1	13316.56	2717664.60	2717.66
59.87	1370.35	85.5	13429.38	2740690.80	2740.69
60.08	1381.90	85.8	13542.57	2763790.80	2763.79
60.39	1394.48	86.3	13665.95	2788969.60	2788.97
60.95	1403.98	87.1	13759.03	2807965.20	2807.97
61.18	1431.35	87.4	14027.21	2862695.20	2862.70
61.70	1440.52	88.1	14117.12	2881045.20	2881.05
62.10	1452.35	88.7	14233.01	2904696.20	2904.70
62.51	1465.13	89.3	14358.26	2930257.80	2930.26
63.21	1482.19	90.3	14525.44	2964374.80	2964.37
63.98	1498.02	91.4	14680.55	2996031.60	2996.03
64.64	1524.41	92.3	14939.21	3048818.20	3048.82
65.34	1542.03	93.3	15111.85	3084051.00	3084.05
65.79	1562.65	94.0	15313.97	3125300.60	3125.30
66.59	1578.29	95.1	15467.22	3156575.60	3156.58
66.92	1601.49	95.6	15694.60	3202979.20	3202.98
67.75	1619.87	96.8	15874.69	3239733.20	3239.73
68.36	1634.00	97.7	16013.24	3268008.80	3268.01
69.12	1651.02	98.7	16179.96	3302033.00	3302.03
69.72	1648.20	99.6	16152.34	3296395.00	3296.40
70.21	1648.57	100.3	16156.02	3297147.40	3297.15
70.64	1649.31	100.9	16163.25	3298623.00	3298.62
70.99	1649.00	101.4	16160.19	3297997.40	3298.00
71.39	1649.74	102.0	16167.41	3299471.00	3299.47
71.90	1642.63	102.7	16097.73	3285251.40	3285.25
72.40	1641.97	103.4	16091.30	3283938.40	3283.94
72.80	1634.92	104.0	16022.22	3269841.80	3269.84
73.09	1629.55	104.4	15969.62	3259105.80	3259.11
73.44	1627.80	104.9	15952.40	3255591.20	3255.59
73.99	1629.56	105.7	15969.73	3259128.00	3259.13
74.46	1655.42	106.4	16223.15	3310846.20	3310.85
75.16	1661.08	107.4	16278.56	3322155.40	3322.16
75.59	1673.49	108.0	16400.19	3346977.80	3346.98
75.92	1678.90	108.5	16453.18	3357792.40	3357.79
76.28	1688.14	109.0	16543.77	3376280.00	3376.28
76.62	1697.38	109.5	16634.30	3394754.40	3394.75
76.96	1704.44	109.9	16703.49	3408875.20	3408.88

77.15	1712.41	110.2	16781.61	3424818.20	3424.82
77.37	1717.95	110.5	16835.91	3435900.00	3435.90
77.56	1724.68	110.8	16901.89	3449364.60	3449.36
77.79	1728.74	111.1	16941.70	3457489.80	3457.49
77.99	1734.75	111.4	17000.56	3469501.40	3469.50
78.19	1741.22	111.7	17063.95	3482438.20	3482.44
78.46	1743.93	112.1	17090.49	3487855.40	3487.86
78.71	1750.04	112.4	17150.37	3500076.40	3500.08
78.98	1757.36	112.8	17222.13	3514719.40	3514.72
79.31	1768.35	113.3	17329.86	3536705.20	3536.71
79.56	1781.13	113.7	17455.09	3562262.60	3562.26
79.91	1787.98	114.2	17522.22	3575963.00	3575.96
80.10	1801.16	114.4	17651.39	3602325.00	3602.33
80.35	1807.66	114.8	17715.12	3615329.60	3615.33
80.71	1818.17	115.3	17818.02	3636331.60	3636.33
81.01	1832.31	115.7	17956.62	3664616.00	3664.62
81.21	1851.59	116.0	18145.58	3703180.00	3703.18
81.45	1862.28	116.4	18250.36	3724563.80	3724.56
81.74	1871.29	116.8	18338.61	3742573.00	3742.57
81.91	1885.99	117.0	18482.74	3771987.40	3771.99
82.19	1899.50	117.4	18615.10	3799000.80	3799.00
82.39	1912.89	117.7	18746.32	3825779.80	3825.78
82.57	1926.92	118.0	18883.77	3853831.20	3853.83
82.85	1937.58	118.4	18988.25	3875152.60	3875.15
83.13	1949.99	118.8	19109.94	3899986.80	3899.99
83.25	1963.51	118.9	19242.37	3927014.60	3927.01
83.54	1974.72	119.3	19352.30	3949448.40	3949.45
83.75	1992.13	119.6	19522.84	3984252.60	3984.25
83.96	2009.37	119.9	19691.81	4018737.20	4018.74
84.13	2017.81	120.2	19774.52	4035617.00	4035.62
84.17	2019.86	120.2	19794.61	4039716.40	4039.72

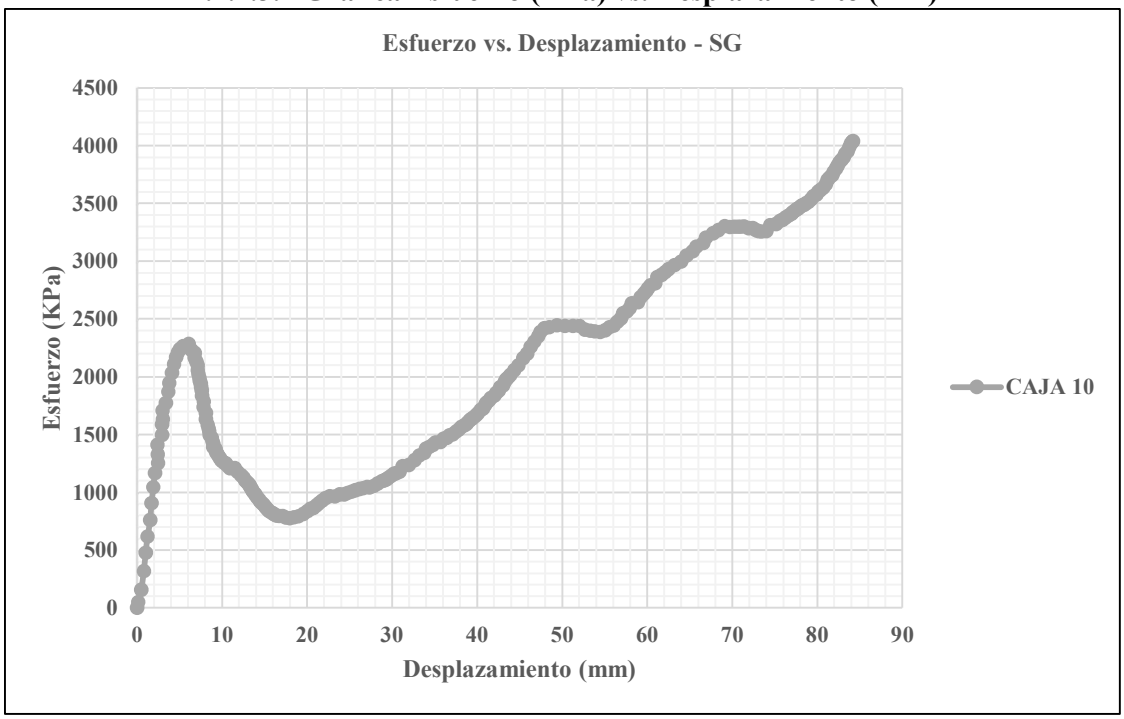
Anexo 25: Cálculos de Muestra 3 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.3.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



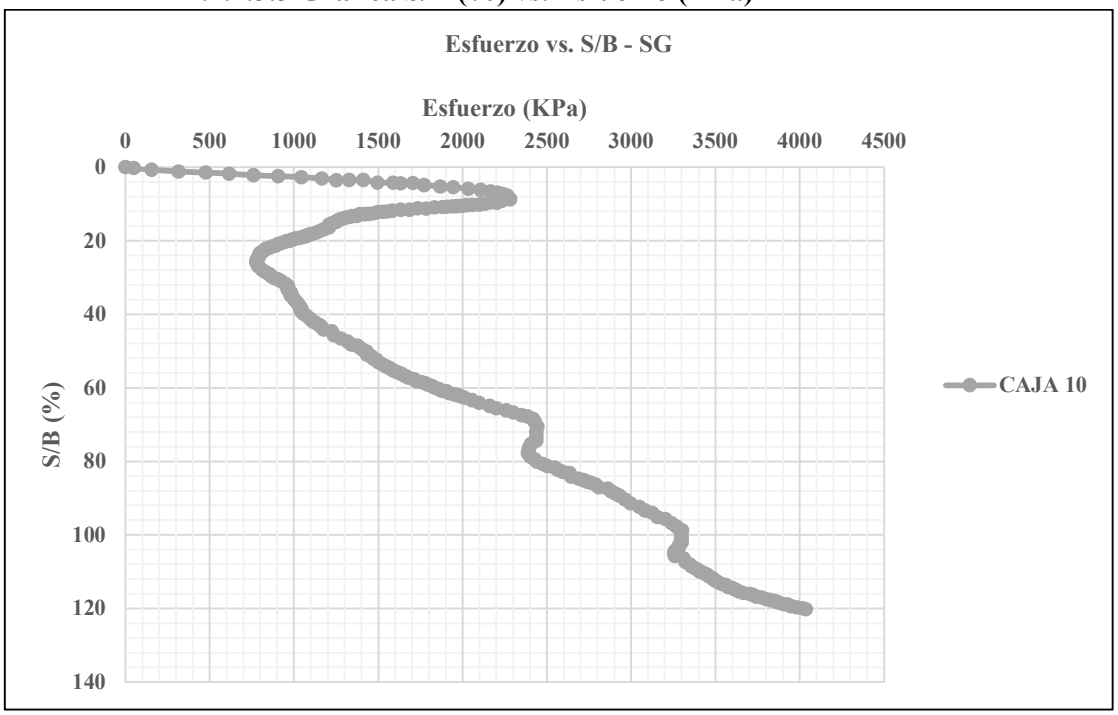
Anexo 26: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.3.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 27: Gráfica Esfuerzo vs. Desplazamiento Muestra 3 – SG. Elaboración Propia

11.4.1.3.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 28: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.4 Muestra 4 - SG

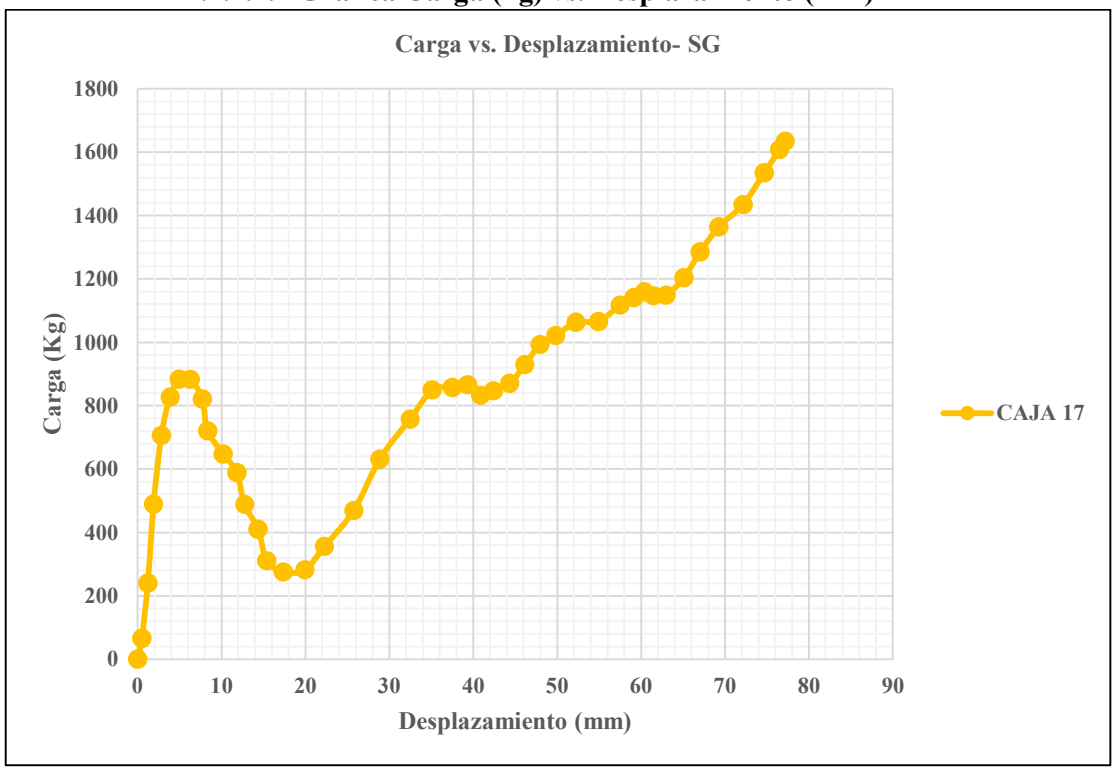
CAJA 17	
Fecha:	05-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	2190
Esfuerzo (Mpa):	4.39

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.50	65.59	0.7	642.80	131184.40	131.18
1.22	240.36	1.7	2355.51	480717.20	480.72
1.90	488.88	2.7	4791.05	977765.20	977.77
2.84	706.69	4.1	6925.54	1413375.60	1413.38
3.87	826.62	5.5	8100.90	1653245.60	1653.25
4.97	883.82	7.1	8661.40	1767633.60	1767.63
6.30	882.81	9.0	8651.57	1765625.60	1765.63
7.71	821.55	11.0	8051.23	1643107.60	1643.11
8.36	720.81	11.9	7063.94	1441619.60	1441.62
10.21	647.82	14.6	6348.64	1295641.60	1295.64

11.82	588.93	16.9	5771.50	1177857.60	1177.86
12.77	487.82	18.2	4780.62	975636.20	975.64
14.36	410.18	20.5	4019.76	820360.00	820.36
15.40	310.50	22.0	3042.93	621006.40	621.01
17.37	275.47	24.8	2699.58	550935.40	550.94
19.92	282.07	28.5	2764.26	564134.20	564.13
22.29	356.38	31.8	3492.51	712757.40	712.76
25.78	469.65	36.8	4602.55	939295.40	939.30
28.87	631.71	41.2	6190.75	1263417.60	1263.42
32.47	757.61	46.4	7424.55	1515213.60	1515.21
35.10	849.69	50.1	8326.94	1699375.60	1699.38
37.50	857.09	53.6	8399.45	1714173.60	1714.17
39.34	866.12	56.2	8487.93	1732231.60	1732.23
40.87	832.19	58.4	8155.46	1664379.60	1664.38
42.43	846.73	60.6	8297.91	1693451.60	1693.45
44.36	870.71	63.4	8532.94	1741415.60	1741.42
46.15	929.38	65.9	9107.93	1858761.60	1858.76
47.96	993.04	68.5	9731.76	1986073.60	1986.07
49.84	1021.23	71.2	10008.02	2042453.60	2042.45
52.23	1063.29	74.6	10420.27	2126585.60	2126.59
54.91	1065.44	78.4	10441.32	2130881.60	2130.88
57.51	1117.35	82.2	10950.00	2234693.60	2234.69
59.16	1141.30	84.5	11184.73	2282597.60	2282.60
60.42	1159.16	86.3	11359.77	2318319.60	2318.32
61.49	1146.33	87.8	11234.04	2292661.60	2292.66
63.01	1148.99	90.0	11260.09	2297977.60	2297.98
65.11	1203.70	93.0	11796.22	2407391.60	2407.39
67.03	1284.95	95.8	12592.47	2569891.60	2569.89
69.25	1363.69	98.9	13364.21	2727389.60	2727.39
72.15	1434.08	103.1	14054.02	2868167.60	2868.17
74.67	1534.38	106.7	15036.96	3068767.60	3068.77
76.51	1607.59	109.3	15754.43	3215189.60	3215.19
77.17	1633.94	110.2	16012.58	3267873.60	3267.87

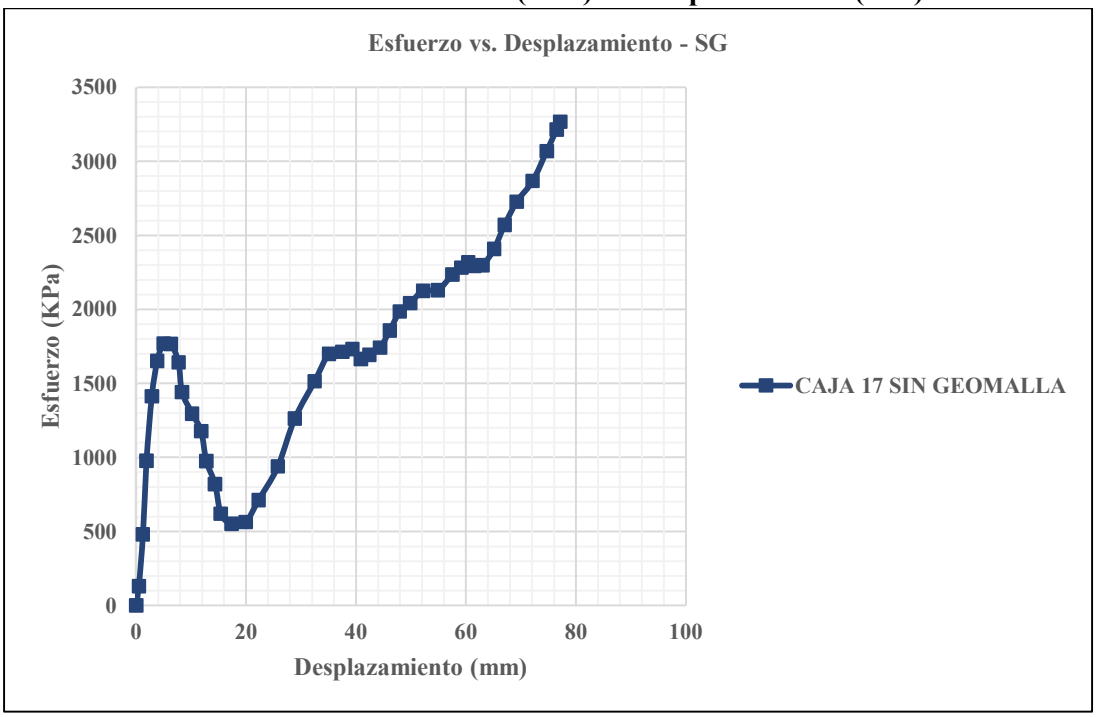
Anexo 29: Cálculos de Muestra 4 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.4.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



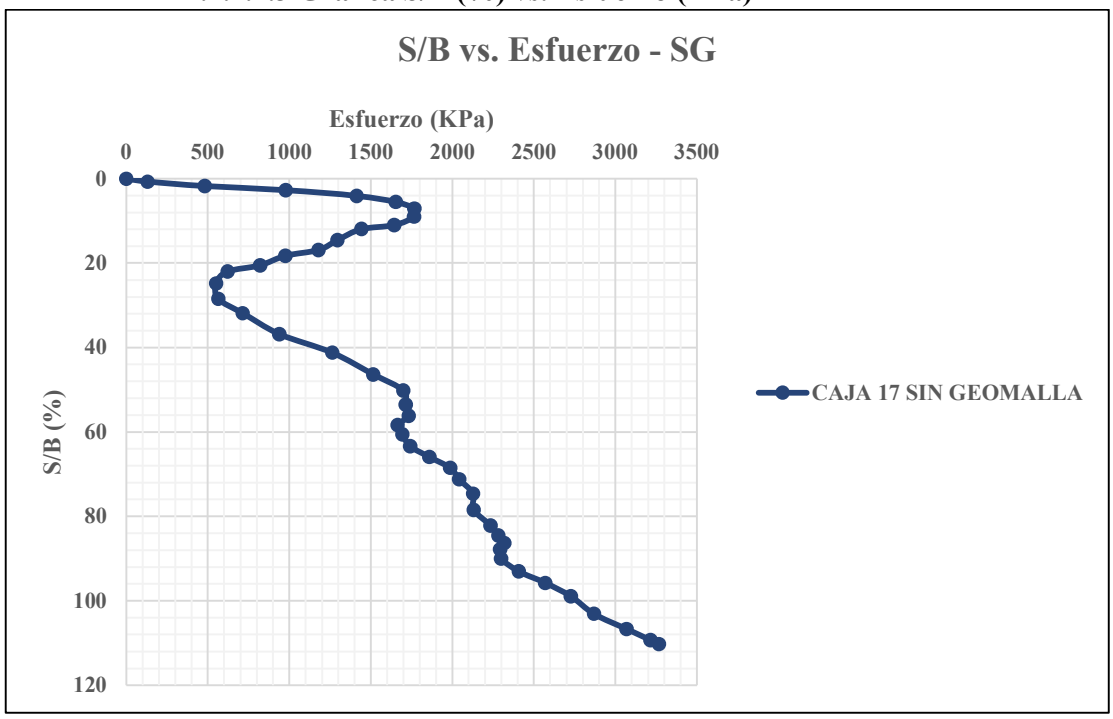
Anexo 30: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 4 – SG. Elaboración Propia.

11.4.1.4.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 31: Gráfica Esfuerzo vs. Deformación Muestra 4 – SG. Elaboración Propia

11.4.1.4.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 32: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 4 – SG. Elaboración Propia

11.4.2 Muestras con Geomalla Biaxial

11.4.2.1 Muestra 1 – DU (B)

CAJA 2	
Fecha:	16-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	2100
Esfuerzo (Mpa):	4.2

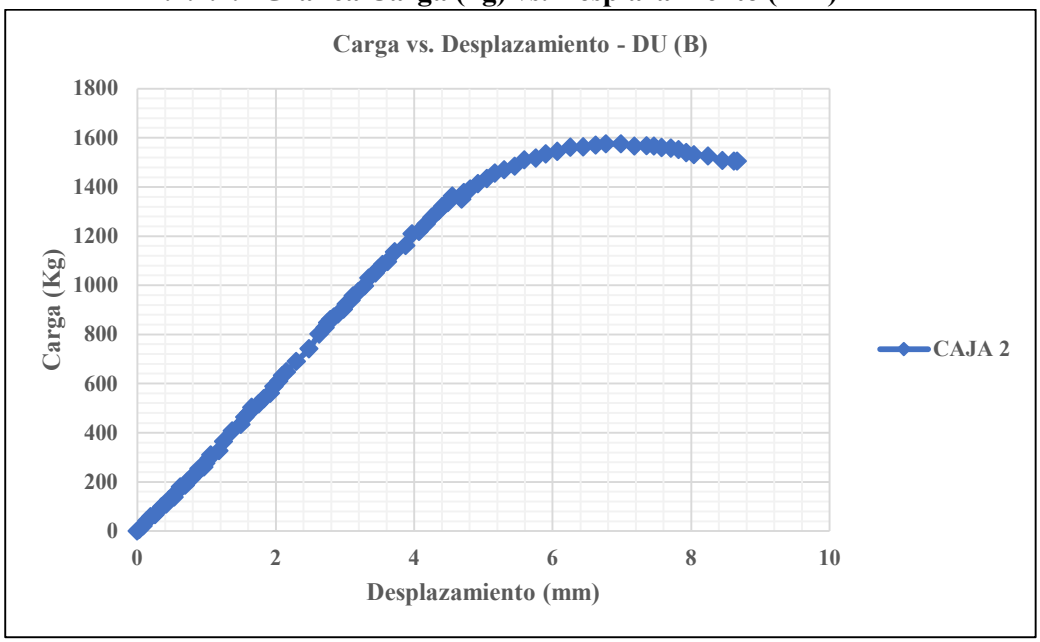
Fuerza (kg)	Desplazamiento (mm)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	-0.60	0.00
6.85	0.03	0.0	67.13	13700.60	13.70
20.57	0.09	0.1	201.60	41142.60	41.14
41.73	0.14	0.2	408.97	83463.00	83.46
57.79	0.19	0.3	566.36	115583.60	115.58
66.00	0.26	0.4	646.81	132001.40	132.00
82.66	0.30	0.4	810.10	165326.40	165.33
99.81	0.35	0.5	978.11	199615.20	199.62
110.86	0.42	0.6	1086.41	221717.20	221.72
127.28	0.46	0.7	1247.39	254568.60	254.57
139.03	0.53	0.8	1362.51	278063.20	278.06

159.31	0.57	0.8	1561.22	318617.00	318.62
180.00	0.62	0.9	1763.97	359993.20	359.99
186.74	0.69	1.0	1830.03	373475.40	373.48
203.94	0.73	1.0	1998.62	407882.40	407.88
214.04	0.78	1.1	2097.63	428088.60	428.09
228.14	0.83	1.2	2235.74	456274.00	456.27
239.91	0.86	1.2	2351.12	479819.80	479.82
253.58	0.89	1.3	2485.06	507154.20	507.15
260.46	0.96	1.4	2552.52	520922.40	520.92
277.33	0.99	1.4	2717.85	554663.80	554.66
293.48	1.03	1.5	2876.06	586952.00	586.95
310.28	1.06	1.5	3040.79	620569.40	620.57
327.52	1.18	1.7	3209.68	655037.20	655.04
364.64	1.24	1.8	3573.47	729280.20	729.28
408.12	1.37	2.0	3999.53	816231.20	816.23
433.59	1.50	2.1	4249.15	867173.40	867.17
464.06	1.55	2.2	4547.79	928121.40	928.12
480.04	1.61	2.3	4704.37	960074.60	960.07
503.77	1.65	2.4	4936.90	1007530.20	1007.53
517.73	1.75	2.5	5073.72	1035454.00	1035.45
538.76	1.83	2.6	5279.87	1077525.20	1077.53
560.45	1.92	2.7	5492.45	1120908.80	1120.91
588.86	1.97	2.8	5770.86	1177725.80	1177.73
611.35	2.05	2.9	5991.22	1222698.80	1222.70
632.61	2.10	3.0	6199.57	1265217.40	1265.22
648.30	2.15	3.1	6353.30	1296591.80	1296.59
690.85	2.30	3.3	6770.35	1381703.80	1381.70
741.63	2.48	3.5	7267.94	1483253.00	1483.25
801.68	2.63	3.8	7856.45	1603357.80	1603.36
829.24	2.71	3.9	8126.57	1658483.60	1658.48
847.18	2.75	3.9	8302.39	1694366.00	1694.37
860.41	2.79	4.0	8432.04	1720824.00	1720.82
870.59	2.84	4.1	8531.83	1741189.40	1741.19
883.95	2.90	4.1	8662.69	1767895.80	1767.90
902.42	2.98	4.3	8843.74	1804844.00	1804.84
923.56	3.02	4.3	9050.85	1847111.80	1847.11
938.47	3.09	4.4	9197.04	1876947.40	1876.95
956.95	3.12	4.5	9378.13	1913904.40	1913.90
973.30	3.19	4.6	9538.39	1946609.20	1946.61
998.11	3.28	4.7	9781.46	1996216.80	1996.22
1029.56	3.34	4.8	10089.70	2059122.40	2059.12
1050.72	3.44	4.9	10297.05	2101437.80	2101.44
1068.05	3.49	5.0	10466.92	2136106.20	2136.11

1084.10	3.55	5.1	10624.19	2168202.20	2168.20
1096.72	3.62	5.2	10747.82	2193433.00	2193.43
1135.92	3.72	5.3	11131.97	2271830.40	2271.83
1162.20	3.88	5.5	11389.52	2324392.80	2324.39
1209.04	3.97	5.7	11848.61	2418084.00	2418.08
1218.94	4.07	5.8	11945.66	2437888.80	2437.89
1250.41	4.17	6.0	12253.99	2500815.00	2500.82
1277.16	4.26	6.1	12516.17	2554320.00	2554.32
1302.70	4.35	6.2	12766.49	2605406.80	2605.41
1321.22	4.41	6.3	12948.00	2642448.80	2642.45
1336.60	4.49	6.4	13098.67	2673197.00	2673.20
1363.90	4.55	6.5	13366.23	2727801.60	2727.80
1350.68	4.69	6.7	13236.62	2701350.80	2701.35
1377.59	4.72	6.7	13500.38	2755179.40	2755.18
1392.15	4.81	6.9	13643.09	2784303.40	2784.30
1414.19	4.92	7.0	13859.04	2828375.00	2828.38
1434.89	5.05	7.2	14061.92	2869780.00	2869.78
1456.91	5.16	7.4	14277.75	2913825.60	2913.83
1469.93	5.30	7.6	14405.35	2939868.00	2939.87
1485.09	5.45	7.8	14553.86	2970176.20	2970.18
1509.96	5.59	8.0	14797.56	3019911.20	3019.91
1518.39	5.76	8.2	14880.25	3036786.60	3036.79
1535.29	5.90	8.4	15045.82	3070574.60	3070.57
1544.54	6.07	8.7	15136.46	3089073.00	3089.07
1561.93	6.25	8.9	15306.91	3123858.60	3123.86
1562.70	6.44	9.2	15314.47	3125402.20	3125.40
1571.02	6.62	9.5	15396.02	3142044.20	3142.04
1575.28	6.77	9.7	15437.70	3150551.00	3150.55
1575.06	6.99	10.0	15435.63	3150128.80	3150.13
1567.04	7.18	10.3	15357.04	3134089.40	3134.09
1567.71	7.36	10.5	15363.58	3135425.20	3135.43
1567.19	7.46	10.7	15358.47	3134381.00	3134.38
1560.54	7.57	10.8	15293.25	3121071.80	3121.07
1558.25	7.71	11.0	15270.89	3116508.00	3116.51
1551.56	7.82	11.2	15205.31	3103124.00	3103.12
1540.34	7.93	11.3	15095.31	3080674.80	3080.67
1531.21	8.04	11.5	15005.81	3062410.40	3062.41
1526.60	8.25	11.8	14960.66	3053196.20	3053.20
1507.84	8.45	12.1	14776.88	3015689.20	3015.69
1506.04	8.62	12.3	14759.17	3012076.00	3012.08
1505.49	8.67	12.4	14753.85	3010989.40	3010.99

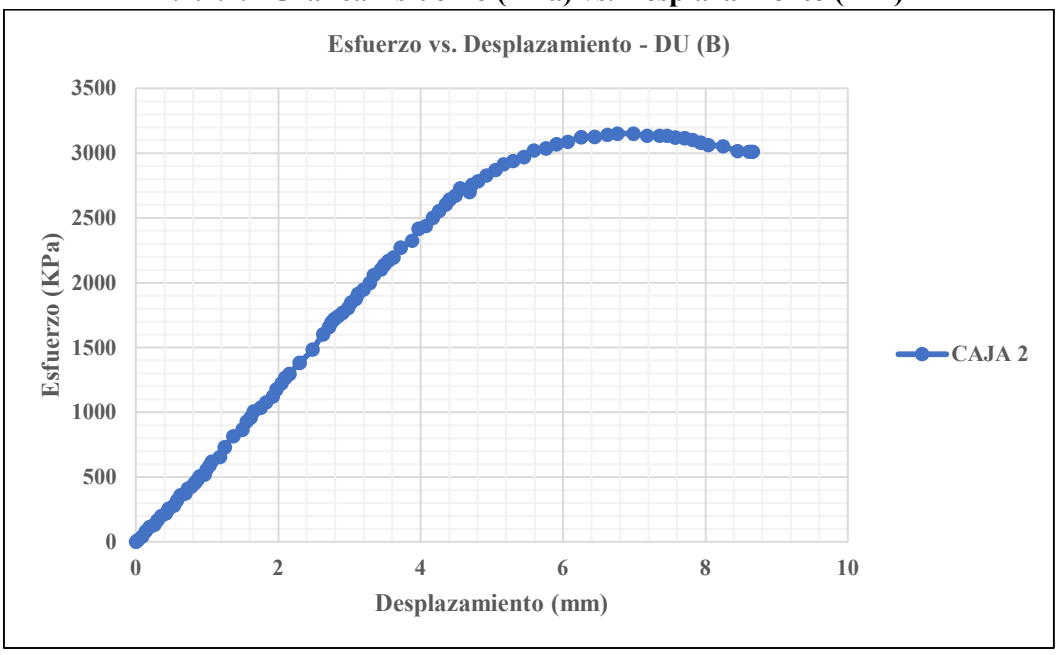
Anexo 33: Cálculos de Muestra 1 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.1.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



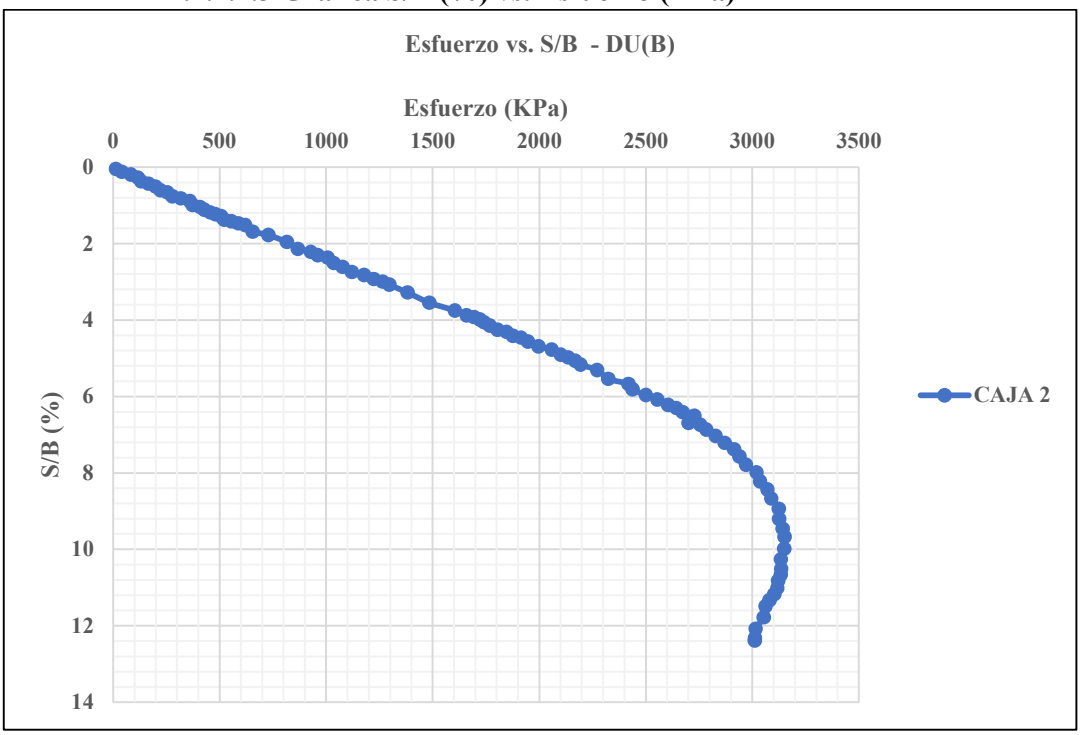
Anexo 34: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.1.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 35: Gráfica Esfuerzo vs. Desplazamiento Muestra 1 – DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.1.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 36: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.2 Muestra 2 – DU (B)

CAJA 8	
Fecha:	24-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4450
Esfuerzo (Mpa):	8.9

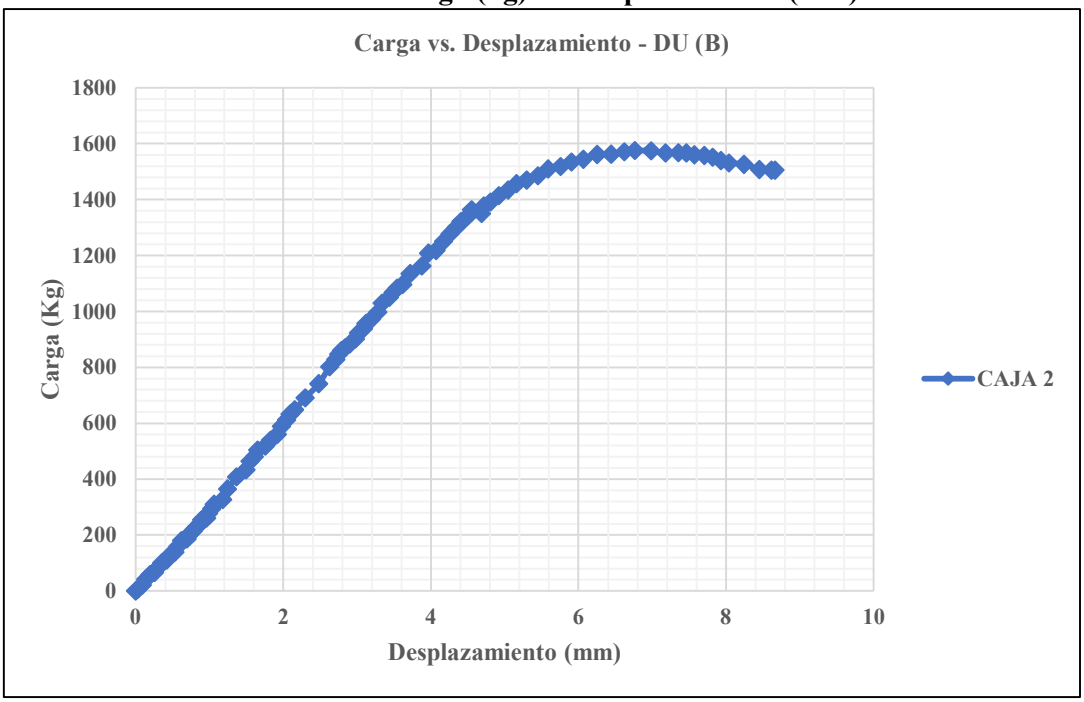
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1.73	275.76	2.5	2702.46	551523.00	551.52
3.28	575.71	4.7	5641.99	1151426.40	1151.43
5.80	915.36	8.3	8970.56	1830727.20	1830.73
7.85	1020.23	11.2	9998.22	2040454.00	2040.45
10.15	958.39	14.5	9392.24	1916784.40	1916.78
12.76	1067.12	18.2	10457.74	2134231.80	2134.23
14.48	1194.88	20.7	11709.85	2389765.00	2389.77
16.65	1228.48	23.8	12039.06	2456951.40	2456.95
18.16	1240.05	25.9	12152.52	2480107.00	2480.11
20.20	1349.60	28.9	13226.07	2699197.20	2699.20
21.87	1369.95	31.2	13425.55	2739909.00	2739.91

23.68	1539.37	33.8	15085.78	3078730.80	3078.73
23.63	1405.36	33.8	13772.56	2810726.80	2810.73
24.23	1480.32	34.6	14507.14	2960640.40	2960.64
24.75	1502.14	35.4	14720.96	3004277.20	3004.28
25.68	1520.99	36.7	14905.70	3041979.00	3041.98
26.44	1599.03	37.8	15670.50	3198060.80	3198.06
28.01	1647.24	40.0	16142.96	3294481.00	3294.48
29.24	1762.48	41.8	17272.27	3524952.20	3524.95
31.88	1979.71	45.5	19401.13	3959413.80	3959.41
34.16	2141.57	48.8	20987.34	4283130.60	4283.13
36.07	2319.66	51.5	22732.64	4639314.20	4639.31
36.79	2304.59	52.6	22585.01	4609186.20	4609.19
37.34	2346.65	53.3	22997.17	4693299.60	4693.30
38.03	2383.20	54.3	23355.34	4766395.60	4766.40
38.88	2369.25	55.5	23218.61	4738491.00	4738.49
39.96	2446.91	57.1	23979.68	4893811.40	4893.81
40.93	2484.98	58.5	24352.81	4969961.40	4969.96
41.63	2548.95	59.5	24979.68	5097894.60	5097.89
42.01	2539.98	60.0	24891.76	5079951.40	5079.95
43.36	2650.11	61.9	25971.03	5300211.20	5300.21
44.75	2721.75	63.9	26673.18	5443507.00	5443.51
46.34	2818.12	66.2	27617.55	5636234.40	5636.23
47.25	2802.32	67.5	27462.73	5604639.20	5604.64
49.20	2940.76	70.3	28819.44	5881518.40	5881.52
51.07	3026.00	73.0	29654.81	6052002.40	6052.00
53.11	3135.55	75.9	30728.35	6271092.80	6271.09
53.93	3111.77	77.0	30495.33	6223537.20	6223.54
54.89	3111.95	78.4	30497.07	6223892.00	6223.89
54.97	3074.46	78.5	30129.67	6148912.40	6148.91
55.45	3031.06	79.2	29704.43	6062128.20	6062.13
56.54	2984.49	80.8	29247.99	5968978.20	5968.98
58.57	2988.82	83.7	29290.48	5977648.80	5977.65
61.85	3114.32	88.4	30520.37	6228646.00	6228.65
64.72	3199.43	92.5	31354.39	6398855.40	6398.86
66.69	3281.07	95.3	32154.53	6562149.20	6562.15
67.20	3278.76	96.0	32131.85	6557519.60	6557.52
66.91	3173.52	95.6	31100.50	6347040.40	6347.04
67.93	3266.30	97.0	32009.70	6532592.00	6532.59
68.74	3266.69	98.2	32013.59	6533385.00	6533.39
69.24	3310.00	98.9	32437.98	6619996.20	6620.00
69.98	3317.27	100.0	32509.26	6634542.60	6634.54
69.87	3257.26	99.8	31921.14	6514518.60	6514.52
70.43	3268.81	100.6	32034.34	6537620.60	6537.62

70.92	3284.63	101.3	32189.37	6569258.20	6569.26
71.72	3328.21	102.5	32616.44	6656416.80	6656.42
72.08	3258.90	103.0	31937.22	6517799.00	6517.80
72.71	3313.84	103.9	32475.68	6627689.40	6627.69
73.94	3349.50	105.6	32825.11	6699002.80	6699.00
75.79	3457.46	108.3	33883.14	6914926.00	6914.93
77.04	3562.48	110.1	34912.27	7124954.00	7124.95
78.76	3620.16	112.5	35477.55	7240315.60	7240.32
78.93	3525.99	112.8	34554.70	7051978.80	7051.98
80.63	3589.65	115.2	35178.62	7179309.40	7179.31
82.12	3689.70	117.3	36159.04	7379395.20	7379.40
83.94	3766.01	119.9	36906.86	7532013.00	7532.01
84.84	3803.67	121.2	37276.01	7607349.20	7607.35

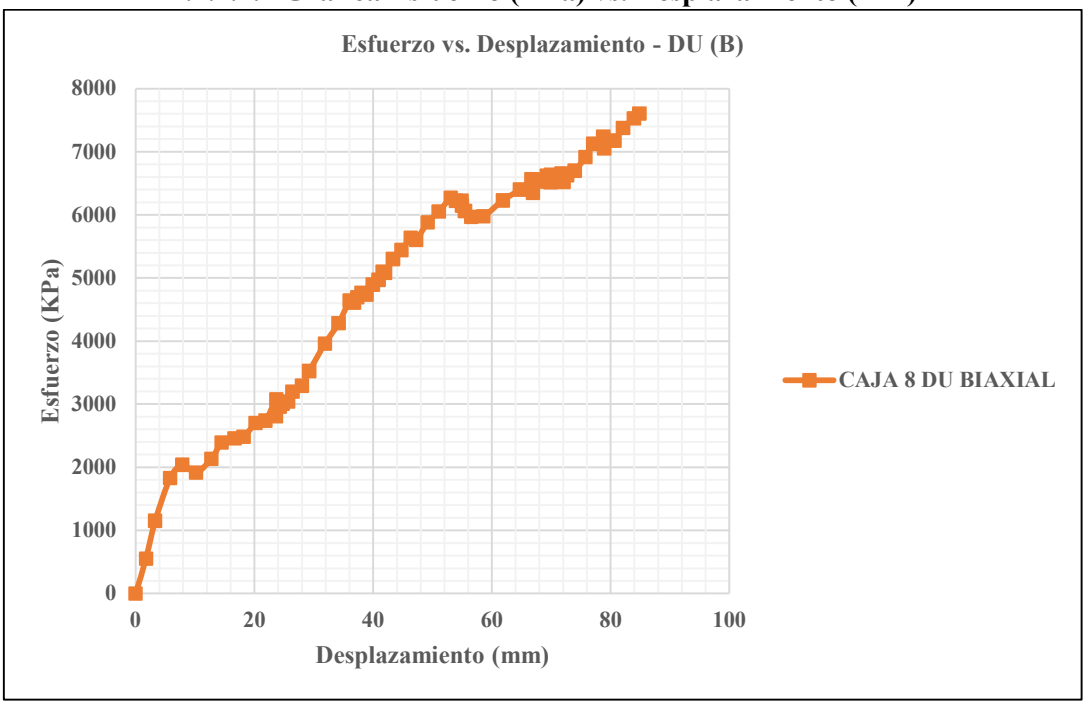
Anexo 37: Cálculos de Muestra 2 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.2.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



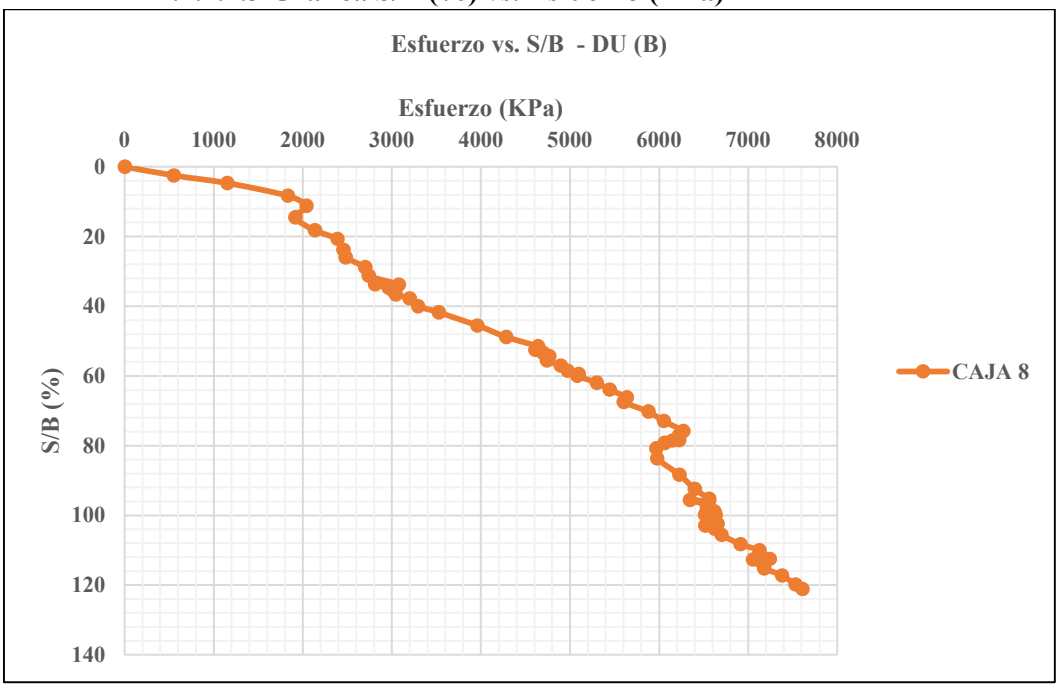
Anexo 38: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.2.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 39: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.2.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 40: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.3 Muestra 3 – DU (B)

CAJA 11

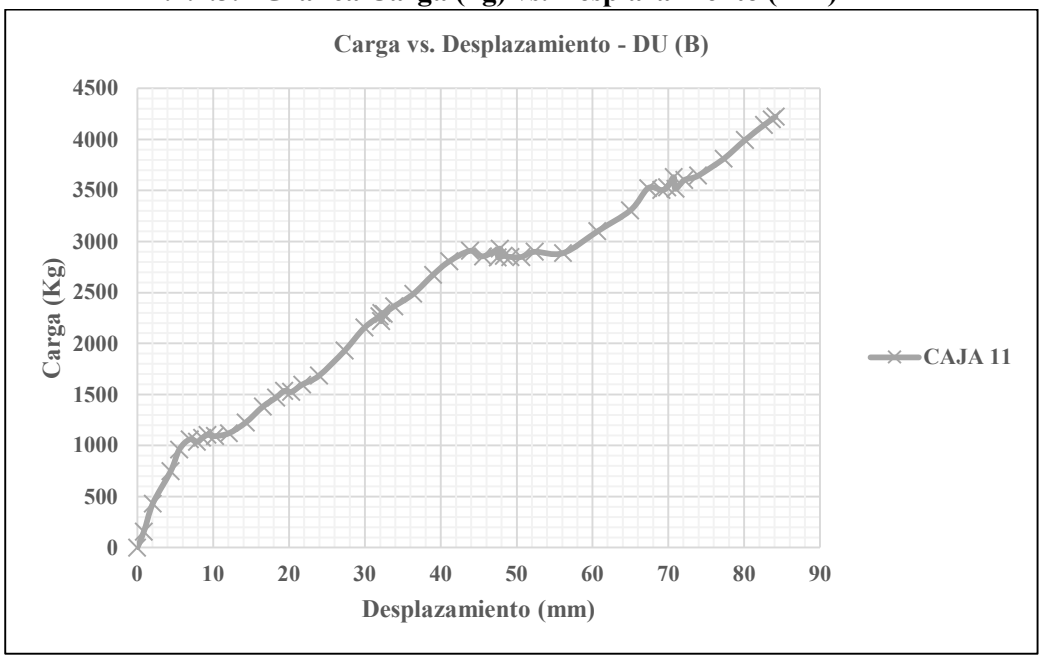
Fecha:	30-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4820
Esfuerzo (Mpa):	9.64

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.87	156.10	1.2	1529.77	312198.20	312.20
2.04	430.18	2.9	4215.73	860353.80	860.35
4.40	747.47	6.3	7325.25	1494948.40	1494.95
5.53	961.34	7.9	9421.10	1922673.60	1922.67
6.90	1060.39	9.9	10391.87	2120788.80	2120.79
7.88	1037.49	11.3	10167.39	2074978.40	2074.98
8.56	1074.18	12.2	10526.96	2148360.00	2148.36
9.27	1105.37	13.2	10832.60	2210734.20	2210.73
10.26	1091.93	14.7	10700.90	2183856.40	2183.86
12.08	1119.51	17.3	10971.21	2239021.80	2239.02
14.28	1225.59	20.4	12010.74	2451172.40	2451.17
16.54	1380.81	23.6	13531.96	2761625.00	2761.63
18.30	1470.94	26.1	14415.22	2941882.00	2941.88
19.39	1535.90	27.7	15051.81	3071798.40	3071.80
20.28	1524.61	29.0	14941.22	3049228.40	3049.23
21.75	1597.32	31.1	15653.72	3194636.80	3194.64
23.98	1685.81	34.3	16520.95	3371622.80	3371.62
27.33	1931.14	39.0	18925.21	3862287.20	3862.29
29.94	2156.42	42.8	21132.89	4312834.40	4312.83
31.93	2267.13	45.6	22217.87	4534258.20	4534.26
32.19	2299.48	46.0	22534.92	4598963.20	4598.96
32.13	2218.71	45.9	21743.34	4437415.60	4437.42
32.51	2288.27	46.4	22425.09	4576548.80	4576.55
33.89	2364.51	48.4	23172.16	4729011.40	4729.01
36.39	2486.92	52.0	24371.77	4973831.40	4973.83
38.99	2673.93	55.7	26204.55	5347867.00	5347.87
41.12	2805.40	58.7	27492.93	5610801.60	5610.80
43.87	2908.17	62.7	28500.11	5816348.40	5816.35
45.58	2853.75	65.1	27966.78	5707507.00	5707.51
47.78	2929.57	68.3	28709.81	5859145.00	5859.15
47.54	2844.94	67.9	27880.36	5689870.40	5689.87
48.31	2858.76	69.0	28015.81	5717512.40	5717.51
49.18	2847.26	70.3	27903.18	5694527.40	5694.53
50.62	2848.01	72.3	27910.50	5696020.80	5696.02

52.39	2900.02	74.8	28420.20	5800040.00	5800.04
56.12	2884.86	80.2	28271.61	5769716.20	5769.72
60.65	3100.75	86.6	30387.37	6201504.40	6201.50
64.98	3303.44	92.8	32373.73	6606883.80	6606.88
67.33	3522.37	96.2	34519.27	7044748.00	7044.75
69.08	3504.42	98.7	34343.33	7008842.40	7008.84
69.84	3529.48	99.8	34588.86	7058951.60	7058.95
70.70	3630.96	101.0	35583.37	7261911.60	7261.91
70.93	3516.39	101.3	34460.62	7032779.00	7032.78
72.11	3600.98	103.0	35289.60	7201958.40	7201.96
73.94	3646.30	105.6	35733.72	7292595.40	7292.60
77.31	3811.93	110.4	37356.94	7623864.80	7623.86
80.10	3993.93	114.4	39140.49	7987855.40	7987.86
82.59	4140.15	118.0	40573.46	8280298.80	8280.30
83.65	4197.09	119.5	41131.44	8394172.20	8394.17
84.14	4223.38	120.2	41389.14	8446762.40	8446.76

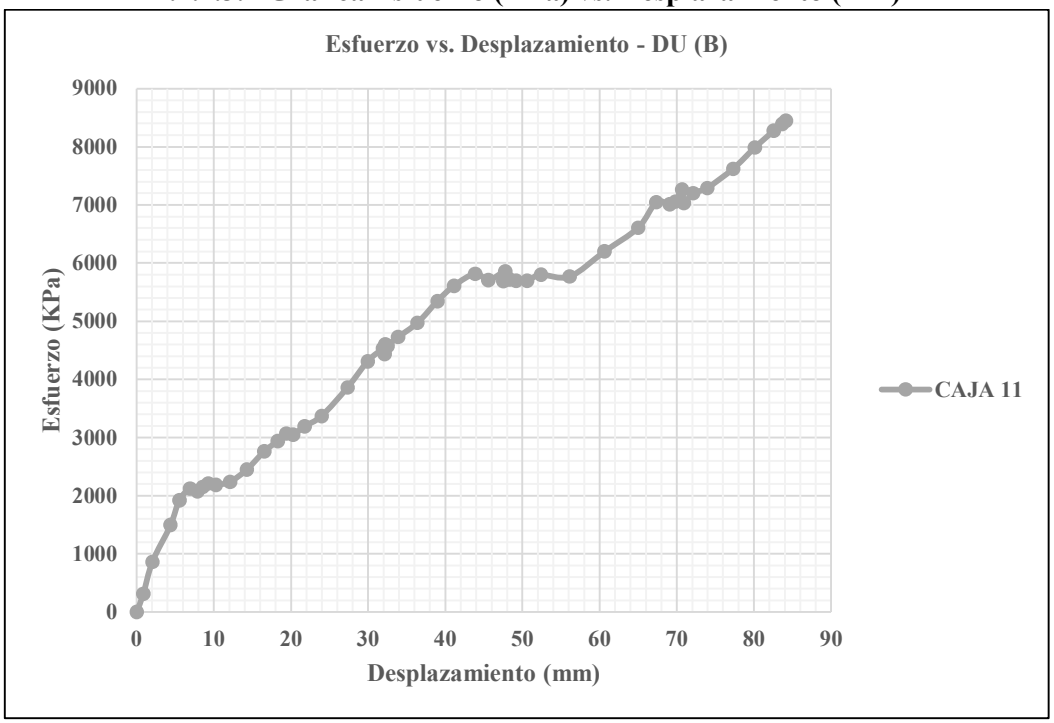
Anexo 41: Cálculos de Muestra 3 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.3.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



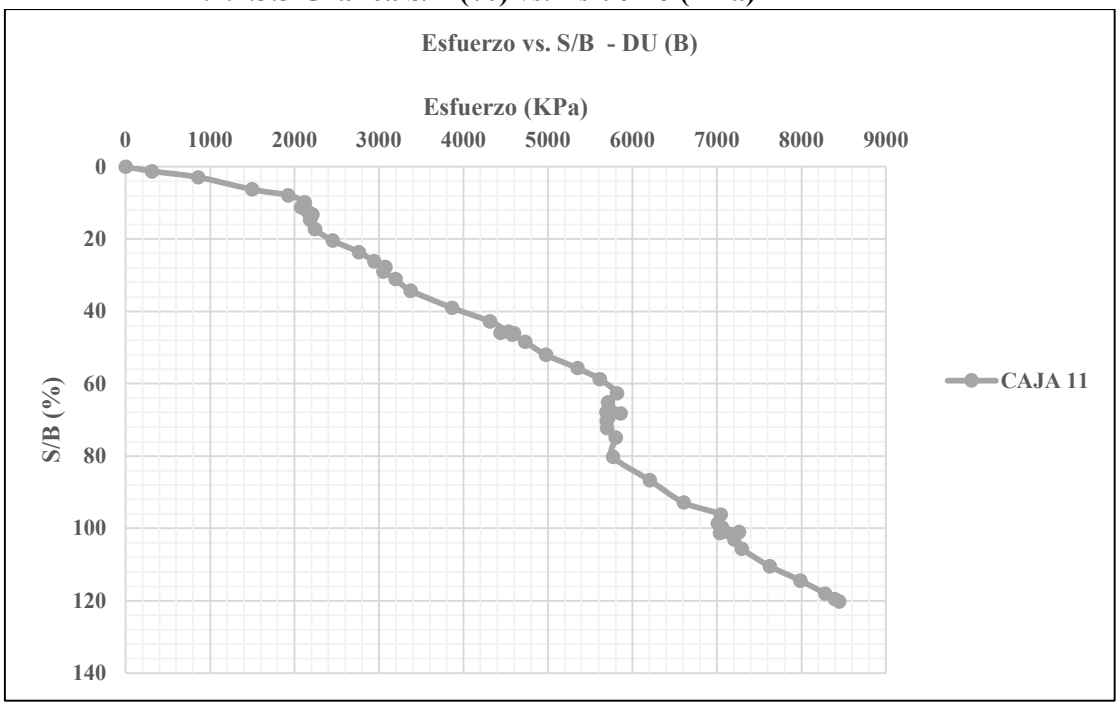
Anexo 42: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.3.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 43: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.3.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 44: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.4 Muestra 4 – DU (B)

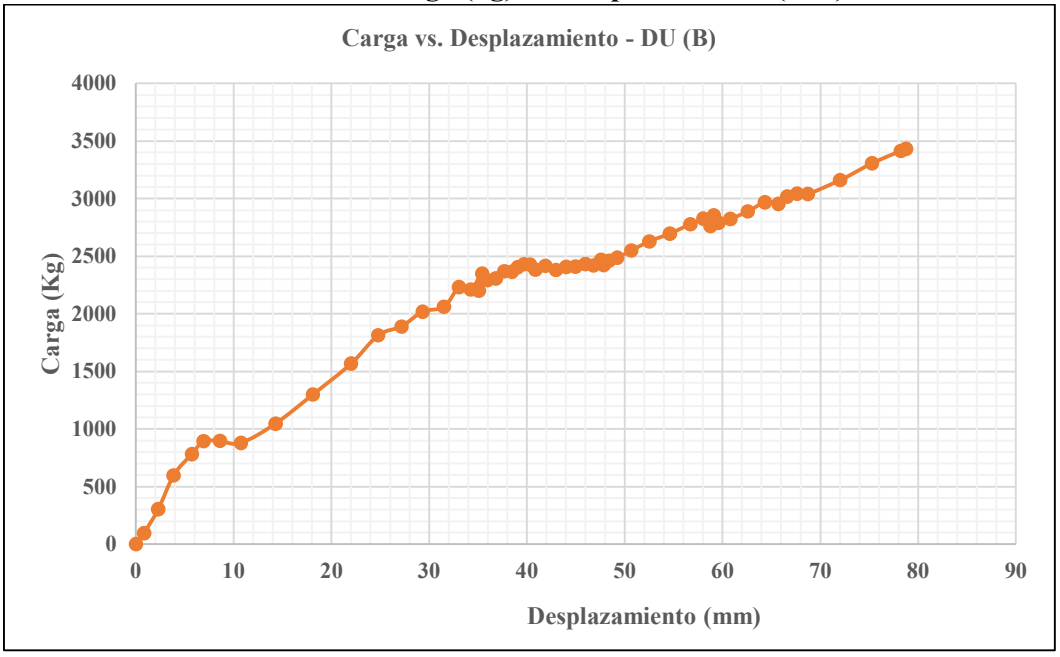
CAJA 18	
Fecha:	05-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4040
Esfuerzo (Mpa):	8.08

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.82	95.14	1.2	932.40	190286.20	190.29
2.28	304.26	3.3	2981.73	608515.60	608.52
3.85	596.93	5.5	5849.87	1193850.00	1193.85
5.71	780.60	8.2	7649.83	1561190.20	1561.19
6.92	893.87	9.9	8759.88	1787730.60	1787.73
8.59	896.49	12.3	8785.63	1792986.20	1792.99
10.73	878.12	15.3	8605.55	1756234.80	1756.23
14.26	1046.17	20.4	10252.43	2092332.80	2092.33
18.10	1299.18	25.9	12731.93	2598353.20	2598.35
22.00	1567.52	31.4	15361.71	3135043.20	3135.04
24.77	1813.18	35.4	17769.18	3626363.20	3626.36
27.16	1889.31	38.8	18515.28	3778629.40	3778.63
29.32	2017.04	41.9	19767.01	4034083.60	4034.08
31.49	2060.10	45.0	20189.03	4120209.80	4120.21
33.04	2230.14	47.2	21855.36	4460278.20	4460.28
34.24	2209.29	48.9	21651.07	4418586.60	4418.59
35.40	2348.79	50.6	23018.12	4697576.00	4697.58
35.08	2198.93	50.1	21549.54	4397865.80	4397.87
35.96	2291.02	51.4	22451.96	4582033.60	4582.03
36.78	2306.49	52.5	22603.58	4612976.20	4612.98
37.67	2368.08	53.8	23207.23	4736169.80	4736.17
38.44	2363.50	54.9	23162.26	4726992.80	4726.99
39.03	2402.73	55.8	23546.79	4805467.00	4805.47
39.69	2429.31	56.7	23807.19	4858611.00	4858.61
40.29	2425.95	57.6	23774.34	4851905.60	4851.91
40.86	2380.86	58.4	23332.39	4761713.20	4761.71
41.88	2415.58	59.8	23672.72	4831167.80	4831.17
42.95	2378.15	61.4	23305.92	4756309.40	4756.31
43.97	2404.45	62.8	23563.63	4808903.40	4808.90
44.94	2407.14	64.2	23589.95	4814276.40	4814.28
45.95	2430.55	65.6	23819.39	4861100.40	4861.10
46.79	2419.83	66.8	23714.38	4839668.80	4839.67

47.57	2468.66	68.0	24192.83	4937313.20	4937.31
47.82	2420.36	68.3	23719.57	4840727.60	4840.73
48.37	2460.29	69.1	24110.86	4920582.80	4920.58
49.21	2486.25	70.3	24365.26	4972502.40	4972.50
50.68	2549.75	72.4	24987.55	5099499.00	5099.50
52.50	2628.70	75.0	25761.23	5257393.20	5257.39
54.60	2695.01	78.0	26411.07	5390013.60	5390.01
56.70	2777.33	81.0	27217.86	5554664.40	5554.66
58.03	2825.52	82.9	27690.09	5651038.80	5651.04
59.10	2853.57	84.4	27965.00	5707142.20	5707.14
58.75	2761.38	83.9	27061.48	5522751.00	5522.75
59.59	2788.23	85.1	27324.65	5576459.20	5576.46
60.80	2824.37	86.9	27678.84	5648743.00	5648.74
62.56	2887.46	89.4	28297.10	5774919.00	5774.92
64.33	2966.44	91.9	29071.10	5932877.80	5932.88
65.71	2954.78	93.9	28956.80	5909550.60	5909.55
66.59	3017.59	95.1	29572.42	6035186.80	6035.19
67.61	3042.03	96.6	29811.85	6084050.00	6084.05
68.73	3040.60	98.2	29797.92	6081207.20	6081.21
72.01	3160.43	102.9	30972.26	6320869.80	6320.87
75.28	3305.40	107.5	32392.89	6610794.60	6610.79
78.22	3413.34	111.7	33450.76	6826684.80	6826.68
78.74	3432.30	112.5	33636.50	6864592.80	6864.59

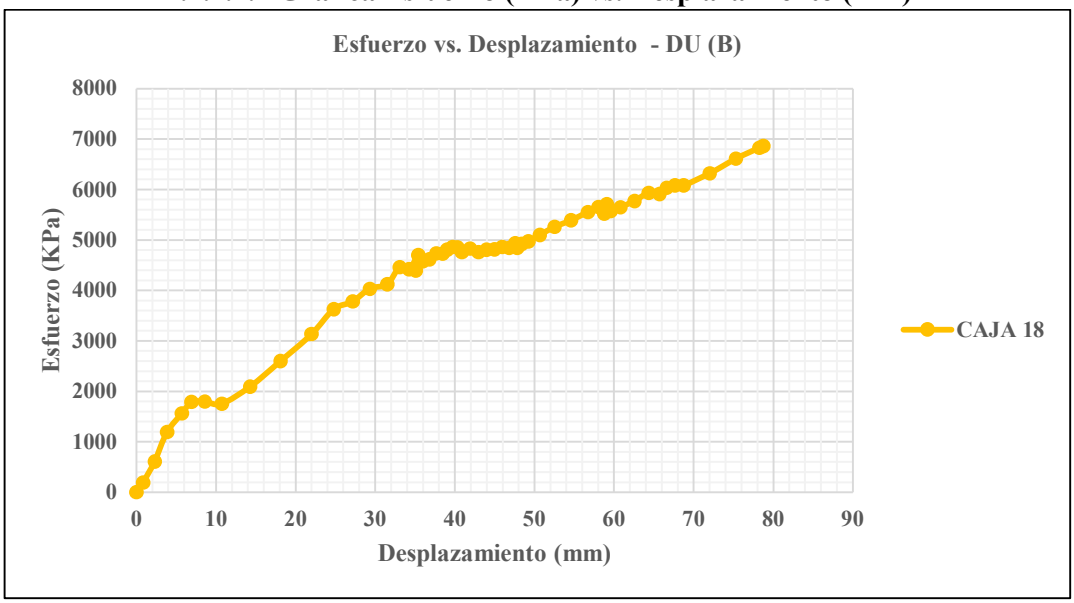
Anexo 45: Cálculos de Muestra 4 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.4.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



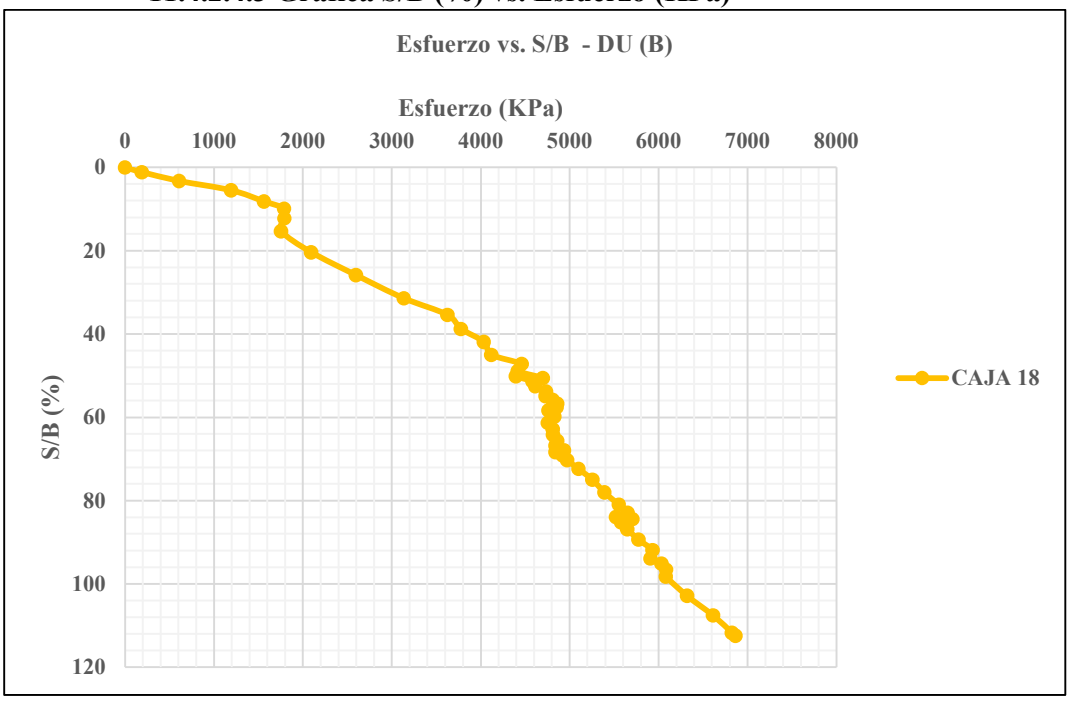
Anexo 46: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 4 – DU (B). Elaboración Propia.

11.4.2.4.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 47: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 4 – DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.4.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 48: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 4 –DU (B). Elaboración Propia

11.4.2.5 Muestra 1 – DT (B)

CAJA 3	
Fecha:	17-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900

Rotura (kg):	4060
Esfuerzo (Mpa):	8.12

Desplazamiento (mm)	Fuerza (kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.07	6.25	0.10	61.23	12495.40	12.50
0.19	17.69	0.27	173.33	35372.60	35.37
0.32	37.66	0.45	369.09	75324.60	75.32
0.42	59.40	0.60	582.08	118792.40	118.79
0.49	82.12	0.70	804.81	164246.00	164.25
0.67	101.87	0.96	998.37	203749.80	203.75
0.76	124.12	1.08	1216.36	248236.40	248.24
0.92	160.71	1.32	1574.95	321419.20	321.42
1.11	197.74	1.58	1937.84	395477.80	395.48
1.16	239.01	1.66	2342.26	478012.60	478.01
1.28	263.20	1.83	2579.35	526398.60	526.40
1.30	287.64	1.85	2818.92	575288.80	575.29
1.38	306.89	1.97	3007.55	613785.00	613.79
1.47	328.79	2.10	3222.09	657570.20	657.57
1.58	349.81	2.26	3428.12	699617.20	699.62
1.71	375.34	2.44	3678.35	750683.60	750.68
1.78	400.45	2.54	3924.44	800905.40	800.91
1.91	428.61	2.73	4200.33	857210.00	857.21
2.04	453.54	2.91	4444.69	907078.80	907.08
2.29	502.53	3.28	4924.84	1005069.00	1005.07
2.46	559.34	3.52	5481.49	1118671.80	1118.67
2.62	626.07	3.74	6135.49	1252140.80	1252.14
2.86	680.39	4.09	6667.85	1360786.60	1360.79
3.09	740.53	4.41	7257.16	1481052.80	1481.05
3.38	796.30	4.83	7803.73	1592598.80	1592.60
3.68	838.06	5.26	8212.96	1676114.00	1676.11
3.92	882.94	5.60	8652.78	1765874.40	1765.87
4.25	930.67	6.07	9120.59	1861345.40	1861.35
4.69	980.85	6.70	9612.33	1961700.00	1961.70
5.16	1018.31	7.37	9979.41	2036614.80	2036.61
5.43	1053.79	7.76	10327.18	2107587.60	2107.59
5.87	1073.72	8.38	10522.42	2147432.80	2147.43
6.40	1082.78	9.15	10611.28	2165567.80	2165.57
7.08	1077.36	10.11	10558.15	2154723.80	2154.72
7.72	1068.56	11.03	10471.90	2137123.00	2137.12
8.28	1064.79	11.83	10434.98	2129587.00	2129.59
8.73	1050.47	12.47	10294.61	2100940.20	2100.94

9.17	1052.94	13.11	10318.84	2105885.40	2105.89
9.60	1024.44	13.72	10039.50	2048878.20	2048.88
10.18	1027.73	14.55	10071.79	2055466.80	2055.47
10.76	1032.28	15.37	10116.32	2064554.60	2064.55
11.48	1042.25	16.39	10214.06	2084501.20	2084.50
12.20	1057.86	17.43	10366.98	2115711.00	2115.71
12.90	1079.77	18.44	10581.70	2159530.80	2159.53
13.56	1101.91	19.37	10798.76	2203829.40	2203.83
14.17	1141.10	20.24	11182.77	2282198.20	2282.20
14.92	1171.45	21.31	11480.19	2342896.60	2342.90
15.39	1186.37	21.99	11626.47	2372749.20	2372.75
15.85	1209.85	22.65	11856.50	2419694.40	2419.69
15.88	1179.43	22.69	11558.40	2358857.80	2358.86
15.92	1162.98	22.74	11397.18	2325954.60	2325.95
15.80	1135.97	22.57	11132.51	2271940.40	2271.94
16.04	1138.98	22.92	11162.03	2277965.20	2277.97
16.22	1152.52	23.17	11294.65	2305031.40	2305.03
16.46	1166.92	23.51	11435.79	2333834.20	2333.83
16.87	1201.84	24.10	11778.01	2403676.20	2403.68
17.54	1201.76	25.06	11777.25	2403520.60	2403.52
18.09	1234.73	25.84	12100.32	2469453.60	2469.45
18.56	1239.79	26.52	12149.90	2479570.80	2479.57
19.09	1253.81	27.27	12287.33	2507619.20	2507.62
19.63	1268.58	28.04	12432.07	2537158.00	2537.16
20.10	1299.10	28.71	12731.17	2598197.80	2598.20
20.60	1293.10	29.43	12672.34	2586192.60	2586.19
20.93	1320.12	29.89	12937.18	2640239.80	2640.24
21.42	1343.29	30.60	13164.25	2686582.40	2686.58
21.87	1372.67	31.25	13452.15	2745337.00	2745.34
22.35	1385.38	31.93	13576.71	2770757.20	2770.76
22.59	1400.43	32.26	13724.18	2800853.80	2800.85
22.93	1417.24	32.75	13888.95	2834480.20	2834.48
23.28	1437.50	33.26	14087.55	2875009.40	2875.01
23.62	1453.20	33.74	14241.34	2906396.00	2906.40
23.96	1474.76	34.23	14452.61	2949513.20	2949.51
24.32	1491.94	34.74	14621.02	2983881.00	2983.88
24.63	1513.22	35.19	14829.55	3026438.60	3026.44
24.98	1520.87	35.68	14904.49	3041732.40	3041.73
25.36	1531.81	36.23	15011.72	3063616.40	3063.62
25.78	1548.08	36.82	15171.22	3096167.60	3096.17
26.06	1568.12	37.23	15367.59	3136243.80	3136.24
26.31	1584.30	37.59	15526.18	3168607.80	3168.61
26.54	1590.10	37.91	15582.96	3180195.80	3180.20

26.93	1616.31	38.47	15839.82	3232616.40	3232.62
26.80	1563.41	38.29	15321.37	3126810.80	3126.81
27.05	1580.52	38.65	15489.11	3161043.20	3161.04
27.19	1588.57	38.85	15567.97	3177137.60	3177.14
27.38	1600.94	39.11	15689.24	3201886.40	3201.89
27.58	1614.79	39.40	15824.92	3229575.60	3229.58
27.85	1618.04	39.79	15856.81	3236083.80	3236.08
28.10	1628.10	40.14	15955.34	3256192.40	3256.19
28.27	1633.76	40.39	16010.86	3267522.80	3267.52
28.49	1647.00	40.70	16140.64	3294007.40	3294.01
28.50	1629.10	40.72	15965.22	3258208.00	3258.21
28.50	1614.53	40.71	15822.43	3229066.80	3229.07
28.49	1595.91	40.70	15639.94	3191824.00	3191.82
28.48	1583.41	40.69	15517.38	3166812.40	3166.81
28.51	1569.35	40.72	15379.64	3138702.00	3138.70
28.65	1587.37	40.92	15556.25	3174744.80	3174.74
28.71	1599.29	41.01	15673.02	3198575.40	3198.58
28.90	1613.82	41.29	15815.44	3227640.20	3227.64
29.11	1626.20	41.58	15936.72	3252392.40	3252.39
29.33	1636.75	41.91	16040.20	3273509.60	3273.51
29.59	1638.96	42.27	16061.84	3277926.20	3277.93
29.71	1624.23	42.44	15917.46	3248460.40	3248.46
29.91	1623.98	42.73	15914.99	3247956.40	3247.96
30.11	1616.63	43.01	15843.01	3233266.40	3233.27
30.33	1612.40	43.33	15801.56	3224807.40	3224.81
30.56	1615.15	43.66	15828.49	3230304.40	3230.30
30.83	1612.83	44.04	15805.70	3225652.80	3225.65
31.18	1617.28	44.54	15849.37	3234564.80	3234.56
31.59	1614.04	45.12	15817.62	3228085.60	3228.09
31.94	1619.84	45.63	15874.42	3239677.80	3239.68
32.32	1608.65	46.17	15764.73	3217292.20	3217.29
32.70	1628.10	46.71	15955.39	3256202.60	3256.20
33.19	1632.23	47.42	15995.88	3264465.00	3264.47
33.60	1642.57	48.00	16097.17	3285137.00	3285.14
34.00	1652.62	48.57	16195.70	3305244.60	3305.24
34.31	1664.97	49.01	16316.72	3329942.60	3329.94
34.97	1700.63	49.95	16666.22	3401268.60	3401.27
34.51	1584.14	49.30	15524.56	3168276.80	3168.28
34.98	1602.93	49.97	15708.71	3205859.00	3205.86
35.20	1624.70	50.28	15922.03	3249393.80	3249.39
35.70	1645.08	51.01	16121.77	3290157.80	3290.16
36.44	1660.48	52.05	16272.74	3320966.80	3320.97
37.16	1675.66	53.09	16421.48	3351323.00	3351.32

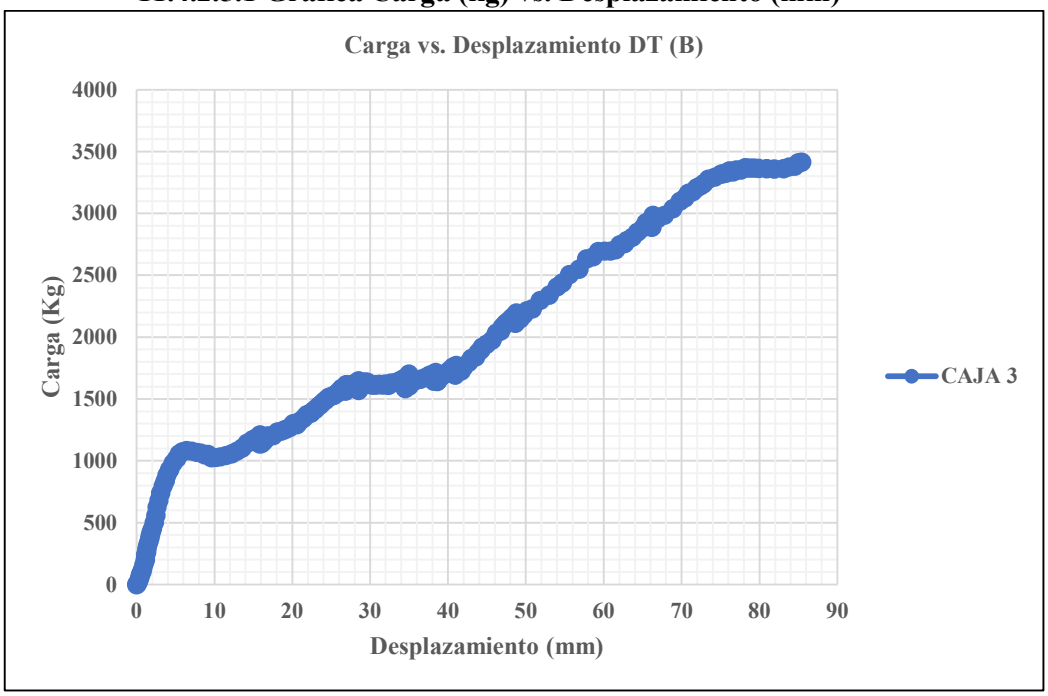
37.67	1695.01	53.82	16611.08	3390017.00	3390.02
38.39	1716.61	54.84	16822.78	3433219.60	3433.22
38.16	1643.95	54.51	16110.67	3287891.00	3287.89
38.64	1639.18	55.20	16063.94	3278354.60	3278.35
38.78	1657.23	55.40	16240.84	3314456.60	3314.46
38.97	1676.50	55.67	16429.67	3352994.00	3352.99
39.24	1690.99	56.05	16571.69	3381978.20	3381.98
39.55	1701.71	56.49	16676.71	3403411.20	3403.41
39.86	1707.77	56.95	16736.14	3415539.20	3415.54
40.10	1728.53	57.28	16939.58	3457058.00	3457.06
40.44	1741.11	57.76	17062.91	3482226.40	3482.23
40.63	1759.17	58.05	17239.83	3518332.20	3518.33
41.06	1772.76	58.66	17373.03	3545516.80	3545.52
40.91	1732.11	58.45	16974.64	3464212.00	3464.21
40.91	1694.47	58.45	16605.83	3388944.60	3388.94
41.66	1725.11	59.52	16906.06	3450216.00	3450.22
42.03	1759.79	60.04	17245.90	3519571.40	3519.57
42.65	1797.15	60.93	17612.12	3594309.20	3594.31
42.98	1827.39	61.40	17908.43	3654780.80	3654.78
43.55	1838.59	62.21	18018.19	3677180.80	3677.18
43.86	1876.13	62.66	18386.04	3752253.00	3752.25
44.24	1897.57	63.20	18596.15	3795132.00	3795.13
44.40	1919.10	63.43	18807.13	3838190.40	3838.19
44.92	1943.03	64.18	19041.68	3886056.60	3886.06
45.64	1974.01	65.19	19345.31	3948022.80	3948.02
46.19	2032.74	65.98	19920.85	4065479.20	4065.48
46.75	2049.89	66.79	20088.93	4099781.40	4099.78
46.92	2080.91	67.03	20392.91	4161817.80	4161.82
47.23	2099.02	67.47	20570.36	4198033.00	4198.03
47.46	2117.44	67.80	20750.91	4234880.00	4234.88
47.76	2128.00	68.22	20854.41	4256002.00	4256.00
48.07	2147.45	68.67	21045.03	4294904.20	4294.90
48.30	2163.73	69.01	21204.55	4327459.80	4327.46
48.78	2198.33	69.68	21543.62	4396658.00	4396.66
48.64	2113.20	69.49	20709.36	4226399.40	4226.40
49.26	2147.68	70.37	21047.27	4295360.60	4295.36
49.41	2174.99	70.58	21314.93	4349985.00	4349.99
49.75	2182.80	71.07	21391.41	4365593.00	4365.59
50.12	2214.80	71.60	21705.08	4429609.00	4429.61
50.82	2229.74	72.59	21851.47	4459484.40	4459.48
51.82	2297.86	74.03	22519.03	4595721.00	4595.72
53.01	2340.32	75.73	22935.11	4680633.80	4680.63
53.99	2405.30	77.13	23571.95	4810602.00	4810.60

54.67	2438.70	78.10	23899.22	4877391.80	4877.39
55.57	2505.11	79.38	24550.12	5010228.40	5010.23
56.82	2550.18	81.17	24991.79	5100366.00	5100.37
57.78	2631.49	82.55	25788.63	5262986.00	5262.99
58.65	2650.59	83.79	25975.76	5301176.40	5301.18
59.30	2694.17	84.72	26402.82	5388330.00	5388.33
60.10	2696.29	85.86	26423.64	5392579.40	5392.58
60.83	2694.63	86.89	26407.42	5389269.80	5389.27
61.52	2707.09	87.89	26529.45	5414173.40	5414.17
62.03	2746.42	88.61	26914.91	5492839.20	5492.84
62.66	2755.57	89.51	27004.60	5511142.60	5511.14
62.98	2779.71	89.97	27241.17	5559422.00	5559.42
63.68	2807.90	90.97	27517.41	5615798.00	5615.80
64.30	2849.24	91.86	27922.55	5698480.20	5698.48
65.06	2885.09	92.94	28273.92	5770188.00	5770.19
65.45	2927.16	93.51	28686.18	5854322.20	5854.32
65.90	2935.61	94.14	28768.99	5871222.00	5871.22
66.33	2985.11	94.75	29254.11	5970226.00	5970.23
66.18	2888.56	94.54	28307.86	5777115.20	5777.12
66.91	2957.26	95.58	28981.19	5914528.00	5914.53
67.81	2985.80	96.87	29260.86	5971605.00	5971.61
68.87	3039.01	98.38	29782.31	6078023.20	6078.02
69.81	3098.39	99.73	30364.23	6196781.00	6196.78
70.41	3125.27	100.58	30627.66	6250542.20	6250.54
70.85	3161.61	101.21	30983.81	6323227.20	6323.23
71.42	3173.88	102.03	31103.99	6347753.80	6347.75
71.91	3206.04	102.73	31419.21	6412084.00	6412.08
72.44	3222.22	103.48	31577.79	6444446.80	6444.45
72.82	3240.06	104.03	31752.57	6480117.00	6480.12
73.45	3277.77	104.93	32122.10	6555530.40	6555.53
74.25	3293.19	106.08	32273.27	6586382.60	6586.38
75.04	3317.50	107.20	32511.48	6634995.00	6635.00
75.43	3323.02	107.76	32565.59	6646039.40	6646.04
75.76	3329.12	108.22	32625.35	6658235.20	6658.24
76.12	3343.78	108.74	32769.04	6687558.80	6687.56
76.59	3336.03	109.42	32693.09	6672059.20	6672.06
77.02	3351.05	110.03	32840.31	6702104.20	6702.10
77.61	3351.79	110.88	32847.55	6703581.20	6703.58
78.13	3369.45	111.62	33020.60	6738898.60	6738.90
78.69	3366.98	112.41	32996.45	6733968.60	6733.97
79.26	3366.77	113.22	32994.31	6733533.40	6733.53
79.87	3364.36	114.11	32970.70	6728714.60	6728.71
80.92	3362.16	115.60	32949.20	6724326.60	6724.33

81.88	3358.70	116.97	32915.25	6717398.80	6717.40
83.08	3363.15	118.69	32958.90	6726305.80	6726.31
83.79	3376.20	119.70	33086.77	6752401.40	6752.40
84.54	3382.40	120.77	33147.48	6764791.20	6764.79
84.93	3408.15	121.32	33399.87	6816300.60	6816.30
85.29	3412.91	121.84	33446.55	6825827.40	6825.83
85.43	3414.70	122.04	33464.05	6829398.20	6829.40

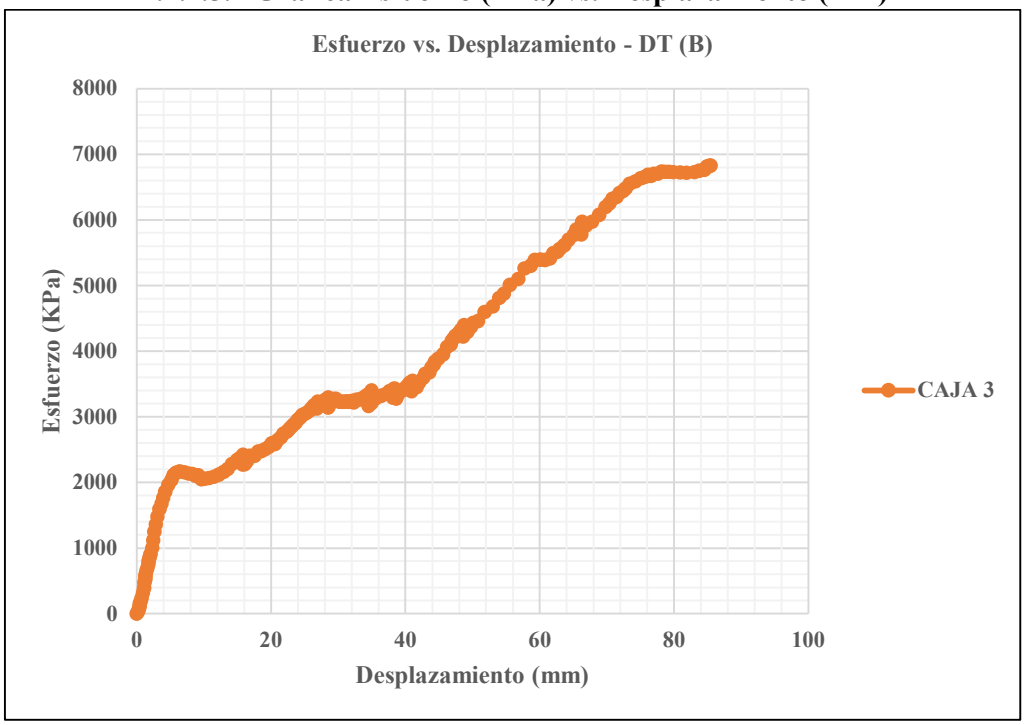
Anexo 49: Cálculos de Muestra 1 – DT (B). Elaboración Propia.

11.4.2.5.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



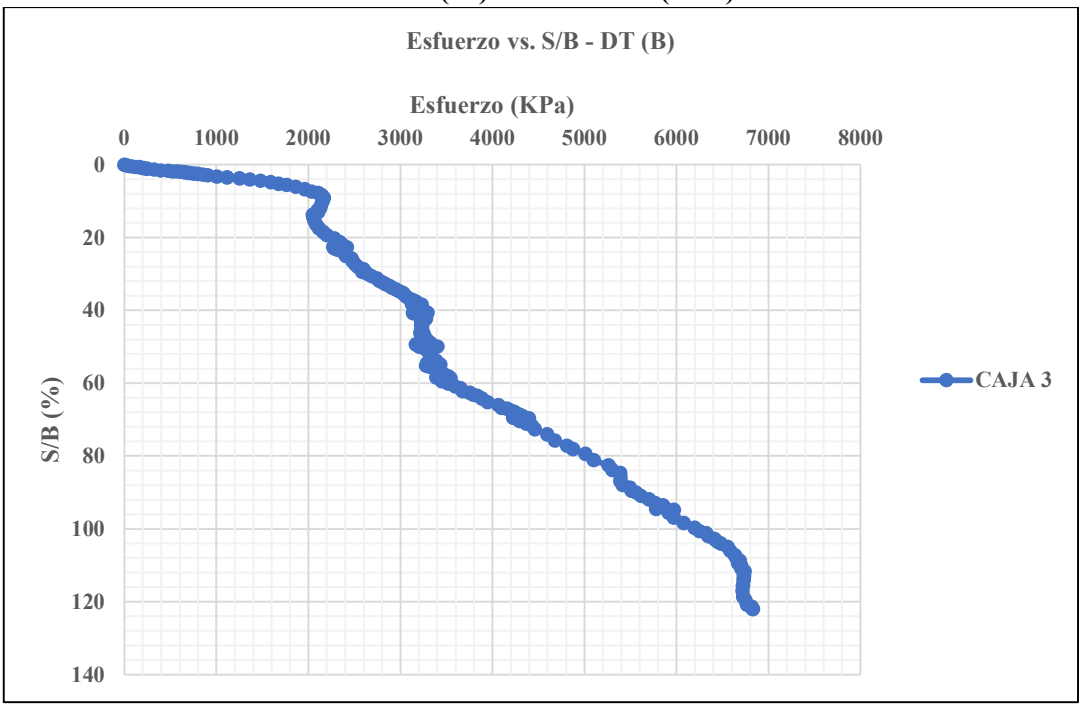
Anexo 50: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DT (B). Elaboración Propia.

11.4.2.5.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 51: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DT (B). Elaboración Propia

11.4.5.2.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 52: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DT (B). Elaboración Propia

11.4.2.6 Muestra 2 – DT (B)

CAJA 12	
Fecha:	31-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4220
Esfuerzo (Mpa):	8.45

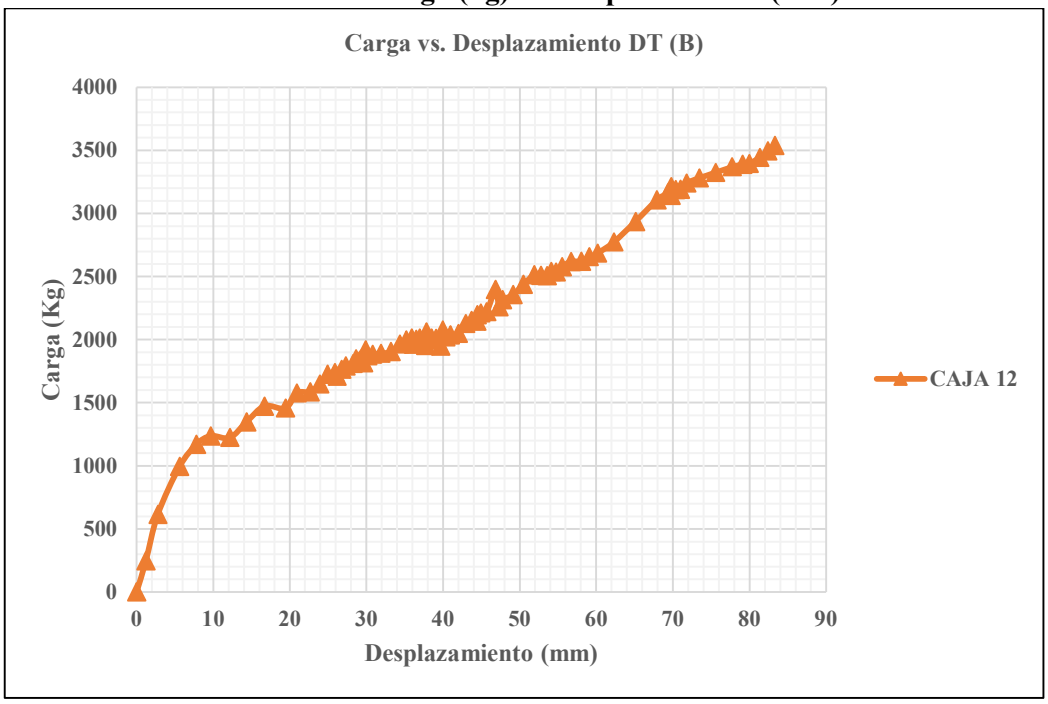
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1.22	246.65	1.7	2417.17	493299.40	493.30
2.77	613.65	4.0	6013.80	1227307.00	1227.31
5.61	995.87	8.0	9759.56	1991746.60	1991.75
7.80	1169.04	11.1	11456.56	2338074.40	2338.07
9.69	1236.44	13.8	12117.15	2472887.40	2472.89
12.18	1223.09	17.4	11986.29	2446181.20	2446.18
14.38	1348.47	20.5	13214.96	2696930.20	2696.93
16.70	1472.54	23.9	14430.87	2945076.00	2945.08
19.43	1456.13	27.8	14270.10	2912265.80	2912.27
20.91	1576.72	29.9	15451.89	3153446.40	3153.45
22.67	1586.46	32.4	15547.35	3172928.60	3172.93
23.92	1648.33	34.2	16153.66	3296666.20	3296.67
24.93	1724.75	35.6	16902.55	3449499.20	3449.50
25.88	1738.09	37.0	17033.27	3476177.40	3476.18
26.20	1709.40	37.4	16752.12	3418799.00	3418.80
26.76	1764.71	38.2	17294.12	3529411.40	3529.41
27.32	1790.50	39.0	17546.88	3580996.20	3581.00
28.27	1808.96	40.4	17727.81	3617920.20	3617.92
28.68	1848.64	41.0	18116.67	3697279.40	3697.28
29.86	1918.17	42.7	18798.10	3836347.60	3836.35
29.66	1814.26	42.4	17779.74	3628518.20	3628.52
30.18	1870.93	43.1	18335.08	3741852.60	3741.85
30.82	1883.83	44.0	18461.52	3767658.00	3767.66
31.89	1890.18	45.6	18523.75	3780356.40	3780.36
33.23	1904.92	47.5	18668.23	3809843.20	3809.84
34.37	1963.92	49.1	19246.45	3927846.80	3927.85
35.23	1995.48	50.3	19555.66	3990950.00	3990.95
35.90	2012.85	51.3	19725.98	4025709.40	4025.71
36.13	1961.36	51.6	19221.28	3922710.40	3922.71
36.53	2004.07	52.2	19639.84	4008131.00	4008.13
36.95	2013.19	52.8	19729.23	4026372.60	4026.37
37.84	2060.31	54.1	20190.99	4120610.40	4120.61

37.73	1953.54	53.9	19144.66	3907073.40	3907.07
38.05	1995.80	54.4	19558.80	3991592.80	3991.59
38.53	2011.79	55.0	19715.56	4023583.40	4023.58
39.10	2010.18	55.9	19699.79	4020364.60	4020.36
39.98	2074.65	57.1	20331.54	4149293.40	4149.29
39.68	1947.71	56.7	19087.58	3895423.60	3895.42
40.36	2020.69	57.7	19802.76	4041379.80	4041.38
40.94	2037.20	58.5	19964.61	4074409.20	4074.41
42.01	2048.11	60.0	20071.45	4096214.20	4096.21
42.96	2127.54	61.4	20849.91	4255084.20	4255.08
43.75	2150.68	62.5	21076.71	4301369.40	4301.37
44.48	2195.58	63.5	21516.64	4391152.00	4391.15
44.41	2145.31	63.4	21024.05	4290622.40	4290.62
44.90	2210.38	64.1	21661.69	4420753.00	4420.75
45.68	2219.29	65.3	21749.02	4438576.40	4438.58
46.86	2395.18	66.9	23472.80	4790367.00	4790.37
47.31	2261.00	67.6	22157.78	4521996.40	4522.00
47.79	2315.82	68.3	22695.02	4631636.60	4631.64
49.16	2355.92	70.2	23088.03	4711842.60	4711.84
50.50	2436.45	72.1	23877.25	4872907.80	4872.91
51.92	2513.69	74.2	24634.15	5027377.00	5027.38
52.75	2508.70	75.4	24585.26	5017399.80	5017.40
53.59	2505.16	76.6	24550.58	5010322.20	5010.32
54.13	2539.82	77.3	24890.19	5079631.00	5079.63
54.76	2534.96	78.2	24842.61	5069921.00	5069.92
55.57	2578.35	79.4	25267.80	5156693.40	5156.69
56.72	2618.78	81.0	25664.09	5237569.40	5237.57
58.06	2619.23	82.9	25668.47	5238463.40	5238.46
59.08	2655.03	84.4	26019.33	5310068.20	5310.07
60.19	2685.35	86.0	26316.42	5370697.60	5370.70
62.29	2772.41	89.0	27169.60	5544816.20	5544.82
65.13	2935.78	93.0	28770.66	5871563.80	5871.56
67.91	3106.31	97.0	30441.83	6212619.20	6212.62
69.36	3163.34	99.1	31000.73	6326679.20	6326.68
69.78	3211.09	99.7	31468.73	6422189.20	6422.19
69.76	3142.46	99.7	30796.09	6284916.20	6284.92
70.36	3188.59	100.5	31248.20	6377184.20	6377.18
70.98	3189.69	101.4	31259.01	6379389.40	6379.39
71.81	3240.53	102.6	31757.19	6481058.60	6481.06
73.46	3280.95	104.9	32153.28	6561893.40	6561.89
75.59	3323.63	108.0	32571.61	6647268.20	6647.27
77.72	3367.69	111.0	33003.36	6735379.20	6735.38
79.11	3388.68	113.0	33209.03	6777352.80	6777.35

79.97	3394.64	114.2	33267.44	6789273.00	6789.27
81.33	3442.69	116.2	33738.40	6885388.20	6885.39
82.42	3495.29	117.7	34253.89	6990589.80	6990.59
83.31	3538.87	119.0	34680.95	7077745.00	7077.75

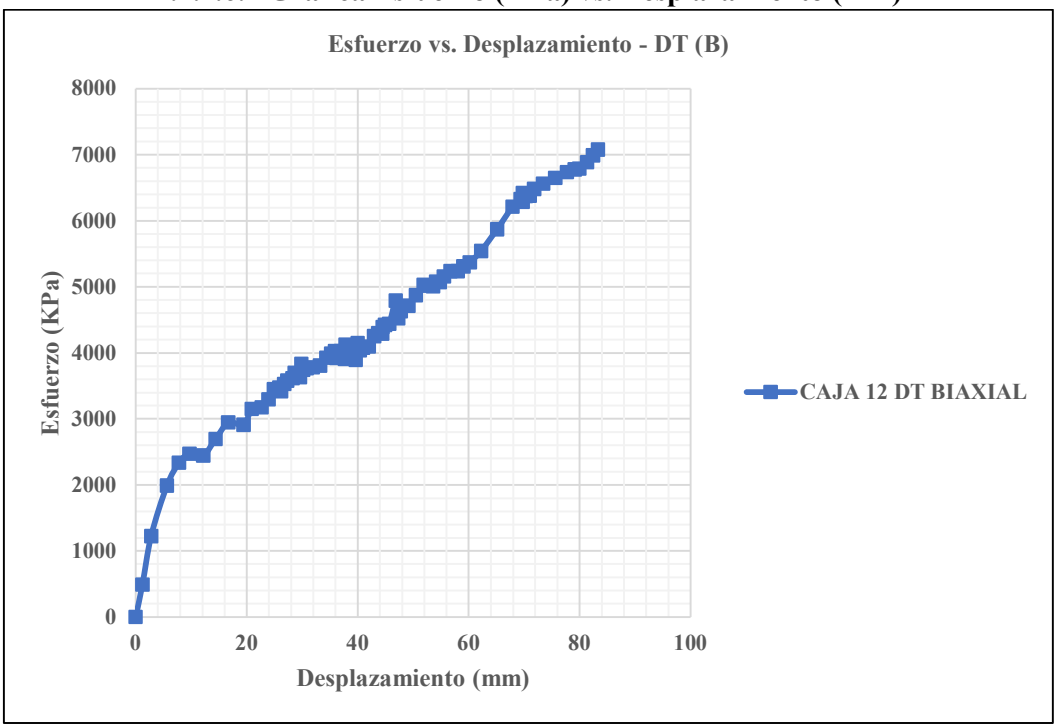
Anexo 53: Cálculos de Muestra 2 – DT (B). Elaboración Propia.

11.4.2.6.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



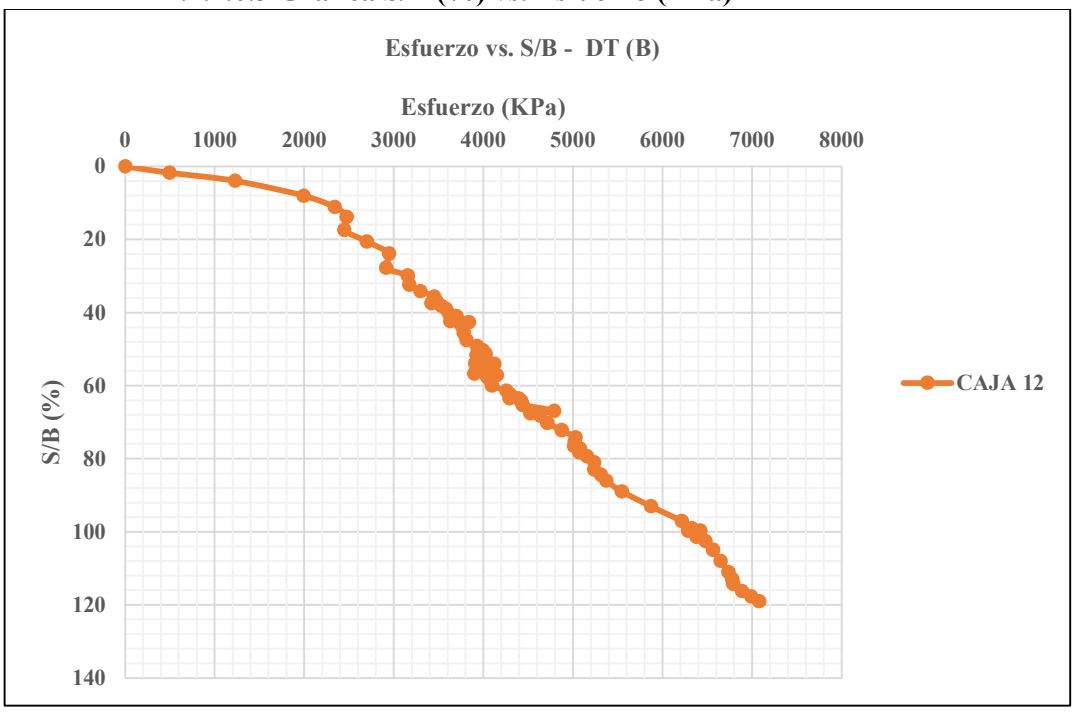
Anexo 54: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DT (B). Elaboración Propia.

11.4.2.6.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 55: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DT (B). Elaboración Propia

11.4.2.6.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 56: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DT (B). Elaboración Propia

11.4.2.7 Muestra 3 – DT (B)

CAJA 19	
Fecha:	06-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	3700
Esfuerzo (Mpa):	7.4

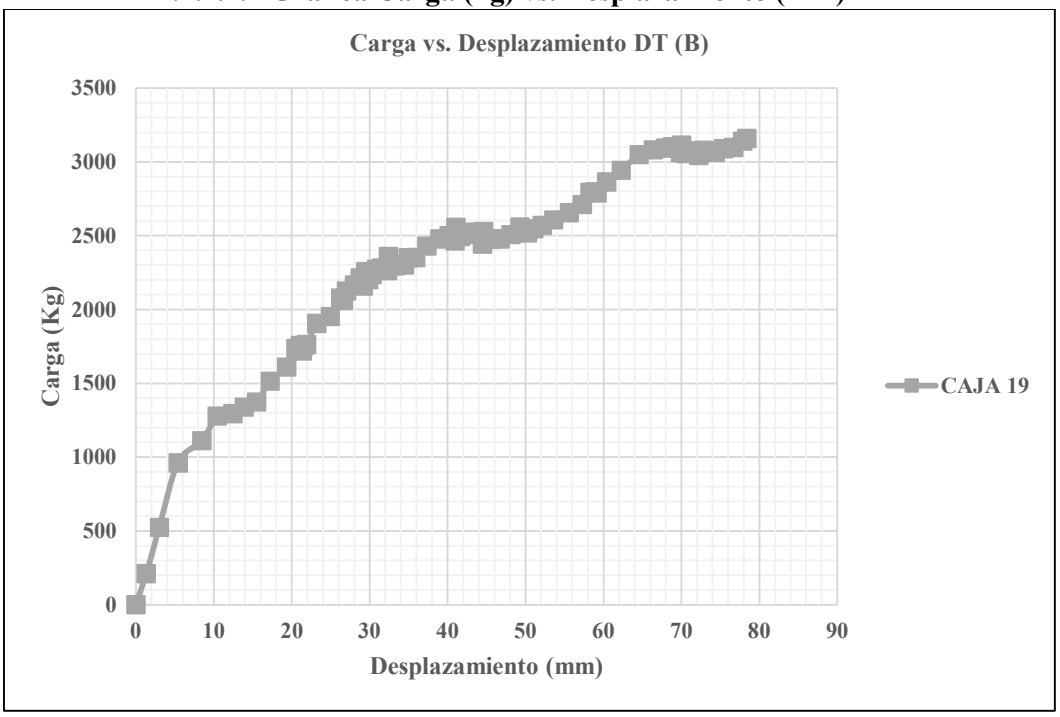
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1.32	209.66	1.9	2054.64	419313.60	419.31
2.99	524.31	4.3	5138.21	1048614.80	1048.61
5.39	960.74	7.7	9415.26	1921482.00	1921.48
8.46	1111.57	12.1	10893.41	2223145.20	2223.15
10.42	1276.96	14.9	12514.19	2553915.60	2553.92
12.43	1293.86	17.8	12679.84	2587722.40	2587.72
13.88	1339.31	19.8	13125.26	2678623.80	2678.62
15.48	1374.02	22.1	13465.43	2748046.80	2748.05
17.22	1514.13	24.6	14838.46	3028257.40	3028.26
19.33	1608.84	27.6	15766.62	3217677.20	3217.68
20.49	1733.68	29.3	16990.05	3467358.00	3467.36
21.05	1757.49	30.1	17223.35	3514970.20	3514.97
21.16	1740.66	30.2	17058.47	3481319.80	3481.32
21.33	1718.04	30.5	16836.79	3436079.60	3436.08
21.48	1754.15	30.7	17190.64	3508293.40	3508.29
21.90	1761.85	31.3	17266.13	3523699.20	3523.70
23.18	1905.42	33.1	18673.09	3810834.60	3810.83
24.93	1952.55	35.6	19134.97	3905096.60	3905.10
26.25	2075.82	37.5	20343.03	4151639.40	4151.64
26.62	2059.78	38.0	20185.89	4119569.80	4119.57
27.01	2126.00	38.6	20834.77	4251993.00	4251.99
28.01	2166.18	40.0	21228.61	4332369.80	4332.37
28.75	2213.67	41.1	21694.01	4427348.60	4427.35
29.46	2257.29	42.1	22121.44	4514580.60	4514.58
29.13	2158.88	41.6	21157.05	4317765.00	4317.77
29.55	2207.21	42.2	21630.68	4414424.20	4414.42
29.88	2203.51	42.7	21594.35	4407010.80	4407.01
30.28	2235.32	43.3	21906.16	4470644.40	4470.64
30.88	2271.39	44.1	22259.63	4542782.60	4542.78
31.53	2281.07	45.0	22354.53	4562148.20	4562.15
32.38	2359.16	46.3	23119.78	4718322.20	4718.32
32.28	2260.82	46.1	22156.06	4521644.40	4521.64

32.73	2297.38	46.8	22514.32	4594758.60	4594.76
33.26	2294.90	47.5	22489.99	4589794.40	4589.79
33.82	2302.30	48.3	22562.52	4604596.40	4604.60
34.45	2301.41	49.2	22553.78	4602813.20	4602.81
34.92	2350.13	49.9	23031.27	4700258.80	4700.26
35.90	2351.84	51.3	23047.98	4703670.40	4703.67
37.34	2428.15	53.3	23795.86	4856297.80	4856.30
38.97	2477.59	55.7	24280.39	4955182.20	4955.18
40.16	2499.89	57.4	24498.96	4999787.80	4999.79
41.07	2555.42	58.7	25043.09	5110835.40	5110.84
40.95	2462.91	58.5	24136.51	4925818.60	4925.82
41.64	2494.97	59.5	24450.70	4989938.20	4989.94
42.15	2509.61	60.2	24594.22	5019229.20	5019.23
43.01	2522.79	61.4	24723.35	5045580.80	5045.58
43.68	2505.51	62.4	24554.01	5011022.20	5011.02
44.61	2529.26	63.7	24786.78	5058526.60	5058.53
44.47	2443.76	63.5	23948.83	4887516.80	4887.52
45.69	2476.84	65.3	24273.02	4953677.20	4953.68
46.75	2477.25	66.8	24277.07	4954503.40	4954.50
48.14	2507.06	68.8	24569.17	5014115.40	5014.12
49.25	2558.69	70.4	25075.19	5117385.00	5117.39
50.22	2519.46	71.7	24690.69	5038917.20	5038.92
51.05	2546.38	72.9	24954.49	5092754.00	5092.75
52.13	2569.49	74.5	25181.03	5138986.20	5138.99
53.60	2605.49	76.6	25533.83	5210985.80	5210.99
55.61	2655.92	79.4	26028.00	5311835.80	5311.84
57.26	2709.19	81.8	26550.10	5418386.80	5418.39
58.24	2791.37	83.2	27355.45	5582745.40	5582.75
58.80	2794.86	84.0	27389.67	5589729.20	5589.73
59.17	2790.21	84.5	27344.01	5580410.40	5580.41
60.38	2862.96	86.3	28057.03	5725925.20	5725.93
62.25	2943.32	88.9	28844.51	5886634.00	5886.63
64.58	3047.70	92.3	29867.43	6095393.80	6095.39
66.39	3081.74	94.8	30201.05	6163480.20	6163.48
67.91	3092.93	97.0	30310.67	6185850.60	6185.85
68.84	3103.28	98.3	30412.11	6206552.20	6206.55
70.02	3113.24	100.0	30509.74	6226477.00	6226.48
69.88	3062.34	99.8	30010.95	6124683.80	6124.68
70.55	3056.29	100.8	29951.60	6112571.60	6112.57
71.28	3074.82	101.8	30133.27	6149647.80	6149.65
72.23	3042.11	103.2	29812.63	6084210.80	6084.21
72.85	3079.75	104.1	30181.57	6159504.00	6159.50
73.63	3063.75	105.2	30024.79	6127507.60	6127.51

74.35	3064.15	106.2	30028.69	6128304.20	6128.30
75.39	3090.04	107.7	30282.43	6180087.60	6180.09
76.69	3097.98	109.6	30360.20	6195960.20	6195.96
77.85	3139.07	111.2	30762.90	6278142.00	6278.14
78.39	3158.12	112.0	30949.61	6316247.60	6316.25

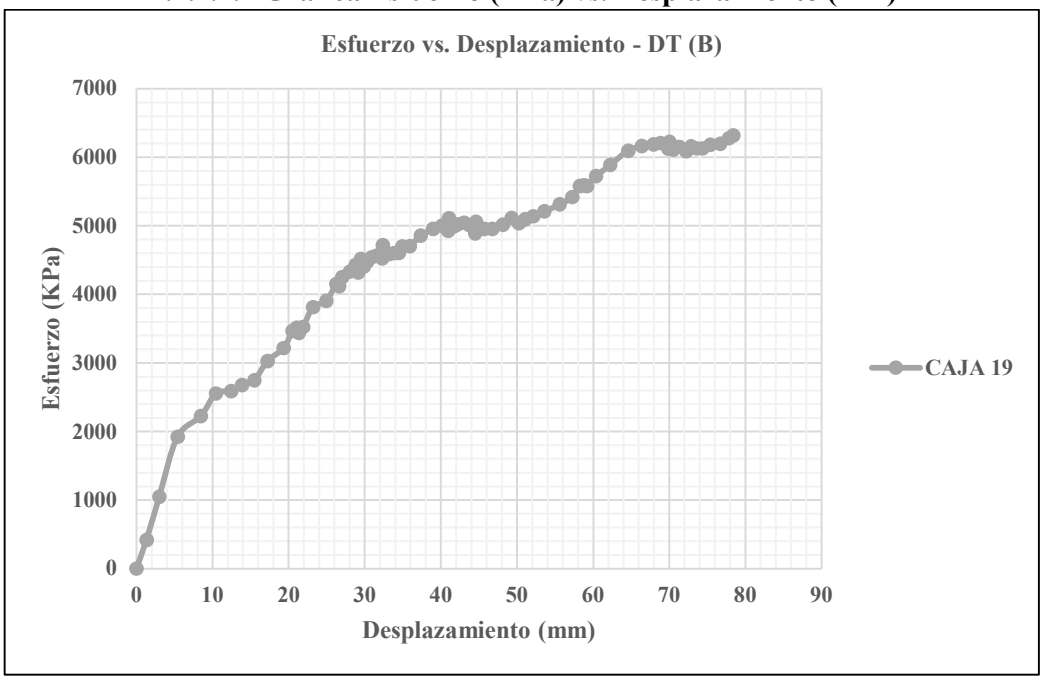
Anexo 57: Cálculos de Muestra 3 – DT (B). Elaboración Propia.

11.4.2.7.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



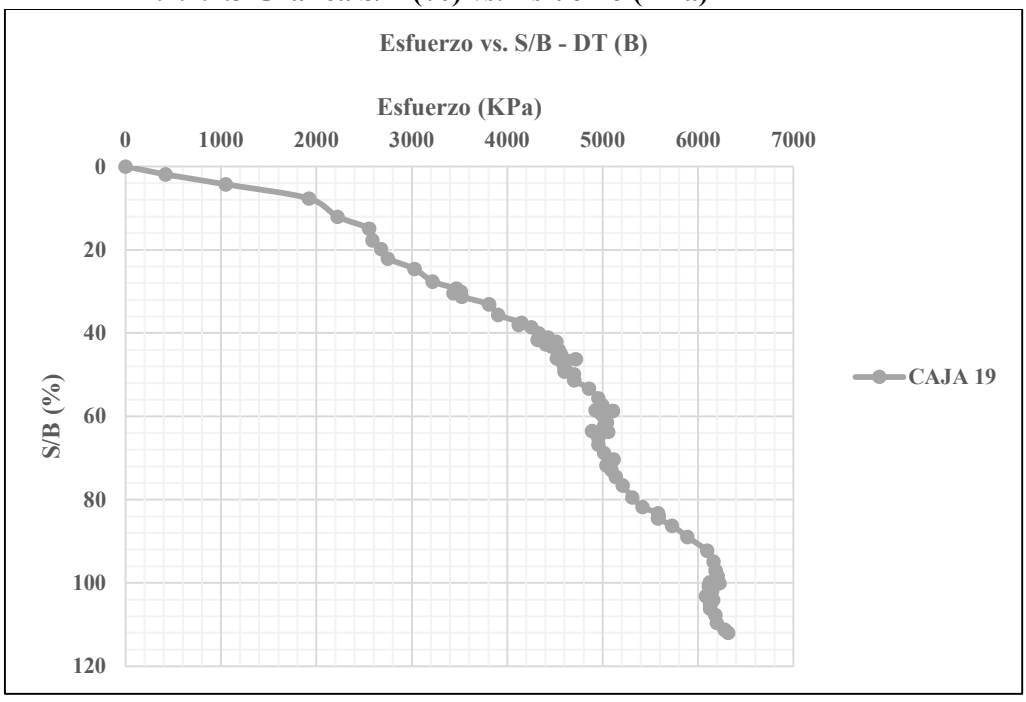
Anexo 58: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DT (B). Elaboración Propia

11.4.2.7.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 59: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DT (B). Elaboración Propia

11.4.2.7.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 60: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DT (B). Elaboración Propia

11.4.2.8 Muestra 1 – DTI (B)

CAJA 4	
Fecha:	18-07-19

Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4420
Esfuerzo (Mpa):	8.85

Desplazamiento (mm)	Fuerza (kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11	12.38	0.16	121.34	24763.80	24.76
0.38	43.57	0.55	427.02	87146.60	87.15
0.51	100.07	0.74	980.68	200139.40	200.14
0.64	163.71	0.91	1604.35	327418.60	327.42
0.90	230.90	1.28	2262.78	461792.40	461.79
1.05	297.30	1.50	2913.57	594605.60	594.61
1.49	369.25	2.13	3618.68	738505.20	738.51
1.72	441.87	2.46	4330.33	883741.80	883.74
2.14	514.19	3.06	5039.07	1028382.00	1028.38
2.38	582.09	3.40	5704.45	1164174.00	1164.17
2.91	630.52	4.16	6179.08	1261037.00	1261.04
3.50	676.57	5.00	6630.36	1353135.00	1353.14
4.05	724.22	5.79	7097.40	1448448.40	1448.45
4.82	728.03	6.89	7134.65	1456050.40	1456.05
5.44	722.71	7.78	7082.52	1445411.80	1445.41
5.95	697.51	8.50	6835.58	1395015.80	1395.02
6.55	681.24	9.36	6676.15	1362479.20	1362.48
7.23	648.71	10.33	6357.40	1297429.20	1297.43
7.94	660.98	11.35	6477.64	1321967.40	1321.97
8.69	657.20	12.42	6440.59	1314406.00	1314.41
9.36	667.91	13.37	6545.56	1335827.60	1335.83
9.95	705.75	14.22	6916.32	1411493.20	1411.49
10.64	721.89	15.20	7074.48	1443771.80	1443.77
11.43	755.52	16.33	7404.14	1511049.60	1511.05
11.94	822.37	17.06	8059.21	1644736.20	1644.74
12.77	850.12	18.24	8331.17	1700238.00	1700.24
13.50	907.39	19.28	8892.43	1814782.40	1814.78
14.45	942.74	20.65	9238.90	1885488.80	1885.49
15.26	1004.57	21.80	9844.81	2009144.60	2009.14
16.19	1024.58	23.13	10040.85	2049154.00	2049.15
16.94	1067.12	24.21	10457.80	2134244.00	2134.24
17.66	1125.26	25.22	11027.54	2250518.80	2250.52
18.58	1140.91	26.54	11180.94	2281824.40	2281.82
19.61	1158.49	28.01	11353.19	2316977.40	2316.98
20.62	1178.26	29.46	11546.93	2356516.00	2356.52

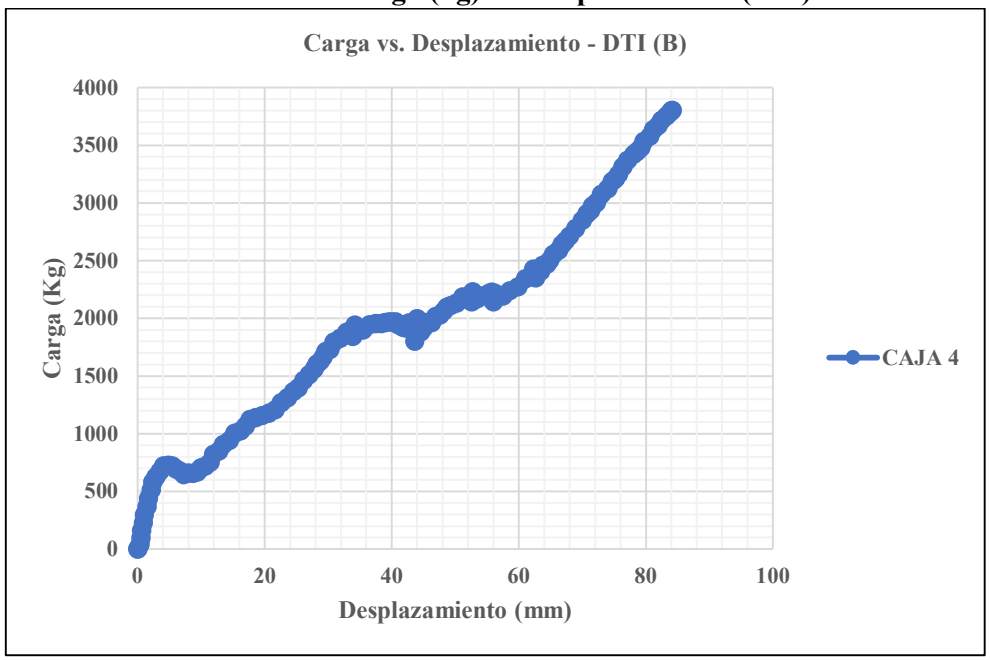
21.66	1209.39	30.94	11852.00	2418775.20	2418.78
22.60	1269.58	32.29	12441.93	2539169.60	2539.17
23.60	1312.46	33.72	12862.13	2624924.80	2624.92
24.51	1367.03	35.01	13396.89	2734058.80	2734.06
25.29	1399.24	36.13	13712.57	2798483.40	2798.48
26.12	1462.42	37.32	14331.69	2924834.80	2924.83
26.97	1512.92	38.53	14826.59	3025835.60	3025.84
27.79	1561.76	39.71	15305.25	3123519.40	3123.52
28.22	1605.37	40.32	15732.67	3210749.80	3210.75
28.76	1631.38	41.09	15987.53	3262761.20	3262.76
29.20	1666.08	41.72	16327.61	3332165.60	3332.17
29.65	1715.19	42.36	16808.84	3430375.60	3430.38
30.25	1729.45	43.21	16948.63	3458905.00	3458.91
30.87	1795.09	44.10	17591.84	3590171.80	3590.17
31.84	1827.81	45.49	17912.56	3655624.80	3655.62
32.91	1879.74	47.01	18421.50	3759488.80	3759.49
33.51	1889.09	47.86	18513.04	3778172.40	3778.17
34.18	1942.36	48.82	19035.16	3884725.80	3884.73
33.83	1845.07	48.33	18081.64	3690130.60	3690.13
34.71	1892.76	49.58	18549.06	3785522.60	3785.52
35.45	1899.59	50.64	18615.96	3799176.20	3799.18
36.49	1946.41	52.13	19074.84	3892825.20	3892.83
37.48	1955.70	53.54	19165.88	3911404.60	3911.40
38.28	1957.53	54.69	19183.82	3915066.20	3915.07
38.94	1963.64	55.62	19243.65	3927276.40	3927.28
39.56	1969.56	56.51	19301.67	3939116.00	3939.12
40.12	1968.08	57.31	19287.16	3936155.60	3936.16
40.65	1969.20	58.07	19298.15	3938398.80	3938.40
41.06	1942.81	58.65	19039.52	3885616.00	3885.62
41.50	1944.08	59.29	19051.98	3888159.00	3888.16
41.79	1922.93	59.71	18844.68	3845852.80	3845.85
42.29	1917.25	60.42	18789.04	3834497.60	3834.50
42.72	1960.78	61.03	19215.61	3921553.00	3921.55
43.26	1957.37	61.81	19182.25	3914745.00	3914.75
44.00	1998.62	62.86	19586.52	3997248.00	3997.25
43.61	1802.32	62.30	17662.73	3604639.20	3604.64
44.14	1928.58	63.05	18900.12	3857166.80	3857.17
44.54	1883.36	63.63	18456.94	3766721.60	3766.72
44.93	1914.69	64.19	18763.98	3829383.20	3829.38
45.37	1963.22	64.82	19239.54	3926437.60	3926.44
46.26	1964.60	66.09	19253.08	3929200.00	3929.20
46.94	2019.83	67.06	19794.29	4039651.60	4039.65
47.60	2029.30	68.01	19887.13	4058597.20	4058.60

48.21	2065.53	68.87	20242.24	4131068.40	4131.07
48.70	2096.97	69.57	20550.28	4193935.20	4193.94
49.30	2113.09	70.43	20708.31	4226186.00	4226.19
50.19	2134.44	71.70	20917.55	4268888.60	4268.89
51.17	2188.27	73.11	21445.08	4376546.00	4376.55
52.17	2179.77	74.53	21361.72	4359535.60	4359.54
52.75	2231.34	75.36	21867.16	4462685.60	4462.69
52.58	2143.57	75.11	21007.00	4287143.20	4287.14
53.38	2171.25	76.26	21278.25	4342499.20	4342.50
53.95	2185.13	77.07	21414.27	4370258.80	4370.26
54.67	2200.19	78.10	21561.90	4400387.60	4400.39
55.28	2217.43	78.97	21730.80	4434857.20	4434.86
55.73	2228.72	79.61	21841.49	4457446.20	4457.45
56.23	2217.15	80.33	21728.09	4434304.20	4434.30
56.03	2144.46	80.05	21015.73	4288925.40	4288.93
56.87	2194.39	81.25	21505.02	4388779.80	4388.78
57.49	2193.70	82.13	21498.30	4387408.40	4387.41
58.57	2240.43	83.67	21956.22	4480860.60	4480.86
59.83	2273.09	85.48	22276.28	4546180.20	4546.18
61.03	2344.15	87.19	22972.64	4688294.60	4688.29
61.78	2361.97	88.26	23147.29	4723937.60	4723.94
62.33	2429.01	89.05	23804.32	4858025.20	4858.03
62.65	2351.78	89.50	23047.48	4703567.40	4703.57
62.82	2410.18	89.74	23619.73	4820353.60	4820.35
63.43	2408.81	90.61	23606.35	4817622.40	4817.62
63.77	2460.90	91.11	24116.79	4921794.20	4921.79
64.42	2471.85	92.03	24224.12	4943697.80	4943.70
64.89	2504.46	92.69	24543.68	5008914.60	5008.91
65.42	2556.07	93.46	25049.49	5112140.60	5112.14
66.24	2588.48	94.62	25367.11	5176960.80	5176.96
66.82	2641.11	95.46	25882.90	5282224.40	5282.22
67.32	2671.93	96.17	26184.91	5343859.00	5343.86
67.98	2715.45	97.12	26611.42	5430901.40	5430.90
68.95	2780.77	98.50	27251.55	5561539.80	5561.54
69.97	2849.29	99.95	27923.02	5698574.80	5698.57
70.73	2908.16	101.04	28499.95	5816317.00	5816.32
71.29	2935.41	101.85	28767.03	5870822.80	5870.82
71.61	2975.51	102.30	29159.97	5951014.60	5951.01
72.19	3005.30	103.13	29451.93	6010597.80	6010.60
73.00	3078.39	104.29	30168.20	6156774.60	6156.77
74.02	3124.59	105.74	30620.94	6249172.00	6249.17
74.70	3190.12	106.72	31263.14	6380232.20	6380.23
75.23	3212.68	107.47	31484.31	6425368.40	6425.37

75.72	3248.56	108.17	31835.86	6497113.80	6497.11
76.37	3315.38	109.10	32490.77	6630769.20	6630.77
77.15	3372.01	110.21	33045.71	6744023.20	6744.02
78.06	3421.52	111.52	33530.92	6843045.80	6843.05
78.58	3447.33	112.25	33783.80	6894653.60	6894.65
79.20	3480.50	113.14	34108.92	6961004.40	6961.00
79.70	3537.02	113.86	34662.83	7074046.00	7074.05
80.64	3581.47	115.19	35098.44	7162946.00	7162.95
81.22	3637.49	116.03	35647.44	7274987.60	7274.99
81.93	3670.67	117.04	35972.55	7341336.20	7341.34
82.48	3719.13	117.82	36447.44	7438253.60	7438.25
83.25	3753.78	118.93	36787.01	7507552.60	7507.55
83.80	3785.39	119.71	37096.86	7570788.00	7570.79
84.05	3801.16	120.08	37251.38	7602322.00	7602.32
84.13	3805.61	120.18	37294.97	7611219.00	7611.22

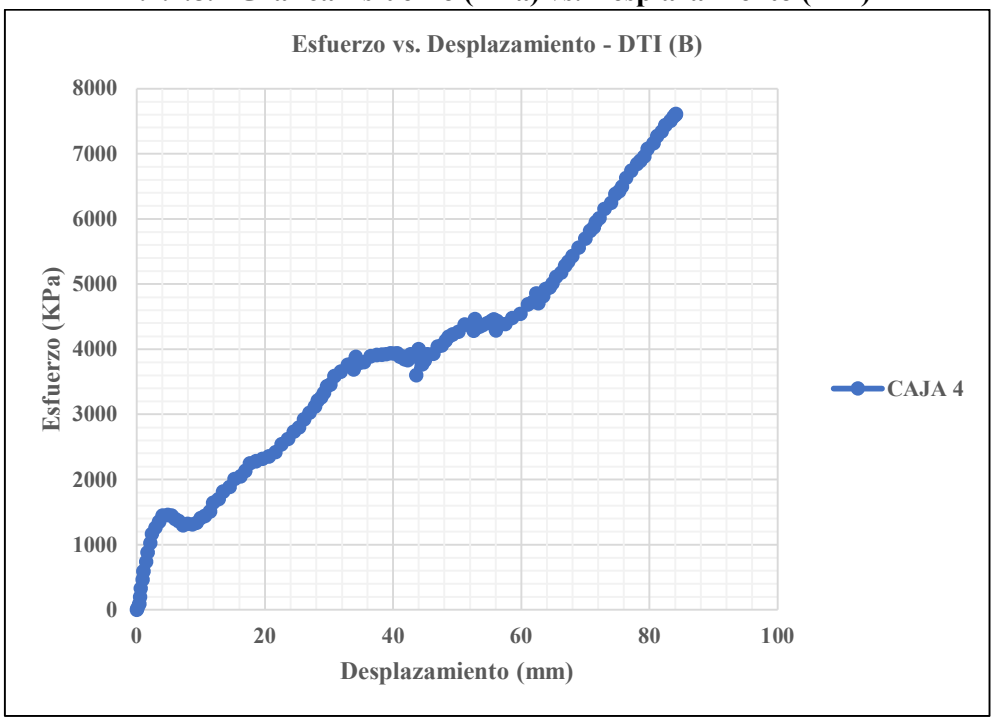
Anexo 61: Cálculos de Muestra 1 – DTI (B). Elaboración Propia.

11.4.2.8.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



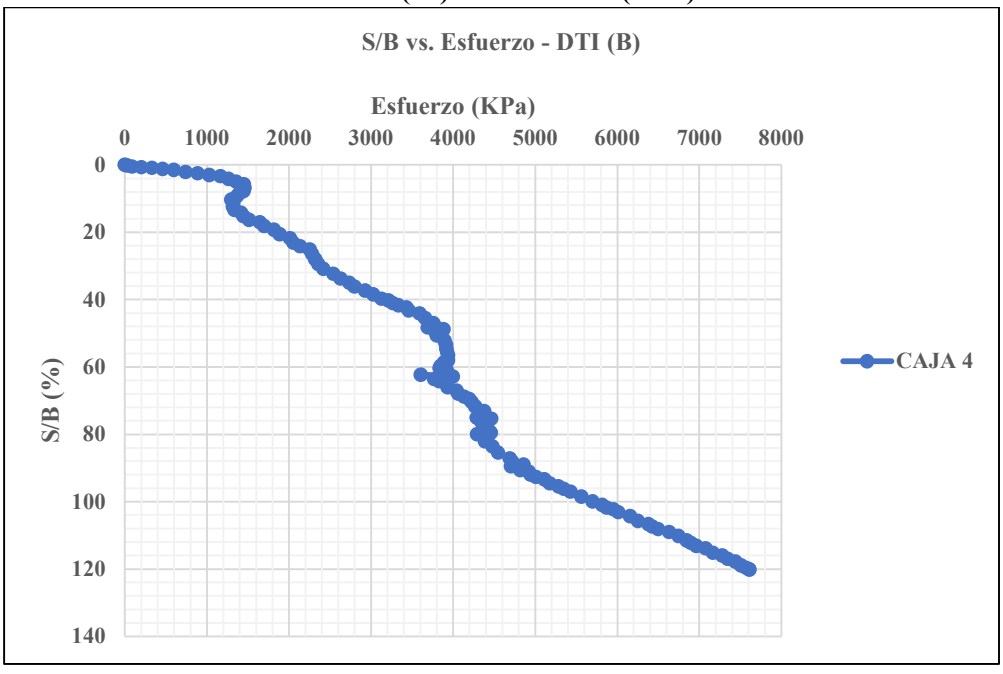
Anexo 62: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.8.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 63: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.8.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 64: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.9 Muestra 2 – DTI (B)

CAJA 13

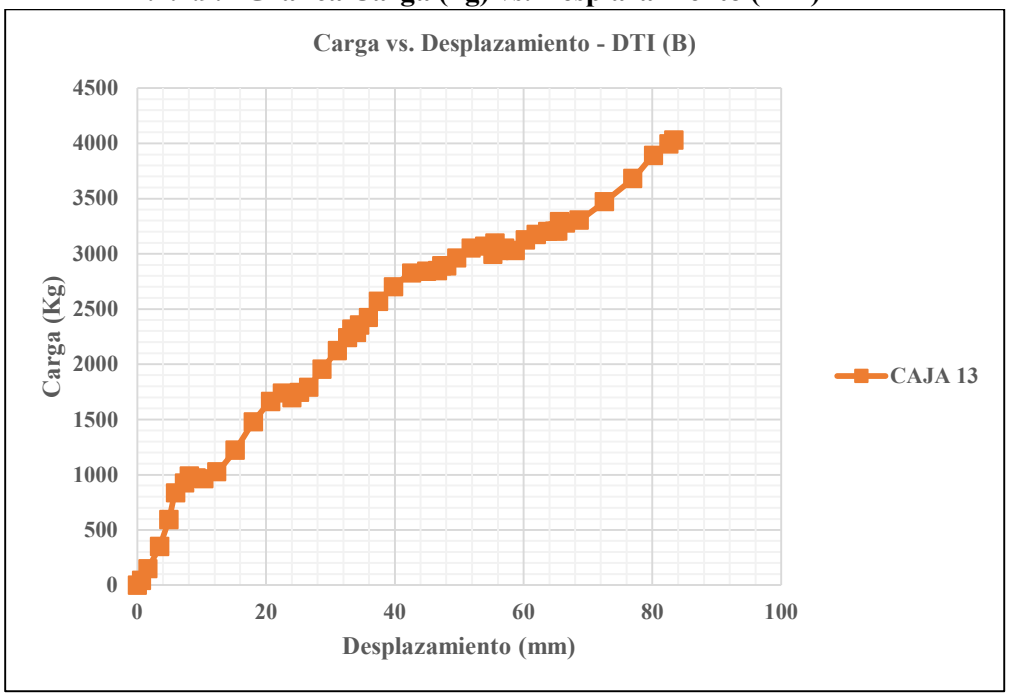
Fecha:	01-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4690
Esfuerzo (Mpa):	9.39

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.69	44.09	1.0	432.04	88172.40	88.17
1.67	149.16	2.4	1461.77	298321.40	298.32
3.45	350.56	4.9	3435.46	701115.00	701.12
4.90	594.11	7.0	5822.24	1188213.20	1188.21
5.93	837.00	8.5	8202.57	1673993.20	1673.99
7.34	924.65	10.5	9061.62	1849309.20	1849.31
8.08	988.22	11.5	9684.52	1976433.20	1976.43
9.18	972.58	13.1	9531.31	1945165.20	1945.17
10.33	964.84	14.8	9455.39	1929671.20	1929.67
12.32	1025.00	17.6	10045.00	2049999.20	2050.00
15.18	1221.12	21.7	11967.00	2442245.20	2442.25
18.04	1477.24	25.8	14477.00	2954489.20	2954.49
20.69	1663.33	29.6	16300.67	3326667.20	3326.67
22.52	1739.26	32.2	17044.78	3478527.20	3478.53
24.03	1697.61	34.3	16636.55	3395215.20	3395.22
25.20	1745.05	36.0	17101.53	3490107.20	3490.11
26.65	1790.98	38.1	17551.58	3581955.20	3581.96
28.68	1956.00	41.0	19168.79	3911997.20	3912.00
31.07	2123.63	44.4	20811.60	4247265.20	4247.27
32.68	2242.14	46.7	21972.97	4484279.20	4484.28
33.30	2316.47	47.6	22701.41	4632941.20	4632.94
34.05	2286.67	48.6	22409.34	4573335.20	4573.34
34.53	2355.86	49.3	23087.40	4711715.20	4711.72
35.89	2422.44	51.3	23739.95	4844887.20	4844.89
37.47	2570.43	53.5	25190.19	5140855.20	5140.86
39.82	2702.02	56.9	26479.79	5404039.20	5404.04
42.60	2825.26	60.9	27687.52	5650515.20	5650.52
44.94	2842.21	64.2	27853.64	5684417.20	5684.42
46.65	2848.60	66.6	27916.31	5697205.20	5697.21
47.28	2890.79	67.5	28329.71	5781573.20	5781.57
48.09	2892.81	68.7	28349.49	5785611.20	5785.61
49.63	2962.38	70.9	29031.37	5924769.20	5924.77
51.88	3052.62	74.1	29915.65	6105235.20	6105.24
53.96	3069.14	77.1	30077.57	6138279.20	6138.28

55.57	3100.05	79.4	30380.54	6200109.20	6200.11
55.21	2994.67	78.9	29347.72	5989331.20	5989.33
56.22	3030.35	80.3	29697.42	6060697.20	6060.70
57.06	3052.54	81.5	29914.88	6105077.20	6105.08
58.69	3029.51	83.8	29689.24	6059029.20	6059.03
60.28	3126.33	86.1	30638.01	6252655.20	6252.66
61.94	3176.14	88.5	31126.22	6352289.20	6352.29
63.71	3201.27	91.0	31372.49	6402549.20	6402.55
64.85	3205.55	92.6	31414.38	6411097.20	6411.10
65.59	3292.87	93.7	32270.15	6585745.20	6585.75
65.34	3206.96	93.3	31428.18	6413915.20	6413.92
66.49	3277.98	95.0	32124.17	6555953.20	6555.95
68.66	3307.10	98.1	32409.54	6614191.20	6614.19
72.55	3471.61	103.6	34021.79	6943223.20	6943.22
76.93	3681.84	109.9	36082.08	7363689.20	7363.69
80.15	3891.20	114.5	38133.80	7782407.20	7782.41
82.54	3995.83	117.9	39159.12	7991657.20	7991.66
83.36	4031.43	119.1	39508.00	8062857.20	8062.86

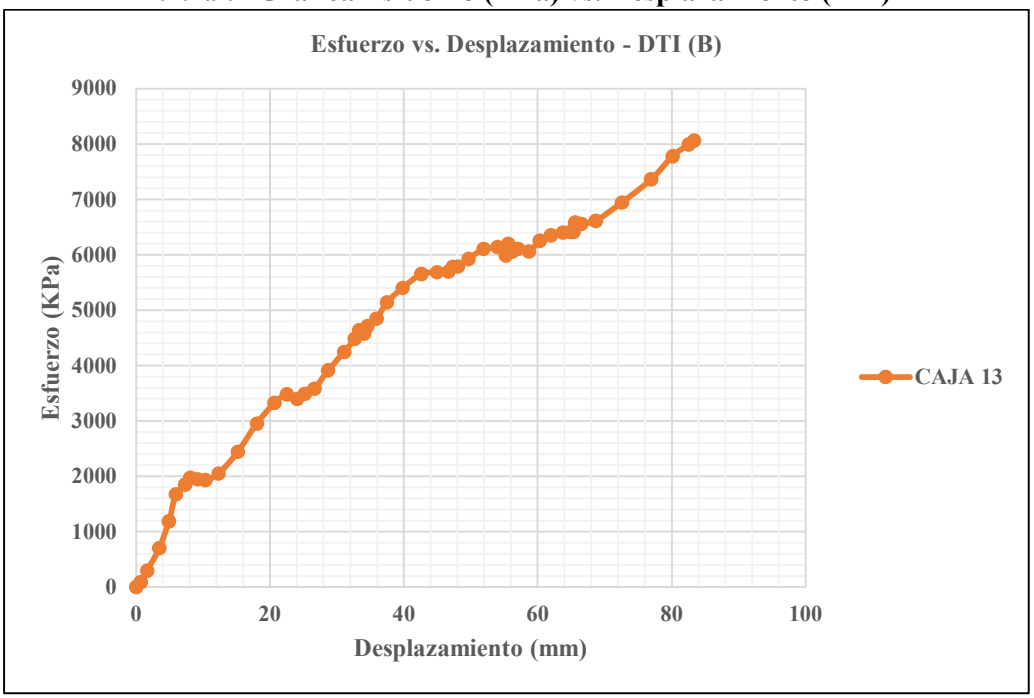
Anexo 65: Cálculos de Muestra 2 – DTI (B). Elaboración Propia.

11.4.2.9.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



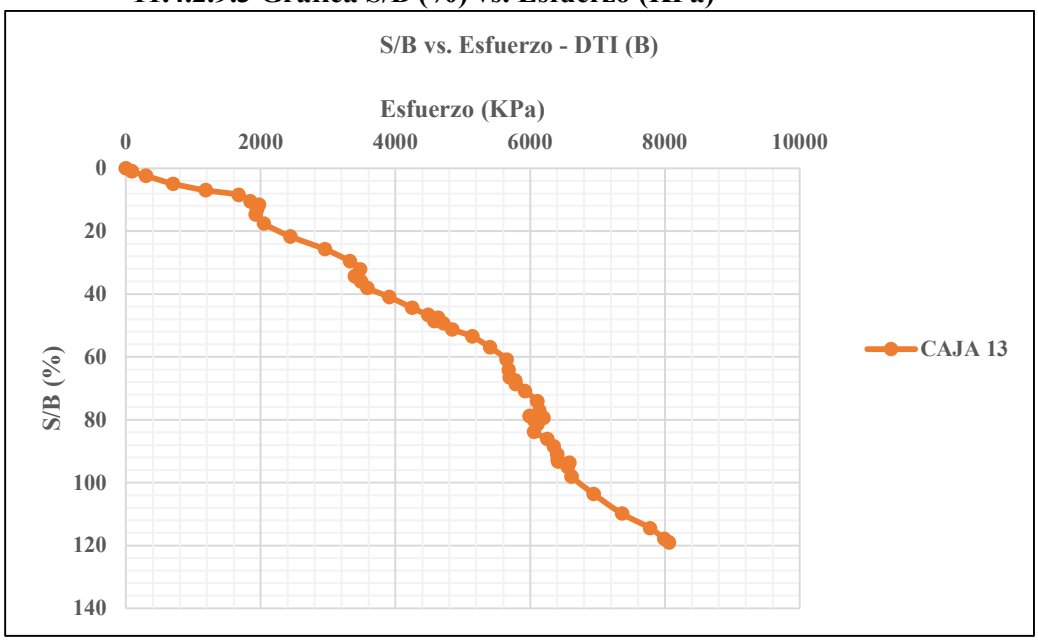
Anexo 66: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.9.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 67: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.9.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 68: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.10 Muestra 3 – DTI (B)

CAJA 20	
Fecha:	07-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7

Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	3860
Esfuerzo (Mpa):	7.73

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11	12.45	0.16	122.01	24901.00	24.90
0.45	51.04	0.65	500.15	102071.20	102.07
0.38	130.40	0.55	1277.96	260808.80	260.81
0.97	186.78	1.39	1830.41	373553.80	373.55
1.07	242.62	1.54	2377.65	485235.20	485.24
1.17	288.08	1.67	2823.19	576160.60	576.16
1.37	348.53	1.96	3415.59	697058.40	697.06
1.49	413.25	2.12	4049.87	826504.00	826.50
1.90	477.27	2.72	4677.25	954539.80	954.54
1.98	539.14	2.83	5283.53	1078271.00	1078.27
2.20	589.22	3.15	5774.35	1178437.80	1178.44
2.24	631.49	3.20	6188.64	1262988.40	1262.99
2.43	660.54	3.47	6473.27	1321075.40	1321.08
2.55	692.11	3.65	6782.68	1384219.40	1384.22
2.78	718.66	3.97	7042.86	1437318.60	1437.32
2.70	760.82	3.86	7456.00	1521632.00	1521.63
3.06	800.18	4.37	7841.77	1600361.20	1600.36
3.18	854.67	4.55	8375.79	1709344.40	1709.34
3.54	898.48	5.06	8805.12	1796962.60	1796.96
3.68	946.51	5.25	9275.82	1893025.20	1893.03
3.97	987.49	5.67	9677.44	1974987.20	1974.99
4.34	1016.13	6.21	9958.10	2032265.20	2032.27
4.73	1045.30	6.75	10243.94	2090599.40	2090.60
5.16	1065.11	7.38	10438.11	2130225.80	2130.23
5.70	1086.83	8.14	10650.92	2173656.60	2173.66
6.31	1084.35	9.01	10626.65	2168704.20	2168.70
6.91	1090.46	9.87	10686.50	2180918.80	2180.92
7.40	1072.40	10.57	10509.56	2144807.60	2144.81
7.82	1056.24	11.17	10351.14	2112477.60	2112.48
8.33	1051.99	11.90	10309.50	2103980.60	2103.98
8.92	1056.74	12.74	10356.09	2113488.00	2113.49
9.52	1062.83	13.59	10415.77	2125668.00	2125.67
10.05	1068.58	14.35	10472.13	2137169.20	2137.17
10.48	1087.62	14.98	10658.65	2175235.60	2175.24
10.97	1108.55	15.67	10863.74	2217090.20	2217.09
11.49	1137.85	16.42	11150.91	2275695.00	2275.70

12.27	1169.49	17.52	11460.99	2338978.20	2338.98
12.99	1225.53	18.56	12010.23	2451067.40	2451.07
13.81	1268.63	19.73	12432.60	2537265.20	2537.27
14.29	1314.47	20.42	12881.85	2628949.60	2628.95
14.97	1336.25	21.38	13095.28	2672505.80	2672.51
15.54	1372.80	22.20	13453.39	2745590.20	2745.59
16.14	1402.00	23.06	13739.64	2804008.60	2804.01
16.65	1430.99	23.79	14023.75	2861989.40	2861.99
17.08	1459.04	24.40	14298.55	2918071.20	2918.07
17.57	1491.72	25.10	14618.86	2983441.60	2983.44
18.15	1494.15	25.92	14642.67	2988300.00	2988.30
18.55	1526.87	26.49	14963.34	3053743.60	3053.74
18.87	1526.68	26.96	14961.50	3053367.60	3053.37
19.42	1538.71	27.75	15079.39	3077427.00	3077.43
18.82	1445.96	26.88	14170.43	2891925.20	2891.93
19.31	1466.06	27.59	14367.42	2932126.20	2932.13
19.50	1471.44	27.86	14420.10	2942877.20	2942.88
19.69	1482.27	28.13	14526.21	2964533.40	2964.53
20.02	1489.68	28.60	14598.90	2979368.00	2979.37
20.43	1488.01	29.19	14582.48	2976016.40	2976.02
20.91	1493.90	29.87	14640.25	2987806.80	2987.81
21.34	1479.46	30.49	14498.70	2958918.40	2958.92
21.79	1485.73	31.12	14560.15	2971460.20	2971.46
22.09	1460.92	31.55	14317.01	2921839.60	2921.84
22.41	1445.57	32.01	14166.55	2891132.60	2891.13
22.60	1407.49	32.28	13793.41	2814981.60	2814.98
23.18	1406.07	33.11	13779.52	2812146.40	2812.15
23.76	1416.17	33.94	13878.51	2832349.00	2832.35
24.39	1421.86	34.84	13934.27	2843728.20	2843.73
24.89	1433.78	35.56	14051.01	2867553.80	2867.55
25.31	1438.67	36.15	14098.99	2877344.00	2877.34
25.67	1452.15	36.68	14231.03	2904292.80	2904.29
26.03	1459.39	37.18	14301.98	2918771.60	2918.77
26.32	1470.51	37.60	14411.04	2941028.40	2941.03
26.62	1483.47	38.02	14538.01	2966941.80	2966.94
27.09	1485.19	38.70	14554.82	2970372.40	2970.37
27.51	1514.19	39.30	14839.08	3028383.00	3028.38
27.92	1531.18	39.89	15005.56	3062360.20	3062.36
28.27	1546.16	40.39	15152.39	3092324.40	3092.32
28.58	1562.57	40.83	15313.21	3125145.60	3125.15
28.89	1570.57	41.28	15391.61	3141144.60	3141.14
29.13	1587.14	41.61	15553.94	3174273.80	3174.27
29.33	1597.54	41.90	15655.90	3195080.80	3195.08

29.56	1607.46	42.23	15753.09	3214916.60	3214.92
29.69	1621.11	42.42	15886.88	3242221.00	3242.22
29.94	1635.11	42.77	16024.10	3270224.60	3270.22
30.30	1644.54	43.28	16116.54	3289089.40	3289.09
30.66	1650.35	43.80	16173.43	3300700.00	3300.70
30.89	1668.14	44.13	16347.73	3336272.40	3336.27
31.04	1676.94	44.35	16433.97	3353871.20	3353.87
31.30	1684.46	44.71	16507.67	3368913.20	3368.91
31.33	1650.05	44.76	16170.52	3300106.60	3300.11
31.70	1683.51	45.29	16498.35	3367010.80	3367.01
31.95	1644.48	45.65	16115.90	3288959.80	3288.96
31.81	1570.43	45.44	15390.18	3140853.80	3140.85
32.19	1639.25	45.98	16064.63	3278495.20	3278.50
32.59	1648.40	46.56	16154.28	3296791.80	3296.79
32.85	1665.18	46.93	16318.72	3330350.40	3330.35
33.14	1678.32	47.34	16447.51	3356635.20	3356.64
33.50	1687.33	47.85	16535.82	3374656.20	3374.66
34.22	1755.60	48.88	17204.89	3511202.80	3511.20
34.17	1608.67	48.81	15764.98	3217342.60	3217.34
34.70	1686.38	49.58	16526.53	3372762.20	3372.76
35.19	1690.80	50.28	16569.86	3381603.80	3381.60
35.77	1711.35	51.10	16771.22	3422698.60	3422.70
36.12	1752.54	51.60	17174.87	3505075.60	3505.08
36.68	1762.14	52.40	17268.94	3524273.20	3524.27
37.04	1786.48	52.91	17507.46	3572951.00	3572.95
37.42	1802.59	53.46	17665.34	3605172.20	3605.17
37.68	1831.32	53.84	17946.91	3662634.60	3662.63
37.98	1850.64	54.25	18136.23	3701272.40	3701.27
38.29	1865.78	54.70	18284.67	3731565.60	3731.57
38.48	1885.23	54.98	18475.30	3770469.60	3770.47
38.70	1898.59	55.29	18606.19	3797182.40	3797.18
38.88	1906.68	55.55	18685.43	3813354.00	3813.35
39.01	1917.29	55.73	18789.48	3834588.20	3834.59
39.13	1924.80	55.90	18863.04	3849600.60	3849.60
39.25	1932.14	56.08	18935.01	3864288.20	3864.29
39.36	1942.18	56.23	19033.32	3884352.00	3884.35
39.54	1949.25	56.49	19102.64	3898498.20	3898.50
39.72	1961.03	56.75	19218.09	3922060.00	3922.06
39.91	1974.43	57.01	19349.44	3948865.80	3948.87
40.12	1980.47	57.32	19408.60	3960938.40	3960.94
40.23	1997.42	57.47	19574.70	3994836.60	3994.84
40.40	2004.38	57.72	19642.97	4008768.80	4008.77
40.79	2037.73	58.27	19969.79	4075467.40	4075.47

40.71	1906.46	58.16	18683.30	3812919.00	3812.92
41.19	1986.36	58.85	19466.33	3972719.80	3972.72
41.49	2004.73	59.27	19646.32	4009453.60	4009.45
41.80	2033.59	59.71	19929.20	4067183.40	4067.18
42.29	2046.48	60.41	20055.50	4092959.00	4092.96
42.70	2077.80	60.99	20362.42	4155596.20	4155.60
42.94	2108.63	61.34	20664.53	4217250.80	4217.25
43.34	2112.70	61.91	20704.43	4225394.40	4225.39
43.56	2137.07	62.23	20943.25	4274133.00	4274.13
43.81	2153.26	62.59	21101.91	4306513.20	4306.51
44.04	2170.88	62.91	21274.60	4341754.60	4341.75
44.23	2172.21	63.18	21287.69	4344426.60	4344.43
44.67	2187.76	63.82	21440.00	4375510.00	4375.51
43.99	2092.12	62.85	20502.76	4184236.00	4184.24
44.54	2115.51	63.62	20732.03	4231027.40	4231.03
44.63	2138.79	63.76	20960.19	4277589.60	4277.59
44.96	2154.62	64.23	21115.26	4309236.60	4309.24
45.21	2177.08	64.59	21335.37	4354157.20	4354.16
45.50	2195.99	65.00	21520.75	4391988.80	4391.99
45.84	2211.84	65.48	21676.06	4423686.20	4423.69
46.00	2249.80	65.72	22048.07	4499606.20	4499.61
46.43	2251.47	66.33	22064.38	4502934.60	4502.93
46.58	2272.50	66.54	22270.49	4544998.00	4545.00
46.74	2280.75	66.77	22351.40	4561509.20	4561.51
46.76	2299.72	66.80	22537.21	4599430.80	4599.43
46.98	2308.88	67.11	22627.02	4617758.40	4617.76
47.15	2327.25	67.35	22807.04	4654497.80	4654.50
47.43	2344.13	67.76	22972.43	4688250.40	4688.25
47.76	2366.65	68.23	23193.21	4733308.00	4733.31
48.12	2388.01	68.74	23402.50	4776021.00	4776.02
48.58	2399.19	69.40	23512.09	4798385.80	4798.39
48.69	2436.29	69.55	23875.68	4872587.80	4872.59
48.97	2457.40	69.96	24082.51	4914797.00	4914.80
49.23	2471.79	70.33	24223.52	4943575.20	4943.58
49.49	2489.66	70.71	24398.67	4979320.20	4979.32
49.78	2502.28	71.11	24522.31	5004552.40	5004.55
49.98	2525.38	71.40	24748.77	5050768.80	5050.77
50.21	2537.46	71.72	24867.15	5074929.40	5074.93
50.43	2553.72	72.04	25026.46	5107440.00	5107.44
50.52	2572.86	72.17	25214.03	5145721.20	5145.72
50.71	2585.62	72.44	25339.04	5171231.80	5171.23
50.88	2596.54	72.68	25446.08	5193078.40	5193.08
51.21	2648.45	73.16	25954.82	5296903.00	5296.90

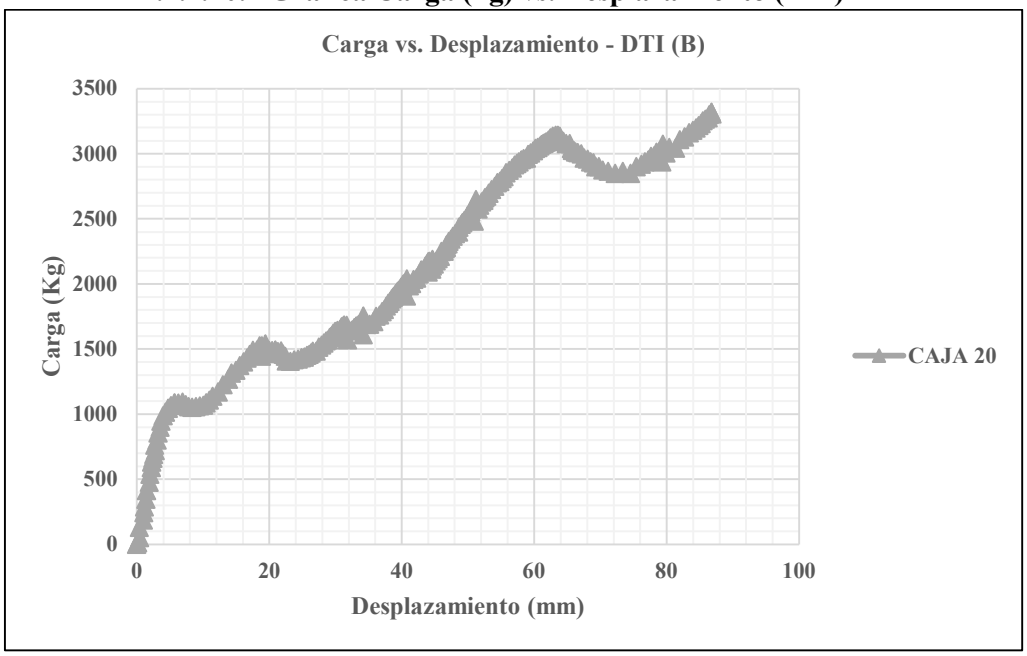
50.98	2482.05	72.82	24324.06	4964094.60	4964.09
51.55	2577.19	73.64	25256.47	5154382.20	5154.38
51.81	2603.73	74.02	25516.53	5207456.00	5207.46
52.08	2630.85	74.40	25782.32	5261697.80	5261.70
52.40	2642.34	74.85	25894.91	5284674.60	5284.67
52.58	2661.57	75.11	26083.38	5323138.40	5323.14
52.84	2673.89	75.48	26204.13	5347780.80	5347.78
53.18	2697.34	75.97	26433.90	5394674.20	5394.67
53.59	2725.13	76.56	26706.30	5450265.20	5450.27
54.08	2750.00	77.25	26950.00	5500000.60	5500.00
54.44	2777.94	77.77	27223.78	5555874.00	5555.87
54.87	2787.79	78.38	27320.35	5575581.60	5575.58
55.15	2809.68	78.78	27534.90	5619367.40	5619.37
55.50	2823.28	79.28	27668.16	5646563.00	5646.56
55.77	2853.13	79.67	27960.69	5706263.60	5706.26
56.26	2871.96	80.37	28145.22	5743923.40	5743.92
56.71	2892.06	81.02	28342.16	5784114.60	5784.11
57.08	2914.34	81.54	28560.52	5828676.60	5828.68
57.41	2925.05	82.01	28665.50	5850102.20	5850.10
57.71	2937.39	82.45	28786.41	5874777.40	5874.78
58.07	2953.95	82.96	28948.70	5907898.40	5907.90
58.46	2963.40	83.51	29041.28	5926792.60	5926.79
58.86	2968.08	84.09	29087.21	5936164.40	5936.16
59.13	2995.27	84.47	29353.60	5990530.00	5990.53
59.48	3006.24	84.98	29461.16	6012482.00	6012.48
59.87	3023.67	85.53	29631.98	6047343.80	6047.34
60.19	3042.11	85.99	29812.67	6084219.00	6084.22
60.58	3048.93	86.54	29879.48	6097852.60	6097.85
60.87	3060.35	86.96	29991.44	6120702.20	6120.70
61.13	3072.12	87.33	30106.78	6144240.40	6144.24
61.37	3078.50	87.67	30169.26	6156992.60	6156.99
61.58	3083.37	87.97	30216.99	6166732.80	6166.73
61.79	3090.63	88.27	30288.14	6181253.20	6181.25
62.02	3095.09	88.60	30331.93	6190189.40	6190.19
62.23	3105.36	88.90	30432.48	6210710.60	6210.71
62.46	3123.04	89.23	30605.82	6246084.80	6246.08
62.82	3135.51	89.75	30728.02	6271023.60	6271.02
63.24	3143.12	90.35	30802.55	6286234.80	6286.23
63.58	3143.46	90.83	30805.87	6286913.20	6286.91
63.88	3135.27	91.26	30725.66	6270542.80	6270.54
64.00	3113.36	91.42	30510.93	6226721.20	6226.72
64.21	3098.42	91.72	30364.49	6196835.40	6196.84
64.44	3095.37	92.06	30334.64	6190743.20	6190.74

64.84	3078.19	92.62	30166.28	6156383.00	6156.38
65.39	3077.30	93.41	30157.59	6154609.40	6154.61
65.60	3041.43	93.71	29806.06	6082869.80	6082.87
65.79	3025.17	93.99	29646.65	6050336.80	6050.34
66.02	3024.81	94.31	29643.16	6049625.20	6049.63
66.26	3014.37	94.66	29540.87	6028748.00	6028.75
66.63	3009.13	95.18	29489.44	6018253.20	6018.25
67.09	2999.39	95.84	29394.07	5998789.40	5998.79
67.54	2967.73	96.49	29083.74	5935457.40	5935.46
68.07	2957.13	97.24	28979.86	5914257.60	5914.26
68.53	2936.46	97.90	28777.27	5872911.80	5872.91
68.99	2930.79	98.56	28721.71	5861574.00	5861.57
69.31	2899.36	99.01	28413.71	5798716.20	5798.72
69.81	2900.87	99.73	28428.50	5801735.60	5801.74
70.39	2874.07	100.55	28165.87	5748136.80	5748.14
71.21	2866.25	101.72	28089.27	5732503.20	5732.50
72.23	2850.01	103.18	27930.09	5700018.00	5700.02
73.36	2866.27	104.80	28089.41	5732532.00	5732.53
74.56	2850.67	106.51	27936.59	5701345.20	5701.35
75.44	2899.27	107.78	28412.81	5798533.40	5798.53
76.19	2919.97	108.85	28615.68	5839933.80	5839.93
76.75	2937.97	109.65	28792.06	5875931.60	5875.93
77.28	2954.08	110.40	28949.98	5908159.40	5908.16
77.66	2978.63	110.94	29190.54	5957252.40	5957.25
78.14	2985.93	111.62	29262.11	5971860.00	5971.86
78.48	3010.86	112.11	29506.40	6021715.20	6021.72
78.89	3013.92	112.70	29536.45	6027846.80	6027.85
79.47	3072.72	113.53	30112.68	6145445.80	6145.45
79.29	2937.46	113.28	28787.07	5874913.00	5874.91
79.94	3006.19	114.20	29460.67	6012381.60	6012.38
80.40	3049.03	114.86	29880.49	6098058.80	6098.06

81.38	3044.33	116.25	29834.40	6088653.00	6088.65
81.99	3107.90	117.13	30457.45	6215806.80	6215.81
82.74	3130.28	118.19	30676.77	6260566.00	6260.57
83.39	3160.38	119.14	30971.71	6320756.80	6320.76
83.97	3180.56	119.96	31169.46	6361115.20	6361.12
84.45	3199.56	120.64	31355.72	6399127.40	6399.13
84.86	3216.36	121.23	31520.37	6432728.20	6432.73
85.21	3233.03	121.73	31683.70	6466060.40	6466.06
85.52	3254.72	122.17	31896.25	6509438.60	6509.44
85.89	3264.85	122.70	31995.51	6529695.60	6529.70
86.28	3277.15	123.25	32116.11	6554307.80	6554.31
86.47	3300.53	123.53	32345.19	6601060.00	6601.06
86.85	3303.89	124.08	32378.12	6607778.80	6607.78
86.80	3315.97	124.00	32496.54	6631947.20	6631.95
86.79	3317.49	123.99	32511.41	6634981.40	6634.98

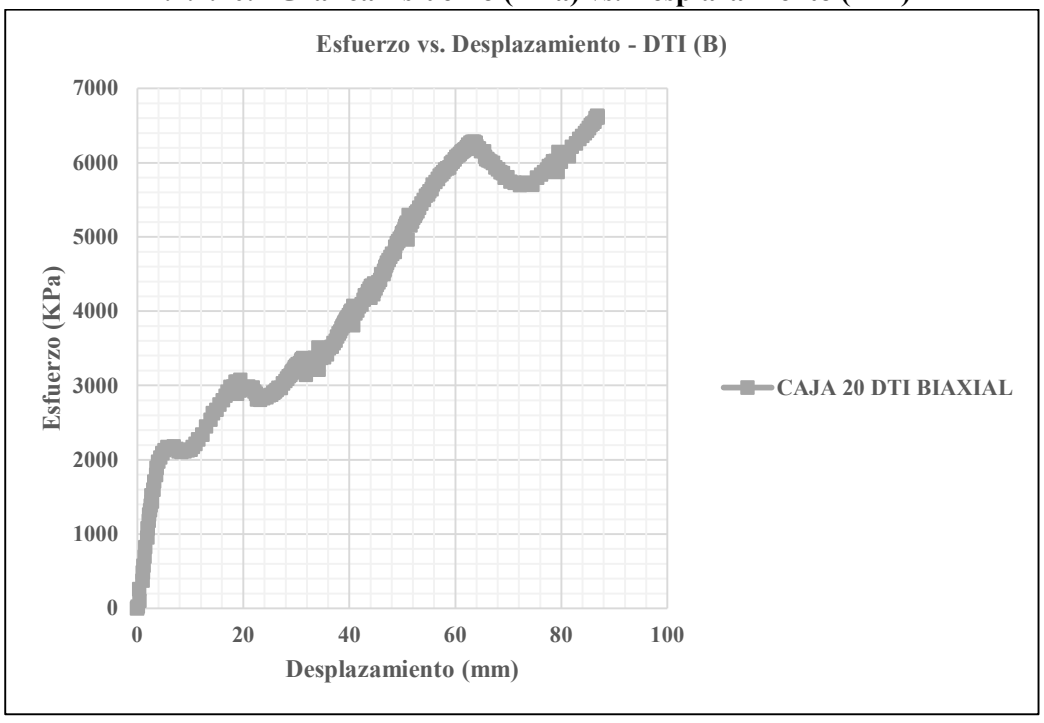
Anexo 69: Cálculos de Muestra 3 – DTI (B). Elaboración Propia.

11.4.2.10.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



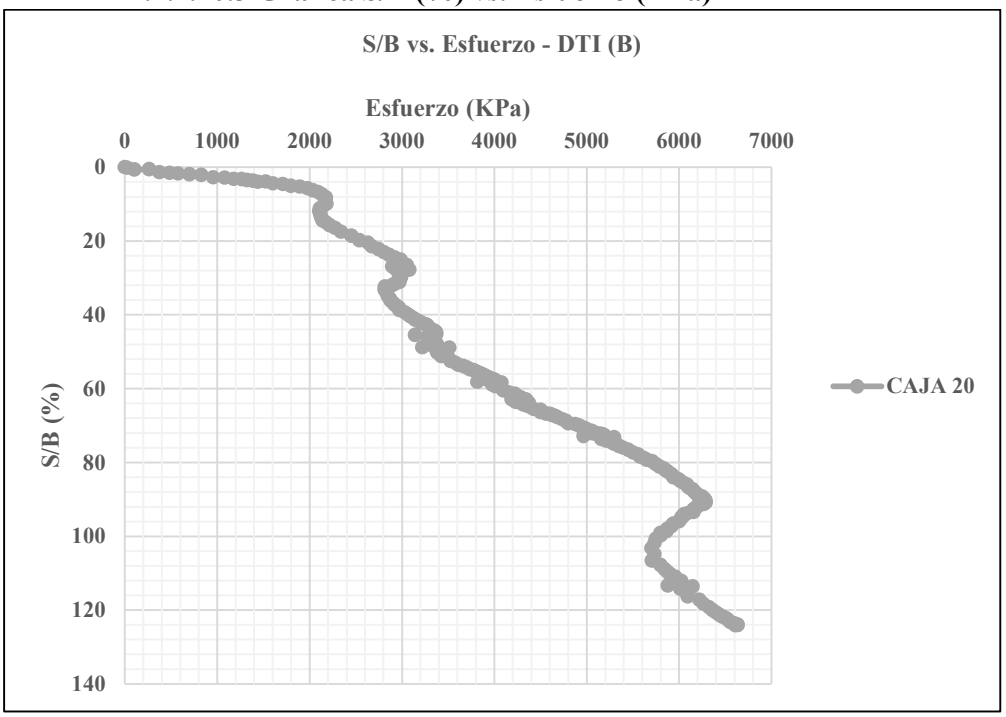
Anexo 70: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.10.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 71: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DTI (B). Elaboración Propia

11.4.2.10.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 72: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DTI (B). Elaboración Propia

11.4.3 Muestras con Geomalla Multiaxial

11.4.3.1 Muestra 1 –DU (M)

CAJA 5	
Fecha:	19-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	5130
Esfuerzo (Mpa):	10.26

Fuerza (kg)	Desplazamiento (mm)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
19.64	0.14	0.2	192.50	39284.80	39.28
54.88	0.38	0.5	537.80	109755.40	109.76
117.30	0.63	0.9	1149.56	234604.00	234.60
183.40	0.87	1.2	1797.27	366790.80	366.79
242.21	1.05	1.5	2373.65	484419.00	484.42
305.53	1.30	1.9	2994.18	611057.20	611.06
360.32	1.47	2.1	3531.12	720636.60	720.64
418.87	1.64	2.3	4104.93	837741.20	837.74
458.58	1.84	2.6	4494.06	917154.80	917.15

503.66	1.86	2.7	4935.82	1007310.00	1007.31
541.31	2.17	3.1	5304.86	1082624.80	1082.62
598.90	2.34	3.3	5869.18	1197792.80	1197.79
652.52	2.42	3.5	6394.70	1305040.60	1305.04
702.10	2.59	3.7	6880.55	1404194.20	1404.19
735.71	2.70	3.9	7209.97	1471422.20	1471.42
767.23	2.84	4.1	7518.89	1534468.00	1534.47
811.56	2.99	4.3	7953.27	1623115.40	1623.12
857.80	3.17	4.5	8406.45	1715601.40	1715.60
909.78	3.26	4.7	8915.85	1819560.40	1819.56
951.85	3.64	5.2	9328.14	1903701.60	1903.70
1010.80	3.72	5.3	9905.80	2021592.20	2021.59
1089.66	4.02	5.7	10678.65	2179317.20	2179.32
1163.27	4.56	6.5	11400.00	2326530.80	2326.53
1224.24	5.11	7.3	11997.52	2448473.00	2448.47
1274.44	5.24	7.5	12489.50	2548877.00	2548.88
1298.98	5.64	8.1	12730.01	2597962.20	2597.96
1339.75	5.92	8.5	13129.55	2679499.00	2679.50
1376.26	6.41	9.2	13487.36	2752523.40	2752.52
1404.99	6.97	10.0	13768.91	2809981.20	2809.98
1446.96	7.60	10.9	14180.16	2893911.20	2893.91
1460.83	8.42	12.0	14316.10	2921652.40	2921.65
1514.97	9.23	13.2	14846.70	3029938.40	3029.94
1546.14	10.08	14.4	15152.19	3092283.20	3092.28
1586.90	10.80	15.4	15551.63	3173803.00	3173.80
1629.69	11.56	16.5	15970.98	3259383.00	3259.38
1666.14	12.32	17.6	16328.17	3332279.80	3332.28
1716.97	12.94	18.5	16826.32	3433943.40	3433.94
1755.44	13.36	19.1	17203.36	3510889.40	3510.89
1778.46	13.83	19.8	17428.88	3556915.00	3556.92
1819.24	14.41	20.6	17828.51	3638471.00	3638.47
1862.53	14.96	21.4	18252.75	3725050.40	3725.05
1892.04	15.67	22.4	18542.04	3784089.40	3784.09
1936.91	15.98	22.8	18981.77	3873829.80	3873.83
1956.86	16.47	23.5	19177.23	3913719.80	3913.72
1986.74	16.89	24.1	19470.05	3973480.00	3973.48
2008.11	17.38	24.8	19679.43	4016211.00	4016.21
2046.41	17.81	25.4	20054.81	4092818.60	4092.82
2085.07	18.30	26.1	20433.70	4170143.20	4170.14
2130.34	18.68	26.7	20877.32	4260678.20	4260.68
2167.75	19.20	27.4	21243.95	4335499.40	4335.50
2199.00	19.58	28.0	21550.15	4397990.60	4397.99
2217.58	19.93	28.5	21732.27	4435157.20	4435.16

2216.16	20.16	28.8	21718.35	4432315.80	4432.32
2234.21	20.27	29.0	21895.25	4468418.60	4468.42
2253.94	20.40	29.1	22088.65	4507888.20	4507.89
2266.71	20.69	29.6	22213.75	4533417.60	4533.42
2291.22	20.93	29.9	22453.96	4582440.80	4582.44
2319.54	21.13	30.2	22731.52	4639085.60	4639.09
2322.57	21.46	30.7	22761.15	4645131.80	4645.13
2316.60	21.76	31.1	22702.71	4633206.40	4633.21
2346.17	21.89	31.3	22992.45	4692336.40	4692.34
2369.39	22.06	31.5	23219.98	4738771.60	4738.77
2388.78	22.30	31.9	23410.05	4777561.40	4777.56
2415.23	22.50	32.1	23669.28	4830464.60	4830.46
2428.61	22.66	32.4	23800.37	4857218.20	4857.22
2456.85	22.99	32.8	24077.11	4913695.60	4913.70
2420.92	22.82	32.6	23725.04	4841844.00	4841.84
2420.86	23.12	33.0	23724.39	4841713.00	4841.71
2441.92	23.15	33.1	23930.82	4883841.00	4883.84
2449.55	23.37	33.4	24005.63	4899107.40	4899.11
2469.65	23.51	33.6	24202.60	4939306.20	4939.31
2454.94	23.75	33.9	24058.46	4909888.80	4909.89
2470.59	23.92	34.2	24211.83	4941189.80	4941.19
2470.97	24.15	34.5	24215.52	4941942.20	4941.94
2474.54	24.43	34.9	24250.53	4949088.00	4949.09
2492.56	24.60	35.1	24427.06	4985113.80	4985.11
2507.97	24.74	35.3	24578.14	5015947.20	5015.95
2517.24	24.90	35.6	24668.95	5034479.00	5034.48
2535.79	25.23	36.0	24850.72	5071575.40	5071.58
2564.04	25.60	36.6	25127.58	5128076.80	5128.08
2602.05	25.90	37.0	25500.05	5204091.00	5204.09
2625.48	26.23	37.5	25729.72	5250964.20	5250.96
2650.34	26.49	37.8	25973.29	5300670.80	5300.67
2669.06	26.84	38.3	26156.75	5338113.00	5338.11
2694.51	27.04	38.6	26406.21	5389022.80	5389.02
2708.45	27.19	38.8	26542.84	5416906.80	5416.91
2729.11	27.51	39.3	26745.25	5458213.60	5458.21
2683.52	27.29	39.0	26298.53	5367046.80	5367.05
2703.03	27.64	39.5	26489.70	5406060.40	5406.06
2719.14	27.69	39.6	26647.57	5438280.40	5438.28
2741.98	27.87	39.8	26871.36	5483951.00	5483.95
2762.55	28.19	40.3	27072.97	5525096.20	5525.10
2799.35	28.45	40.6	27433.65	5598704.60	5598.70
2812.36	28.83	41.2	27561.12	5624717.40	5624.72
2833.80	28.99	41.4	27771.22	5667596.40	5667.60

2850.80	29.14	41.6	27937.84	5701600.00	5701.60
2867.32	29.34	41.9	28099.75	5734642.00	5734.64
2882.36	29.50	42.1	28247.17	5764729.20	5764.73
2883.29	29.71	42.4	28256.23	5766578.00	5766.58
2886.13	29.89	42.7	28284.05	5772255.80	5772.26
2888.57	30.13	43.0	28308.03	5777148.40	5777.15
2889.52	30.34	43.3	28317.27	5779034.80	5779.03
2900.75	30.63	43.8	28427.32	5801493.40	5801.49
2875.50	30.65	43.8	28179.95	5751009.40	5751.01
2872.27	30.96	44.2	28148.24	5744538.40	5744.54
2897.75	31.17	44.5	28397.93	5795495.80	5795.50
2879.84	31.42	44.9	28222.41	5759675.20	5759.68
2860.75	31.50	45.0	28035.37	5721504.20	5721.50
2852.54	31.92	45.6	27954.88	5705077.80	5705.08
2900.00	32.01	45.7	28420.02	5800003.40	5800.00
2893.75	32.63	46.6	28358.80	5787509.20	5787.51
2924.64	33.02	47.2	28661.45	5849275.80	5849.28
2916.00	33.53	47.9	28576.83	5832006.20	5832.01
2927.52	34.00	48.6	28689.65	5855030.00	5855.03
2939.22	34.46	49.2	28804.34	5878436.40	5878.44
2948.68	34.90	49.9	28897.05	5897357.00	5897.36
2965.63	35.24	50.3	29063.21	5931267.20	5931.27
2990.46	35.50	50.7	29306.52	5980922.00	5980.92
3011.93	35.76	51.1	29516.92	6023861.60	6023.86
3018.17	36.00	51.4	29578.07	6036341.40	6036.34
3040.57	36.27	51.8	29797.63	6081148.00	6081.15
2992.74	36.06	51.5	29328.81	5985472.40	5985.47
3009.08	36.54	52.2	29488.99	6018161.60	6018.16
3024.94	36.76	52.5	29644.41	6049880.60	6049.88
3050.92	37.07	53.0	29899.05	6101846.40	6101.85
3073.48	37.35	53.4	30120.12	6146962.40	6146.96
3082.92	37.71	53.9	30212.64	6165845.20	6165.85
3098.39	37.86	54.1	30364.25	6196786.20	6196.79
3116.98	38.16	54.5	30546.37	6233954.00	6233.95
3072.11	38.16	54.5	30106.70	6144224.80	6144.22
3104.12	38.36	54.8	30420.35	6208235.60	6208.24
3108.42	38.63	55.2	30462.55	6216846.60	6216.85
3115.13	38.95	55.6	30528.31	6230267.40	6230.27
3151.23	39.31	56.2	30882.07	6302464.00	6302.46
3111.06	39.25	56.1	30488.34	6222110.20	6222.11
3075.64	39.31	56.2	30141.24	6151274.20	6151.27
3111.89	39.51	56.4	30496.51	6223776.80	6223.78
3112.41	39.76	56.8	30501.64	6224825.00	6224.83

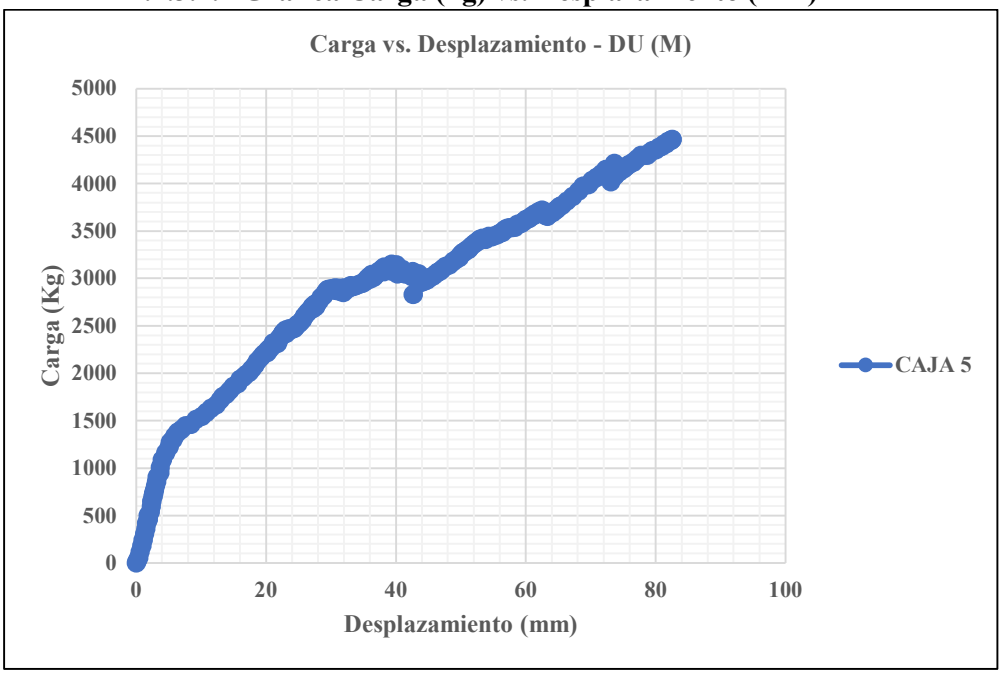
3142.32	40.07	57.2	30794.76	6284645.00	6284.65
3096.09	40.00	57.1	30341.69	6192181.00	6192.18
3076.12	39.96	57.1	30145.97	6152237.80	6152.24
3049.21	40.20	57.4	29882.23	6098414.00	6098.41
3082.42	40.41	57.7	30207.72	6164840.80	6164.84
3094.94	40.93	58.5	30330.37	6189871.80	6189.87
3053.66	40.90	58.4	29925.84	6107313.80	6107.31
3054.01	41.21	58.9	29929.30	6108019.80	6108.02
3047.72	41.43	59.2	29867.61	6095431.40	6095.43
3048.21	41.75	59.6	29872.49	6096427.00	6096.43
3049.30	42.07	60.1	29883.12	6098595.20	6098.60
3070.44	42.56	60.8	30090.26	6140870.00	6140.87
3016.92	42.54	60.8	29565.81	6033838.60	6033.84
3033.48	42.85	61.2	29728.11	6066960.40	6066.96
3049.87	43.51	62.2	29888.76	6099746.20	6099.75
2830.47	42.67	61.0	27738.62	5660943.00	5660.94
2957.51	43.82	62.6	28983.55	5915010.60	5915.01
2970.19	44.32	63.3	29107.84	5940376.20	5940.38
2983.36	44.78	64.0	29236.93	5966721.40	5966.72
3005.58	45.18	64.5	29454.69	6011161.60	6011.16
3022.48	45.67	65.2	29620.29	6044956.60	6044.96
3043.57	46.02	65.7	29826.98	6087138.60	6087.14
3062.85	46.42	66.3	30015.93	6125701.00	6125.70
3075.97	46.84	66.9	30144.53	6151944.00	6151.94
3099.57	47.15	67.4	30375.82	6199146.20	6199.15
3127.21	47.63	68.0	30646.70	6254429.40	6254.43
3140.40	48.23	68.9	30775.91	6280797.40	6280.80
3178.66	48.83	69.8	31150.90	6357327.20	6357.33
3200.10	49.28	70.4	31361.02	6400208.20	6400.21
3218.31	49.76	71.1	31539.43	6436617.60	6436.62
3241.99	49.87	71.2	31771.52	6483982.80	6483.98
3256.04	50.08	71.5	31909.22	6512086.20	6512.09
3270.73	50.32	71.9	32053.16	6541461.60	6541.46
3281.00	50.59	72.3	32153.78	6561995.60	6562.00
3298.94	50.85	72.6	32329.57	6597871.20	6597.87
3303.12	51.11	73.0	32370.56	6606236.20	6606.24
3322.32	51.35	73.4	32558.74	6644640.60	6644.64
3339.44	51.60	73.7	32726.56	6678889.80	6678.89
3359.36	51.95	74.2	32921.76	6718726.00	6718.73
3375.87	52.25	74.6	33083.50	6751735.00	6751.74
3391.29	52.60	75.1	33234.65	6782582.40	6782.58
3408.74	52.85	75.5	33405.69	6817487.60	6817.49
3422.71	53.26	76.1	33542.60	6845427.80	6845.43

3410.82	53.81	76.9	33426.01	6821635.00	6821.64
3441.08	54.29	77.6	33722.60	6882163.60	6882.16
3436.92	54.73	78.2	33681.83	6873843.60	6873.84
3449.33	55.09	78.7	33803.45	6898663.00	6898.66
3457.51	55.51	79.3	33883.61	6915021.80	6915.02
3473.65	55.95	79.9	34041.80	6947306.00	6947.31
3486.13	56.39	80.6	34164.05	6972256.00	6972.26
3511.67	56.68	81.0	34414.35	7023336.00	7023.34
3528.28	57.07	81.5	34577.17	7056565.60	7056.57
3534.82	57.48	82.1	34641.26	7069644.60	7069.64
3535.51	57.87	82.7	34648.00	7071020.60	7071.02
3540.92	58.35	83.4	34701.03	7081842.00	7081.84
3571.49	58.75	83.9	35000.59	7142977.80	7142.98
3581.75	59.35	84.8	35101.15	7163500.20	7163.50
3600.27	59.71	85.3	35282.62	7200535.40	7200.54
3621.24	60.02	85.7	35488.16	7242482.40	7242.48
3625.27	60.33	86.2	35527.66	7250543.20	7250.54
3637.66	60.64	86.6	35649.04	7275314.40	7275.31
3655.97	60.87	87.0	35828.55	7311948.80	7311.95
3660.66	61.15	87.4	35874.49	7321324.60	7321.32
3678.30	61.38	87.7	36047.31	7356593.20	7356.59
3680.00	61.71	88.2	36064.03	7360005.60	7360.01
3700.72	61.98	88.5	36267.10	7401448.20	7401.45
3707.96	62.27	89.0	36338.03	7415925.00	7415.93
3721.08	62.49	89.3	36466.61	7442165.00	7442.17
3711.93	62.71	89.6	36376.89	7423855.00	7423.86
3683.12	62.72	89.6	36094.58	7366240.80	7366.24
3662.99	62.98	90.0	35897.32	7325984.60	7325.98
3652.97	63.32	90.5	35799.10	7305938.00	7305.94
3680.54	63.71	91.0	36069.25	7361072.20	7361.07
3694.74	64.15	91.6	36208.44	7389477.00	7389.48
3716.39	64.58	92.3	36420.66	7432787.80	7432.79
3734.40	64.84	92.6	36597.11	7468798.80	7468.80
3754.55	65.16	93.1	36794.60	7509102.00	7509.10
3769.90	65.59	93.7	36944.97	7539790.40	7539.79
3815.99	66.32	94.7	37396.67	7631973.80	7631.97
3863.86	67.21	96.0	37865.87	7727727.80	7727.73
3920.06	68.15	97.4	38416.59	7840120.40	7840.12
3974.46	68.83	98.3	38949.71	7948921.40	7948.92
3988.25	69.66	99.5	39084.89	7976508.00	7976.51
4036.00	70.22	100.3	39552.76	8071991.00	8071.99
4064.27	70.88	101.3	39829.89	8128549.80	8128.55
4100.83	71.61	102.3	40188.16	8201665.80	8201.67

4149.29	72.29	103.3	40663.03	8298576.80	8298.58
4153.92	72.92	104.2	40708.42	8307841.20	8307.84
4213.04	73.66	105.2	41287.81	8426083.00	8426.08
4018.24	73.09	104.4	39378.77	8036484.60	8036.48
4076.19	73.66	105.2	39946.69	8152386.00	8152.39
4090.80	73.83	105.5	40089.82	8181595.40	8181.60
4108.04	73.97	105.7	40258.83	8216087.20	8216.09
4123.79	74.16	105.9	40413.14	8247579.80	8247.58
4127.59	74.45	106.4	40450.37	8255177.80	8255.18
4150.84	74.67	106.7	40678.21	8301675.60	8301.68
4153.38	75.05	107.2	40703.11	8306757.40	8306.76
4169.19	75.27	107.5	40858.08	8338383.20	8338.38
4187.14	75.58	108.0	41034.02	8374289.40	8374.29
4202.65	75.98	108.5	41185.96	8405297.40	8405.30
4224.66	76.54	109.3	41401.69	8449324.80	8449.32
4260.65	77.14	110.2	41754.40	8521305.80	8521.31
4299.09	77.71	111.0	42131.10	8598183.60	8598.18
4298.53	78.31	111.9	42125.64	8597068.80	8597.07
4297.52	78.71	112.4	42115.69	8595039.60	8595.04
4322.27	79.07	113.0	42358.27	8644544.80	8644.54
4348.65	79.50	113.6	42616.79	8697304.20	8697.30
4354.43	80.05	114.4	42673.43	8708863.20	8708.86
4380.65	80.49	115.0	42930.36	8761298.40	8761.30
4391.35	80.96	115.7	43035.18	8782690.60	8782.69
4414.85	81.27	116.1	43265.55	8829704.40	8829.70
4420.48	81.67	116.7	43320.72	8840964.00	8840.96
4446.17	81.96	117.1	43572.42	8892331.60	8892.33
4452.91	82.34	117.6	43638.49	8905815.00	8905.82
4464.00	82.49	117.8	43747.24	8928008.60	8928.01
4466.95	82.54	117.9	43776.09	8933895.40	8933.90

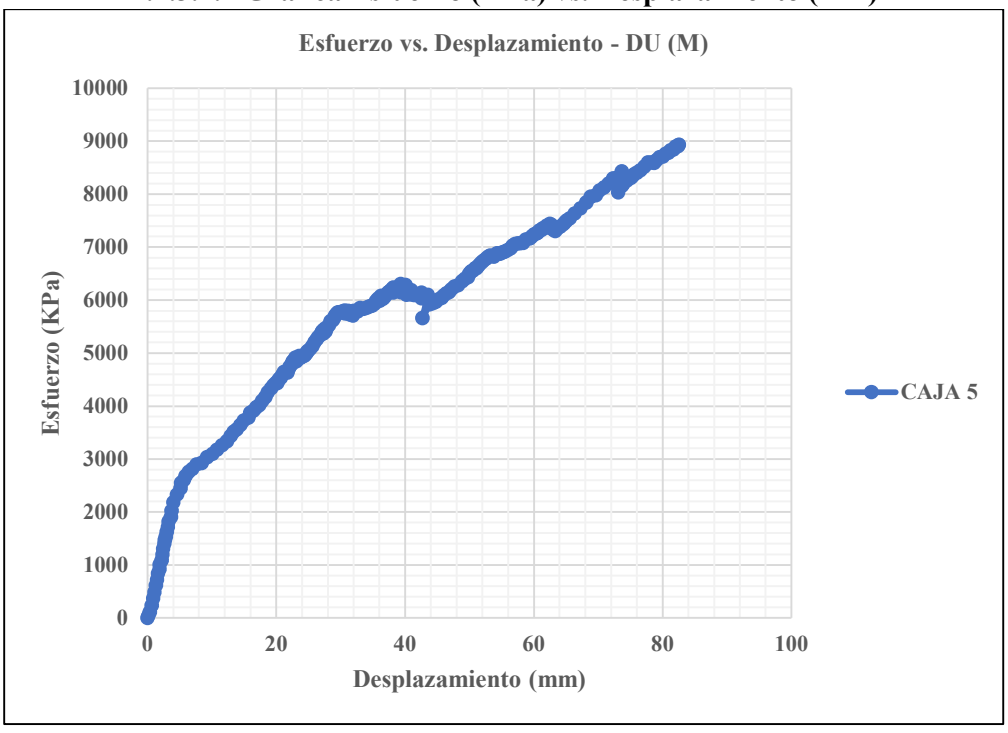
Anexo 73: Cálculos de Muestra 1 – DU (M). Elaboración Propia.

11.4.3.1.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



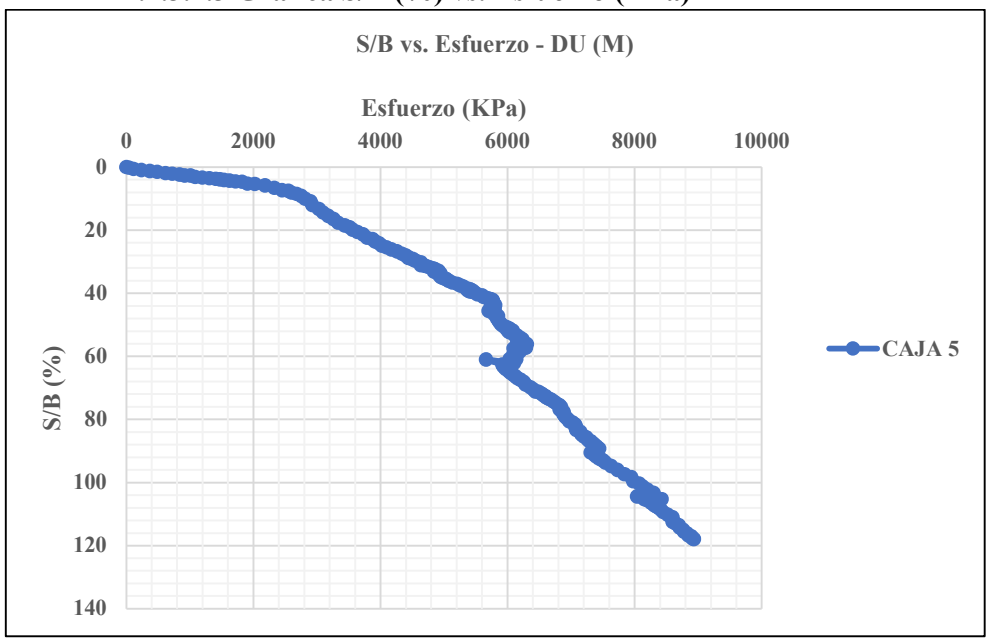
Anexo 74: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.1.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 75: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.1.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 76: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.2 Muestra 2 – DU (M)

CAJA 14	
Fecha:	02-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	5630
Esfuerzo (Mpa):	11.27

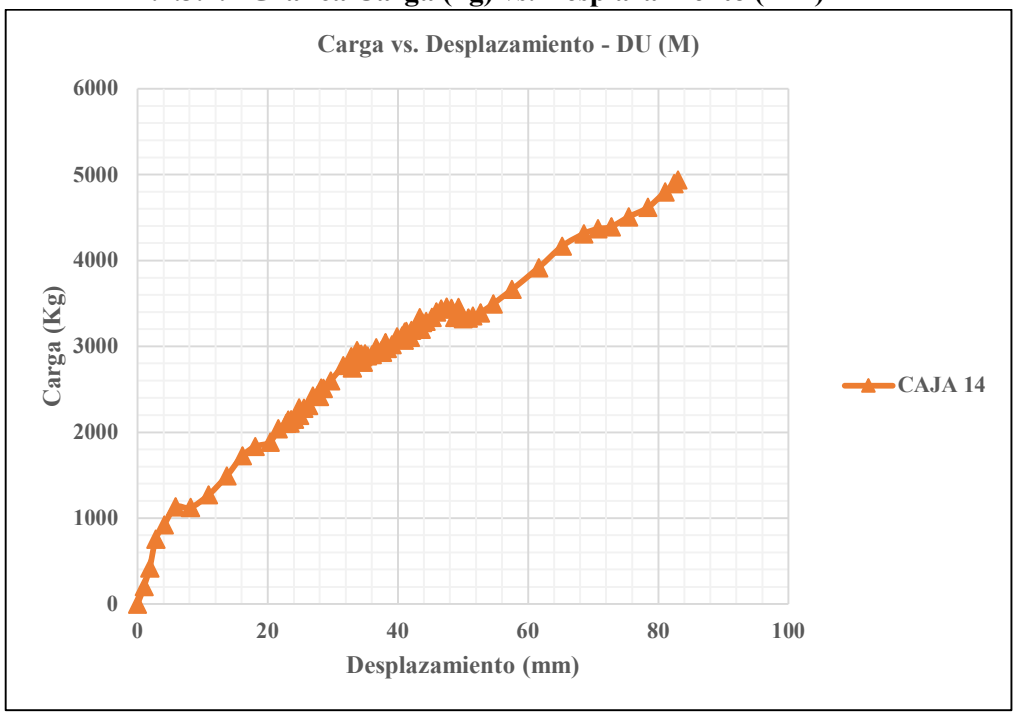
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.99	200.97	1.4	1969.47	401932.20	401.93
1.87	417.78	2.7	4094.27	835565.00	835.57
2.81	757.00	4.0	7418.55	1513990.20	1513.99
4.09	919.39	5.8	9010.04	1838784.60	1838.78
5.83	1128.68	8.3	11061.11	2257369.40	2257.37
8.12	1121.68	11.6	10992.42	2243351.80	2243.35
10.91	1270.47	15.6	12450.59	2540936.80	2540.94
13.71	1491.56	19.6	14617.33	2983127.80	2983.13
16.14	1724.70	23.1	16902.08	3449403.40	3449.40
18.08	1832.71	25.8	17960.57	3665423.40	3665.42
20.35	1882.93	29.1	18452.67	3765850.00	3765.85
21.63	2039.21	30.9	19984.28	4078423.80	4078.42
22.87	2102.08	32.7	20600.34	4204150.20	4204.15

23.14	2141.21	33.1	20983.82	4282413.20	4282.41
23.42	2107.62	33.5	20654.69	4215243.80	4215.24
23.58	2144.53	33.7	21016.42	4289064.60	4289.06
24.12	2153.92	34.5	21108.39	4307835.40	4307.84
24.81	2282.41	35.4	22367.57	4564810.20	4564.81
24.88	2193.86	35.5	21499.84	4387722.80	4387.72
25.55	2278.35	36.5	22327.80	4556694.80	4556.69
26.27	2311.44	37.5	22652.13	4622884.60	4622.88
26.93	2420.85	38.5	23724.33	4841700.20	4841.70
27.69	2432.54	39.6	23838.87	4865076.40	4865.08
28.16	2513.02	40.2	24627.60	5026039.80	5026.04
27.95	2413.89	39.9	23656.16	4827788.00	4827.79
28.55	2508.75	40.8	24585.77	5017504.60	5017.50
29.66	2598.20	42.4	25462.34	5196396.60	5196.40
31.59	2777.63	45.1	27220.75	5555254.40	5555.25
32.85	2881.97	46.9	28243.35	5763948.20	5763.95
33.71	2950.54	48.2	28915.30	5901081.40	5901.08
33.00	2749.23	47.1	26942.45	5498458.20	5498.46
33.92	2857.52	48.5	28003.72	5715044.40	5715.04
34.38	2910.39	49.1	28521.80	5820774.80	5820.77
34.40	2838.13	49.1	27813.71	5676268.00	5676.27
34.61	2878.82	49.4	28212.48	5757649.00	5757.65
34.94	2911.10	49.9	28528.77	5822198.60	5822.20
34.70	2815.19	49.6	27588.88	5630384.60	5630.38
35.34	2888.71	50.5	28309.33	5777415.20	5777.42
36.04	2901.83	51.5	28437.90	5803653.80	5803.65
36.69	2982.52	52.4	29228.65	5965030.60	5965.03
37.49	2952.76	53.6	28937.05	5905520.60	5905.52
38.07	3042.56	54.4	29817.07	6085116.60	6085.12
37.67	2929.85	53.8	28712.49	5859691.00	5859.69
38.41	2975.78	54.9	29162.61	5951553.80	5951.55
39.07	3017.32	55.8	29569.70	6034631.80	6034.63
39.87	3109.23	57.0	30470.48	6218465.20	6218.47
40.64	3122.55	58.1	30601.02	6245107.00	6245.11
41.00	3164.12	58.6	31008.41	6328246.00	6328.25
40.96	3071.29	58.5	30098.67	6142585.40	6142.59
41.28	3176.91	59.0	31133.73	6353822.60	6353.82
41.88	3104.31	59.8	30422.19	6208610.40	6208.61
42.09	3184.63	60.1	31209.35	6369255.80	6369.26
42.74	3199.13	61.1	31351.46	6398258.00	6398.26
43.33	3331.75	61.9	32651.14	6663497.00	6663.50
43.56	3196.30	62.2	31323.71	6392594.60	6392.59
43.74	3276.00	62.5	32104.80	6551999.00	6552.00

44.29	3292.44	63.3	32265.93	6584883.00	6584.88
45.24	3335.20	64.6	32684.91	6670390.20	6670.39
45.91	3398.19	65.6	33302.30	6796387.40	6796.39
46.68	3433.23	66.7	33645.65	6866459.20	6866.46
47.49	3457.23	67.8	33880.83	6914455.60	6914.46
48.21	3441.55	68.9	33727.17	6883095.60	6883.10
49.27	3452.92	70.4	33838.63	6905842.60	6905.84
48.69	3335.29	69.6	32685.87	6670586.00	6670.59
49.33	3391.72	70.5	33238.87	6783442.60	6783.44
49.75	3366.12	71.1	32988.01	6732247.40	6732.25
50.05	3323.62	71.5	32571.45	6647234.60	6647.23
50.81	3328.31	72.6	32617.42	6656617.20	6656.62
51.51	3354.25	73.6	32871.61	6708492.20	6708.49
52.65	3390.41	75.2	33225.98	6780811.80	6780.81
54.64	3493.14	78.1	34232.75	6986276.40	6986.28
57.51	3660.85	82.2	35876.38	7321709.60	7321.71
61.62	3915.68	88.0	38373.69	7831366.20	7831.37
65.22	4166.16	93.2	40828.40	8332326.40	8332.33
68.55	4309.36	97.9	42231.77	8618728.40	8618.73
70.71	4368.43	101.0	42810.58	8736852.20	8736.85
72.75	4391.58	103.9	43037.47	8783156.60	8783.16
75.44	4506.65	107.8	44165.18	9013302.00	9013.30
78.39	4616.79	112.0	45244.52	9233575.60	9233.58
81.03	4796.49	115.8	47005.62	9592983.60	9592.98
82.43	4895.88	117.8	47979.61	9791757.80	9791.76
83.02	4938.51	118.6	48397.40	9877021.00	9877.02

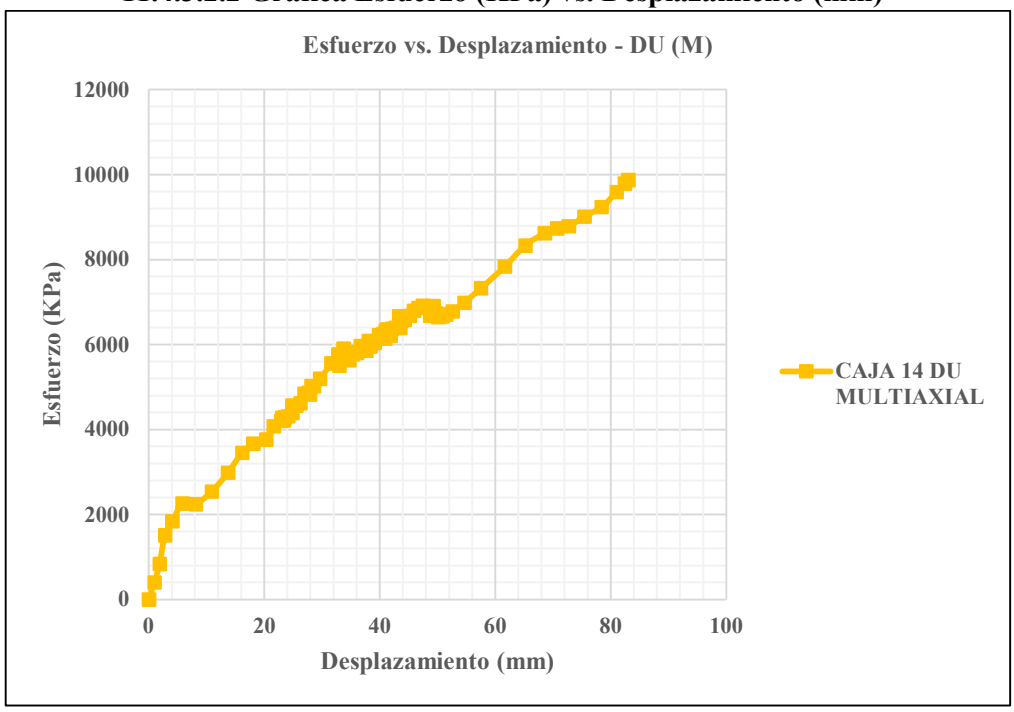
Anexo 77: Cálculos de Muestra 2 – DU (M). Elaboración Propia.

11.4.3.2.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



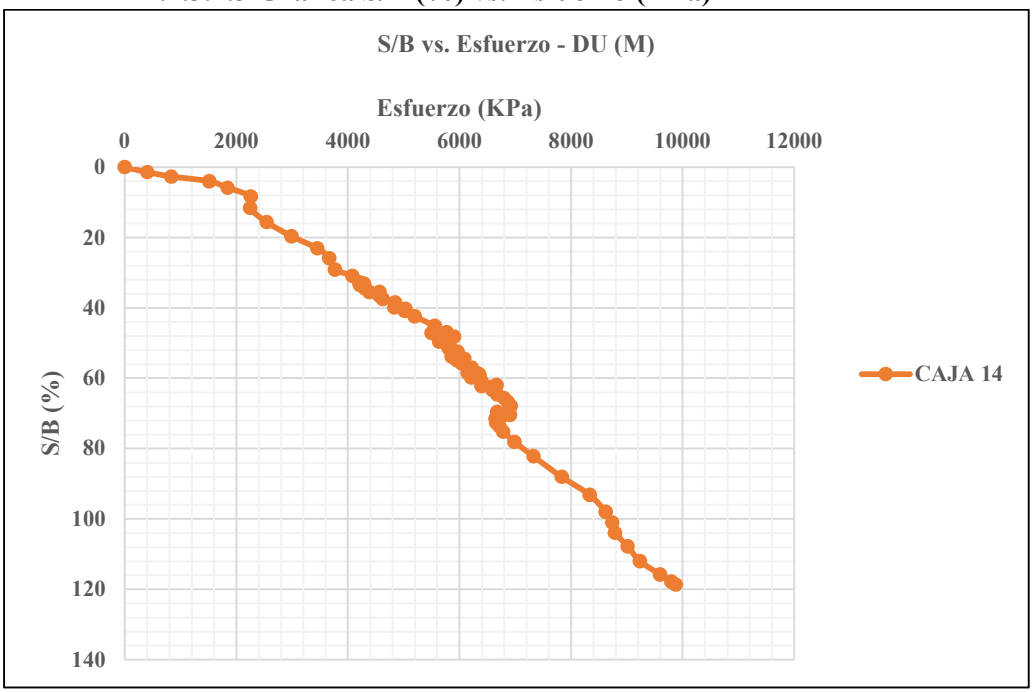
Anexo 78: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.2.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 79: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.2.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 80: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.3 Muestra 3 – DU (M)

CAJA 21	
Fecha:	07-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	5200
Esfuerzo (Mpa):	10.4

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.15	2.76	0.2	27.09	5529.00	5.53
0.48	8.71	0.7	85.39	17426.40	17.43
0.52	55.24	0.7	541.31	110471.60	110.47
0.72	85.09	1.0	833.91	170186.60	170.19
0.79	128.91	1.1	1263.28	257811.60	257.81
1.09	172.50	1.6	1690.50	345000.20	345.00
1.39	216.37	2.0	2120.42	432739.60	432.74
1.53	263.25	2.2	2579.85	526500.00	526.50
1.74	303.15	2.5	2970.83	606292.40	606.29
1.86	350.95	2.7	3439.36	701909.80	701.91
2.12	379.39	3.0	3718.04	758784.00	758.78
2.28	407.51	3.3	3993.60	815020.60	815.02

2.35	431.11	3.4	4224.92	862228.00	862.23
2.49	447.35	3.6	4384.06	894706.60	894.71
2.66	465.72	3.8	4564.07	931443.60	931.44
2.80	492.69	4.0	4828.33	985373.80	985.37
2.94	533.87	4.2	5231.94	1067743.20	1067.74
3.17	561.60	4.5	5503.68	1123200.00	1123.20
3.48	608.32	5.0	5961.52	1216636.80	1216.64
3.82	650.27	5.5	6372.63	1300536.60	1300.54
4.07	710.36	5.8	6961.56	1420726.80	1420.73
4.42	740.74	6.3	7259.23	1481476.20	1481.48
4.60	770.44	6.6	7550.28	1540873.00	1540.87
4.80	799.27	6.9	7832.85	1598541.20	1598.54
5.05	826.64	7.2	8101.08	1653282.40	1653.28
5.17	858.78	7.4	8416.07	1717564.60	1717.56
5.35	876.91	7.6	8593.76	1753828.20	1753.83
5.50	896.78	7.9	8788.44	1793559.60	1793.56
5.77	914.06	8.2	8957.74	1828110.00	1828.11
5.93	940.15	8.5	9213.44	1880294.40	1880.29
6.13	959.80	8.8	9406.08	1919607.20	1919.61
6.35	981.23	9.1	9616.01	1962450.60	1962.45
6.51	1007.50	9.3	9873.55	2015009.40	2015.01
6.75	1030.21	9.6	10096.06	2060420.40	2060.42
6.96	1045.30	9.9	10243.92	2090596.00	2090.60
7.14	1059.94	10.2	10387.37	2119871.80	2119.87
7.35	1072.42	10.5	10509.70	2144837.00	2144.84
7.64	1080.21	10.9	10586.11	2160429.60	2160.43
7.84	1097.30	11.2	10753.54	2194600.60	2194.60
8.10	1107.10	11.6	10849.57	2214197.80	2214.20
8.22	1126.62	11.7	11040.84	2253232.60	2253.23
8.48	1136.20	12.1	11134.78	2272403.60	2272.40
8.78	1146.47	12.5	11235.43	2292945.60	2292.95
9.16	1146.35	13.1	11234.26	2292705.40	2292.71
9.54	1155.55	13.6	11324.39	2311099.00	2311.10
9.89	1161.86	14.1	11386.19	2323712.00	2323.71
10.24	1178.66	14.6	11550.90	2357326.80	2357.33
10.76	1184.13	15.4	11604.45	2368254.40	2368.25
11.11	1213.85	15.9	11895.70	2427694.40	2427.69
11.43	1228.04	16.3	12034.78	2456078.40	2456.08
11.67	1237.94	16.7	12131.80	2475876.60	2475.88
11.91	1252.73	17.0	12276.79	2505467.40	2505.47
12.17	1263.28	17.4	12380.19	2526569.20	2526.57
12.39	1283.05	17.7	12573.88	2566097.00	2566.10
12.61	1298.99	18.0	12730.08	2597974.80	2597.97

12.86	1313.54	18.4	12872.68	2627078.20	2627.08
13.09	1324.52	18.7	12980.29	2649039.60	2649.04
13.26	1339.64	18.9	13128.52	2679289.40	2679.29
13.47	1352.21	19.2	13251.66	2704420.40	2704.42
13.61	1370.11	19.4	13427.07	2740218.80	2740.22
13.88	1374.17	19.8	13466.87	2748340.00	2748.34
14.04	1392.32	20.1	13644.74	2784639.80	2784.64
14.23	1405.31	20.3	13772.04	2810621.40	2810.62
14.41	1422.56	20.6	13941.12	2845127.20	2845.13
14.59	1437.21	20.8	14084.68	2874425.00	2874.43
14.76	1451.57	21.1	14225.36	2903135.40	2903.14
14.88	1463.23	21.3	14339.66	2926461.80	2926.46
15.06	1475.71	21.5	14462.00	2951428.60	2951.43
15.35	1481.32	21.9	14516.95	2962643.60	2962.64
15.57	1509.58	22.2	14793.89	3019161.20	3019.16
15.76	1536.47	22.5	15057.44	3072947.00	3072.95
16.03	1552.18	22.9	15211.36	3104359.60	3104.36
16.24	1565.84	23.2	15345.25	3131682.80	3131.68
16.38	1580.68	23.4	15490.70	3161366.40	3161.37
16.52	1593.01	23.6	15611.49	3186019.20	3186.02
16.67	1603.11	23.8	15710.50	3206224.80	3206.22
16.80	1612.72	24.0	15804.69	3225446.60	3225.45
16.94	1625.03	24.2	15925.27	3250054.40	3250.05
17.13	1635.08	24.5	16023.76	3270155.20	3270.16
17.28	1654.84	24.7	16217.46	3309686.60	3309.69
17.50	1670.24	25.0	16368.40	3340489.40	3340.49
17.67	1690.29	25.2	16564.84	3380579.00	3380.58
17.88	1707.72	25.5	16735.68	3415445.60	3415.45
18.14	1721.39	25.9	16869.59	3442772.80	3442.77
18.29	1740.08	26.1	17052.76	3480155.60	3480.16
18.52	1751.74	26.5	17167.09	3503488.20	3503.49
18.70	1765.58	26.7	17302.64	3531150.20	3531.15
18.85	1786.37	26.9	17506.46	3572746.80	3572.75
19.41	1809.10	27.7	17729.22	3618208.00	3618.21
19.72	1863.54	28.2	18262.70	3727080.80	3727.08
20.25	1905.05	28.9	18669.52	3810105.20	3810.11
20.54	1930.09	29.3	18914.86	3860175.60	3860.18
20.91	1944.65	29.9	19057.59	3889303.40	3889.30
21.14	1972.89	30.2	19334.32	3945779.80	3945.78
21.38	2002.21	30.5	19621.62	4004413.20	4004.41
21.73	2015.46	31.0	19751.48	4030914.00	4030.91
21.93	2040.69	31.3	19998.76	4081379.80	4081.38
22.22	2050.44	31.7	20094.29	4100876.40	4100.88

22.45	2069.53	32.1	20281.39	4139058.40	4139.06
22.74	2094.99	32.5	20530.92	4189982.80	4189.98
23.06	2116.58	32.9	20742.53	4233168.40	4233.17
23.25	2153.25	33.2	21101.81	4306492.20	4306.49
23.63	2152.83	33.8	21097.77	4305666.60	4305.67
23.80	2188.09	34.0	21443.26	4376175.40	4376.18
24.03	2170.72	34.3	21273.10	4341448.20	4341.45
24.18	2168.88	34.5	21255.07	4337769.60	4337.77
24.28	2164.09	34.7	21208.04	4328172.40	4328.17
24.41	2174.23	34.9	21307.45	4348459.20	4348.46
24.49	2190.09	35.0	21462.84	4380170.60	4380.17
24.68	2207.02	35.3	21628.81	4414043.00	4414.04
24.89	2220.64	35.6	21762.31	4441287.20	4441.29
25.06	2239.18	35.8	21943.99	4478365.60	4478.37
25.25	2258.96	36.1	22137.82	4517922.60	4517.92
25.49	2270.99	36.4	22255.66	4541972.00	4541.97
25.68	2286.62	36.7	22408.87	4573238.60	4573.24
25.82	2296.24	36.9	22503.16	4592482.00	4592.48
25.92	2311.26	37.0	22650.32	4622513.40	4622.51
26.13	2331.02	37.3	22844.00	4662041.20	4662.04
26.44	2353.53	37.8	23064.56	4707054.00	4707.05
26.69	2382.60	38.1	23349.44	4765192.40	4765.19
26.86	2403.53	38.4	23554.57	4807055.20	4807.06
27.08	2415.39	38.7	23670.79	4830772.80	4830.77
27.21	2433.73	38.9	23850.59	4867467.80	4867.47
27.42	2445.82	39.2	23969.02	4891637.40	4891.64
27.75	2484.52	39.6	24348.27	4969034.60	4969.03
27.74	2414.21	39.6	23659.29	4828425.80	4828.43
27.99	2459.80	40.0	24106.03	4919597.00	4919.60
28.14	2476.96	40.2	24274.23	4953924.00	4953.92
28.34	2501.37	40.5	24513.41	5002737.40	5002.74
28.62	2509.47	40.9	24592.78	5018934.80	5018.93
28.95	2515.11	41.4	24648.08	5030221.20	5030.22
29.32	2523.36	41.9	24728.94	5046723.40	5046.72
29.41	2562.58	42.0	25113.26	5125154.60	5125.15
29.81	2565.84	42.6	25145.21	5131675.00	5131.68
30.04	2588.17	42.9	25364.09	5176344.60	5176.34
30.18	2605.02	43.1	25529.18	5210036.00	5210.04
30.37	2612.88	43.4	25606.26	5225767.60	5225.77
30.58	2614.07	43.7	25617.86	5228134.40	5228.13
30.76	2618.76	43.9	25663.87	5237524.00	5237.52
31.01	2624.70	44.3	25722.02	5249391.40	5249.39
31.24	2640.67	44.6	25878.60	5281347.00	5281.35

31.57	2665.28	45.1	26119.76	5330562.40	5330.56
31.81	2688.72	45.4	26349.45	5377438.80	5377.44
32.53	2730.61	46.5	26759.96	5461217.00	5461.22
31.77	2566.66	45.4	25153.24	5133314.80	5133.31
32.38	2620.37	46.3	25679.64	5240743.00	5240.74
32.65	2640.20	46.6	25873.93	5280393.20	5280.39
32.92	2619.88	47.0	25674.83	5239761.20	5239.76
33.12	2598.35	47.3	25463.85	5196704.80	5196.70
33.41	2610.63	47.7	25584.13	5221251.60	5221.25
33.61	2631.36	48.0	25787.28	5262711.20	5262.71
33.94	2644.36	48.5	25914.74	5288723.20	5288.72
34.19	2659.55	48.8	26063.57	5319096.80	5319.10
34.37	2685.13	49.1	26314.24	5370253.80	5370.25
34.72	2693.71	49.6	26398.39	5387426.80	5387.43
35.08	2716.11	50.1	26617.91	5432227.00	5432.23
35.44	2735.54	50.6	26808.32	5471085.80	5471.09
35.79	2734.68	51.1	26799.91	5469369.80	5469.37
36.03	2740.27	51.5	26854.65	5480540.80	5480.54
36.17	2759.51	51.7	27043.22	5519024.60	5519.02
36.40	2776.90	52.0	27213.61	5553797.80	5553.80
36.69	2777.16	52.4	27216.17	5554321.20	5554.32
36.93	2794.09	52.8	27382.09	5588182.00	5588.18
37.20	2804.48	53.1	27483.87	5608953.40	5608.95
37.39	2828.41	53.4	27718.42	5656821.20	5656.82
37.61	2845.90	53.7	27889.86	5691808.40	5691.81
37.91	2854.36	54.2	27972.75	5708724.40	5708.72
38.12	2872.36	54.5	28149.16	5744727.20	5744.73
38.31	2889.77	54.7	28319.73	5779536.80	5779.54
38.69	2907.71	55.3	28495.60	5815427.80	5815.43
39.11	2923.94	55.9	28654.57	5847871.00	5847.87
39.38	2958.61	56.3	28994.39	5917222.40	5917.22
39.70	2967.61	56.7	29082.58	5935219.60	5935.22
39.82	2986.52	56.9	29267.91	5973043.00	5973.04
40.43	3017.06	57.8	29567.14	6034110.20	6034.11
39.93	2833.00	57.0	27763.38	5665996.00	5666.00
40.56	2900.58	57.9	28425.64	5801150.00	5801.15
40.87	2907.84	58.4	28496.83	5815680.00	5815.68
41.03	2929.23	58.6	28706.45	5858459.80	5858.46
41.32	2923.27	59.0	28648.02	5846533.80	5846.53
41.53	2947.37	59.3	28884.23	5894740.80	5894.74
42.00	2940.93	60.0	28821.12	5881862.20	5881.86
42.31	2965.50	60.4	29061.92	5931003.60	5931.00
42.66	2981.59	60.9	29219.56	5963176.00	5963.18

42.98	2992.04	61.4	29321.95	5984070.80	5984.07
43.24	3010.85	61.8	29506.32	6021697.40	6021.70
43.47	3024.39	62.1	29638.99	6048774.20	6048.77
43.71	3036.24	62.4	29755.15	6072479.60	6072.48
43.91	3051.63	62.7	29905.96	6103257.60	6103.26
44.13	3056.58	63.0	29954.49	6113161.00	6113.16
44.25	3069.40	63.2	30080.14	6138803.80	6138.80
44.39	3078.35	63.4	30167.79	6156691.60	6156.69
44.55	3086.42	63.6	30246.96	6172849.20	6172.85
44.68	3093.96	63.8	30320.84	6187926.00	6187.93
44.87	3099.58	64.1	30375.87	6199156.80	6199.16
45.12	3107.16	64.5	30450.20	6214326.40	6214.33
45.12	3135.22	64.5	30725.13	6270435.40	6270.44
45.37	3144.19	64.8	30813.03	6288372.60	6288.37
45.60	3151.33	65.1	30882.99	6302651.20	6302.65
45.82	3150.52	65.5	30875.08	6301036.80	6301.04
46.03	3162.14	65.8	30988.98	6324280.80	6324.28
46.23	3172.64	66.0	31091.83	6345271.40	6345.27
46.43	3190.65	66.3	31268.41	6381308.00	6381.31
46.55	3214.72	66.5	31504.25	6429439.40	6429.44
46.84	3222.06	66.9	31576.24	6444129.60	6444.13
46.99	3245.43	67.1	31805.26	6490868.80	6490.87
47.25	3234.18	67.5	31694.96	6468359.60	6468.36
47.59	3250.97	68.0	31859.54	6501947.00	6501.95
47.87	3271.33	68.4	32059.05	6542663.80	6542.66
48.18	3294.68	68.8	32287.82	6589351.00	6589.35
48.30	3315.61	69.0	32492.94	6631212.20	6631.21
48.55	3324.76	69.4	32582.67	6649524.60	6649.52
48.69	3336.69	69.6	32699.54	6673374.60	6673.37
48.91	3361.39	69.9	32941.67	6722789.80	6722.79
49.25	3380.00	70.4	33124.01	6760001.80	6760.00
49.50	3413.20	70.7	33449.32	6826391.40	6826.39
49.79	3436.35	71.1	33676.23	6872700.00	6872.70
50.07	3461.27	71.5	33920.42	6922535.20	6922.54
50.35	3487.89	71.9	34181.31	6975776.80	6975.78
50.64	3499.33	72.3	34293.48	6998669.00	6998.67
50.84	3520.77	72.6	34503.53	7041537.60	7041.54
51.10	3533.75	73.0	34630.74	7067497.80	7067.50
51.16	3564.63	73.1	34933.42	7129268.80	7129.27
51.50	3564.46	73.6	34931.68	7128913.60	7128.91
51.72	3576.02	73.9	35044.98	7152036.20	7152.04
51.90	3584.60	74.1	35129.05	7169194.40	7169.19
52.06	3604.72	74.4	35326.30	7209449.40	7209.45

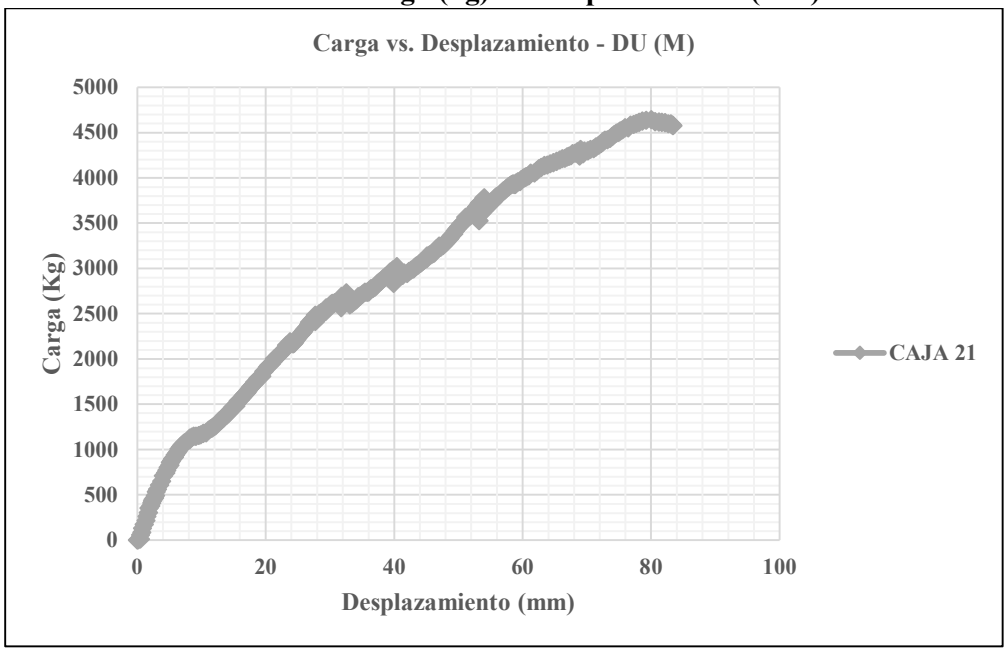
52.28	3621.02	74.7	35486.01	7242042.20	7242.04
52.51	3639.46	75.0	35666.73	7278925.00	7278.93
52.66	3658.80	75.2	35856.29	7317609.40	7317.61
52.81	3676.49	75.4	36029.63	7352986.40	7352.99
52.98	3689.82	75.7	36160.26	7379644.00	7379.64
53.13	3699.84	75.9	36258.40	7399674.00	7399.67
53.25	3715.79	76.1	36414.76	7431583.60	7431.58
53.40	3726.59	76.3	36520.55	7453174.00	7453.17
53.98	3778.29	77.1	37027.27	7556586.60	7556.59
53.20	3527.78	76.0	34572.23	7055556.80	7055.56
53.82	3621.04	76.9	35486.20	7242082.40	7242.08
53.98	3640.24	77.1	35674.35	7280479.00	7280.48
54.12	3655.47	77.3	35823.65	7310949.00	7310.95
54.29	3666.01	77.6	35926.87	7332014.80	7332.01
54.40	3686.27	77.7	36125.43	7372536.60	7372.54
54.64	3694.53	78.1	36206.42	7389066.00	7389.07
54.80	3712.09	78.3	36378.47	7424178.40	7424.18
55.03	3720.09	78.6	36456.92	7440187.60	7440.19
55.15	3735.53	78.8	36608.21	7471063.40	7471.06
55.35	3733.08	79.1	36584.19	7466162.20	7466.16
55.41	3749.90	79.2	36749.07	7499809.40	7499.81
55.58	3758.05	79.4	36828.85	7516091.60	7516.09
55.69	3771.46	79.6	36960.30	7542918.20	7542.92
55.81	3780.72	79.7	37051.06	7561439.80	7561.44
55.94	3789.35	79.9	37135.62	7578698.40	7578.70
56.06	3796.96	80.1	37210.19	7593916.60	7593.92
56.39	3809.26	80.6	37330.76	7618523.00	7618.52
56.63	3829.76	80.9	37531.60	7659510.20	7659.51
56.96	3853.38	81.4	37763.14	7706762.40	7706.76
57.22	3865.10	81.7	37878.00	7730204.40	7730.20
57.51	3886.75	82.2	38090.20	7773509.40	7773.51
57.81	3900.46	82.6	38224.55	7800928.00	7800.93
58.07	3913.82	83.0	38355.42	7827637.60	7827.64
58.27	3924.45	83.2	38459.61	7848900.00	7848.90
58.44	3931.64	83.5	38530.11	7863286.80	7863.29
58.59	3931.00	83.7	38523.79	7861997.60	7862.00
58.68	3924.44	83.8	38459.48	7848872.80	7848.87
58.87	3923.48	84.1	38450.14	7846966.40	7846.97
58.96	3941.45	84.2	38626.19	7882896.00	7882.90
59.23	3954.32	84.6	38752.35	7908643.00	7908.64
59.59	3958.78	85.1	38796.05	7917561.80	7917.56
59.82	3982.53	85.5	39028.76	7965054.00	7965.05
60.08	3994.12	85.8	39142.41	7988246.80	7988.25

60.28	4001.96	86.1	39219.25	8003928.60	8003.93
60.47	4007.99	86.4	39278.32	8015983.20	8015.98
60.60	4012.85	86.6	39325.94	8025702.40	8025.70
60.91	4021.77	87.0	39413.38	8043547.80	8043.55
61.24	4051.42	87.5	39703.88	8102832.20	8102.83
61.83	4055.38	88.3	39742.76	8110768.20	8110.77
62.19	4075.67	88.8	39941.60	8151346.80	8151.35
62.51	4100.02	89.3	40180.24	8200049.40	8200.05
62.90	4115.69	89.9	40333.76	8231379.00	8231.38
63.38	4132.84	90.5	40501.84	8265681.20	8265.68
63.82	4142.57	91.2	40597.19	8285140.60	8285.14
64.28	4154.26	91.8	40711.77	8308525.00	8308.53
64.75	4167.23	92.5	40838.88	8334465.20	8334.47
65.28	4179.92	93.3	40963.18	8359833.00	8359.83
65.73	4196.88	93.9	41129.45	8393766.20	8393.77
66.18	4209.28	94.5	41250.96	8418564.00	8418.56
66.59	4215.14	95.1	41308.39	8430284.20	8430.28
66.92	4231.75	95.6	41471.16	8463502.20	8463.50
67.21	4237.77	96.0	41530.11	8475533.00	8475.53
67.52	4243.64	96.5	41587.71	8487288.20	8487.29
67.78	4267.25	96.8	41819.07	8534503.40	8534.50
68.21	4271.88	97.4	41864.47	8543768.60	8543.77
68.51	4286.86	97.9	42011.21	8573717.00	8573.72
69.04	4314.41	98.6	42281.22	8628821.00	8628.82
68.83	4240.10	98.3	41552.99	8480202.40	8480.20
69.39	4262.74	99.1	41774.87	8525484.20	8525.48
69.61	4292.47	99.4	42066.21	8584941.40	8584.94
70.13	4296.58	100.2	42106.50	8593163.40	8593.16
70.59	4312.36	100.8	42261.17	8624729.00	8624.73
71.04	4320.16	101.5	42337.54	8640314.00	8640.31
71.39	4340.95	102.0	42541.34	8681906.00	8681.91
71.83	4358.58	102.6	42714.06	8717154.60	8717.15
72.23	4376.98	103.2	42894.41	8753961.20	8753.96
72.52	4395.92	103.6	43080.03	8791843.20	8791.84
72.76	4415.71	103.9	43273.94	8831416.00	8831.42
73.22	4421.30	104.6	43328.74	8842600.00	8842.60
73.63	4433.90	105.2	43452.18	8867792.40	8867.79
73.95	4455.65	105.6	43665.37	8911299.20	8911.30
74.21	4477.11	106.0	43875.63	8954211.20	8954.21
74.59	4492.55	106.6	44026.96	8985093.00	8985.09
74.92	4502.09	107.0	44120.52	9004187.00	9004.19
75.20	4517.60	107.4	44272.46	9035196.40	9035.20
75.54	4529.69	107.9	44390.95	9059377.00	9059.38

75.94	4551.06	108.5	44600.38	9102119.20	9102.12
76.44	4553.06	109.2	44619.96	9106114.20	9106.11
76.82	4582.01	109.7	44903.71	9164023.00	9164.02
77.26	4587.98	110.4	44962.17	9175954.00	9175.95
77.69	4600.02	111.0	45080.23	9200046.00	9200.05
78.12	4612.07	111.6	45198.27	9224137.20	9224.14
78.63	4625.24	112.3	45327.37	9250484.20	9250.48
79.22	4635.81	113.2	45430.97	9271626.00	9271.63
80.01	4642.20	114.3	45493.52	9284392.00	9284.39
80.62	4617.65	115.2	45252.96	9235297.20	9235.30
81.20	4614.59	116.0	45222.93	9229170.40	9229.17
81.69	4611.69	116.7	45194.57	9223382.60	9223.38
82.19	4608.85	117.4	45166.76	9217706.60	9217.71
82.67	4595.75	118.1	45038.32	9191493.40	9191.49
83.09	4597.43	118.7	45054.86	9194869.40	9194.87
83.32	4582.08	119.0	44904.35	9164152.60	9164.15
83.40	4576.30	119.1	44847.69	9152590.60	9152.59

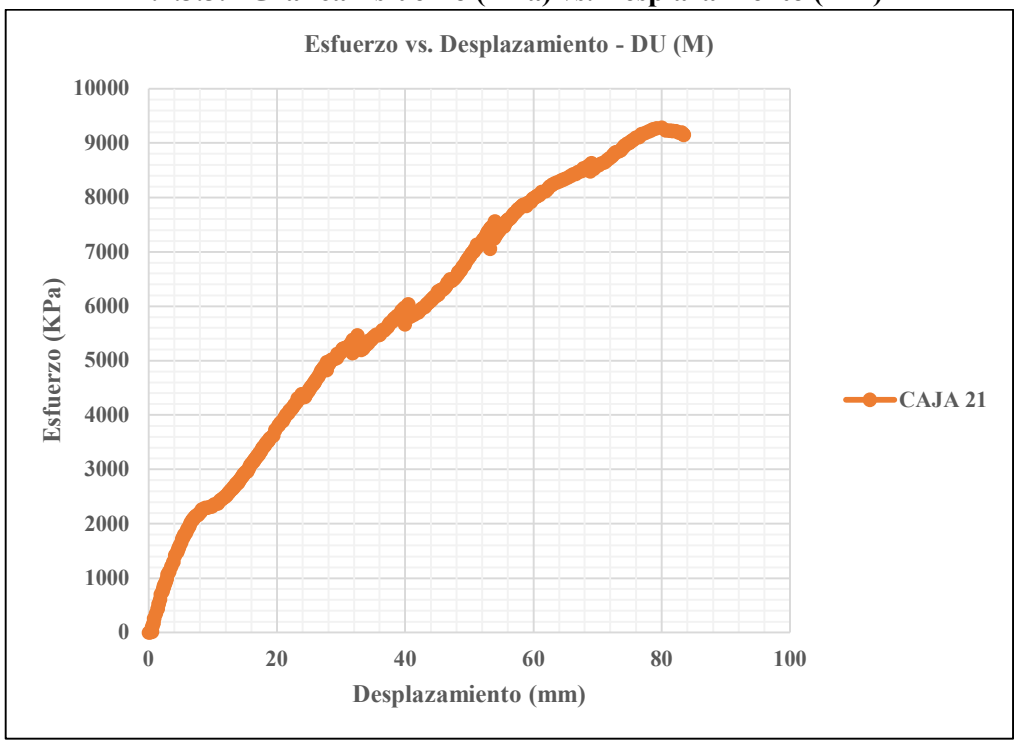
Anexo 81: Cálculos de Muestra 3 – DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.3.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



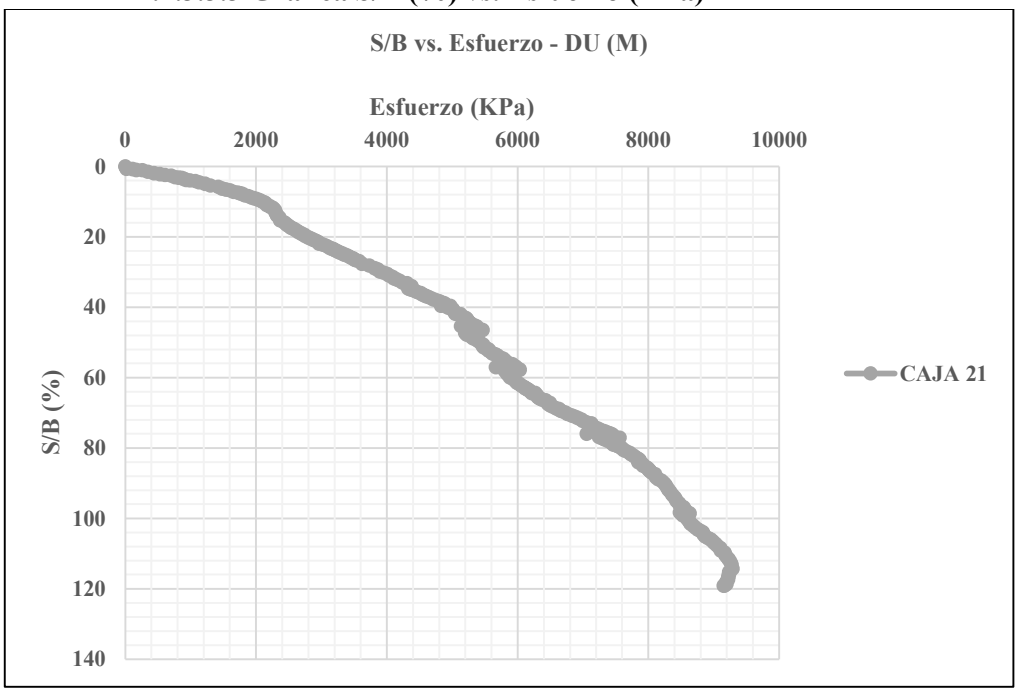
Anexo 82: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.3.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 83: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.3.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 84: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DU (M). Elaboración Propia

11.4.3.4 Muestra 1- DT (M)

CAJA 6	
Fecha:	19-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4530
Esfuerzo (Mpa):	9.06

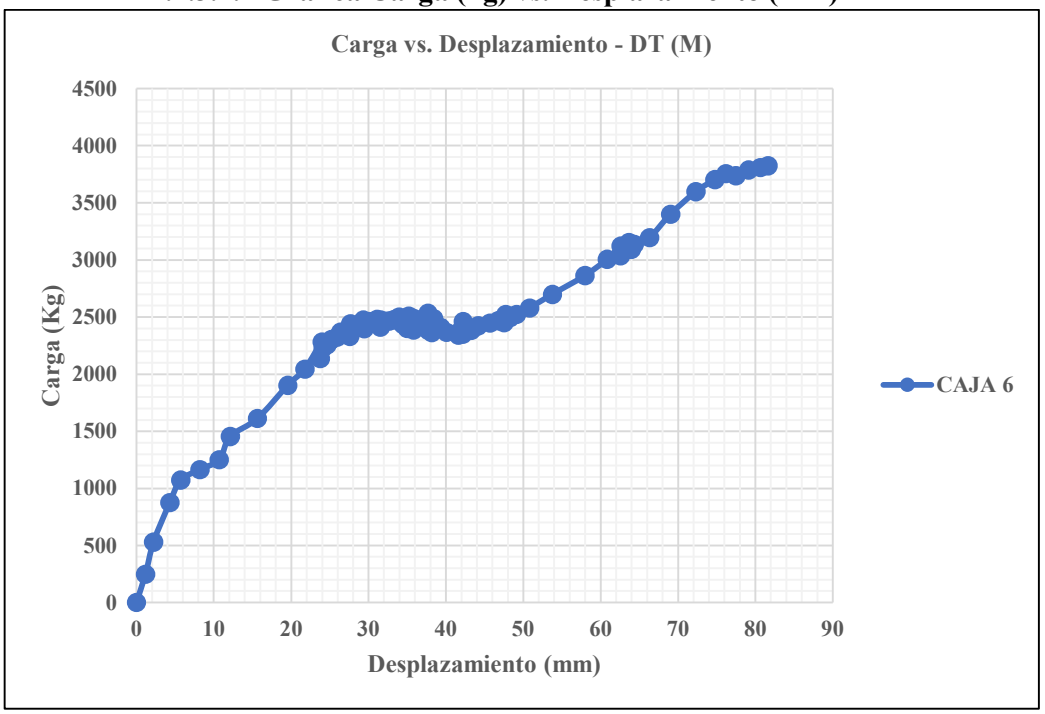
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1.17	248.32	1.7	2433.55	496643.60	496.64
2.21	531.12	3.2	5205.02	1062249.40	1062.25
4.31	875.26	6.2	8577.52	1750513.80	1750.51
5.69	1071.93	8.1	10504.92	2143860.60	2143.86
8.21	1165.59	11.7	11422.76	2331174.60	2331.17
10.70	1251.08	15.3	12260.58	2502158.40	2502.16
12.12	1454.79	17.3	14256.99	2909589.80	2909.59
15.62	1612.08	22.3	15798.37	3224156.80	3224.16
19.55	1903.38	27.9	18653.11	3806758.00	3806.76
21.78	2045.26	31.1	20043.58	4090527.00	4090.53
23.98	2281.64	34.3	22360.06	4563276.60	4563.28
23.73	2135.61	33.9	20928.99	4271221.80	4271.22
24.08	2229.43	34.4	21848.40	4458856.60	4458.86
24.64	2256.58	35.2	22114.44	4513151.00	4513.15
25.19	2302.14	36.0	22560.97	4604279.40	4604.28
25.95	2326.20	37.1	22796.78	4652404.40	4652.40
26.40	2367.45	37.7	23201.00	4734897.00	4734.90
27.04	2361.21	38.6	23139.85	4722418.00	4722.42
27.68	2442.07	39.5	23932.28	4884138.00	4884.14
27.55	2330.27	39.4	22836.63	4660537.20	4660.54
28.18	2409.93	40.3	23617.29	4819855.40	4819.86
28.58	2428.14	40.8	23795.77	4856280.00	4856.28
29.29	2473.64	41.8	24241.64	4947273.20	4947.27
29.42	2398.10	42.0	23501.42	4796207.20	4796.21
30.08	2459.45	43.0	24102.64	4918905.80	4918.91
30.64	2461.42	43.8	24121.95	4922846.80	4922.85
31.10	2480.19	44.4	24305.81	4960370.00	4960.37
31.58	2473.79	45.1	24243.17	4947585.40	4947.59
31.51	2410.01	45.0	23618.09	4820017.60	4820.02
32.04	2464.32	45.8	24150.34	4928641.80	4928.64
32.63	2464.66	46.6	24153.66	4929317.60	4929.32
33.25	2475.24	47.5	24257.39	4950488.40	4950.49

33.94	2501.04	48.5	24510.14	5002070.20	5002.07
34.39	2437.86	49.1	23891.06	4875726.80	4875.73
35.19	2506.80	50.3	24566.67	5013607.00	5013.61
34.97	2400.65	50.0	23526.36	4801297.20	4801.30
35.80	2489.13	51.1	24393.44	4978252.20	4978.25
35.79	2387.77	51.1	23400.14	4775539.40	4775.54
36.68	2434.70	52.4	23860.07	4869401.20	4869.40
37.66	2534.99	53.8	24842.85	5069970.00	5069.97
37.71	2384.23	53.9	23365.41	4768451.40	4768.45
38.41	2488.06	54.9	24382.99	4976121.20	4976.12
38.18	2362.98	54.5	23157.22	4725964.20	4725.96
39.30	2411.40	56.1	23631.70	4822796.00	4822.80
40.06	2366.72	57.2	23193.84	4733437.60	4733.44
42.20	2460.93	60.3	24117.11	4921858.80	4921.86
41.60	2342.40	59.4	22955.51	4684797.80	4684.80
42.18	2350.00	60.3	23029.97	4699993.40	4699.99
42.51	2386.61	60.7	23388.77	4773218.00	4773.22
43.28	2384.95	61.8	23372.46	4769890.40	4769.89
44.15	2422.95	63.1	23744.94	4845906.80	4845.91
45.68	2446.62	65.3	23976.90	4893244.60	4893.24
46.76	2469.49	66.8	24201.00	4938980.20	4938.98
47.74	2523.40	68.2	24729.30	5046795.80	5046.80
47.52	2449.57	67.9	24005.74	4899131.60	4899.13
48.28	2494.52	69.0	24446.34	4989049.80	4989.05
49.14	2522.53	70.2	24720.83	5045067.80	5045.07
50.79	2579.79	72.6	25281.97	5159586.00	5159.59
53.74	2698.75	76.8	26447.71	5397491.00	5397.49
57.94	2862.52	82.8	28052.68	5725037.40	5725.04
60.83	3005.91	86.9	29457.92	6011820.80	6011.82
62.64	3122.25	89.5	30598.04	6244498.60	6244.50
62.56	3036.25	89.4	29755.27	6072504.60	6072.50
63.15	3100.00	90.2	30380.02	6200003.80	6200.00
63.62	3152.18	90.9	30891.32	6304351.20	6304.35
63.96	3093.05	91.4	30311.94	6186109.80	6186.11
64.33	3136.57	91.9	30738.38	6273138.00	6273.14
66.30	3195.23	94.7	31313.25	6390459.00	6390.46
69.05	3401.78	98.6	33337.49	6803569.00	6803.57
72.31	3598.89	103.3	35269.17	7197789.20	7197.79
74.76	3702.55	106.8	36285.03	7405107.80	7405.11
76.19	3756.04	108.8	36809.15	7512072.20	7512.07
77.46	3738.25	110.7	36634.84	7476497.80	7476.50
79.10	3789.01	113.0	37132.27	7578014.00	7578.01
80.61	3809.80	115.2	37336.06	7619604.20	7619.60

81.64	3823.85	116.6	37473.68	7647690.00	7647.69

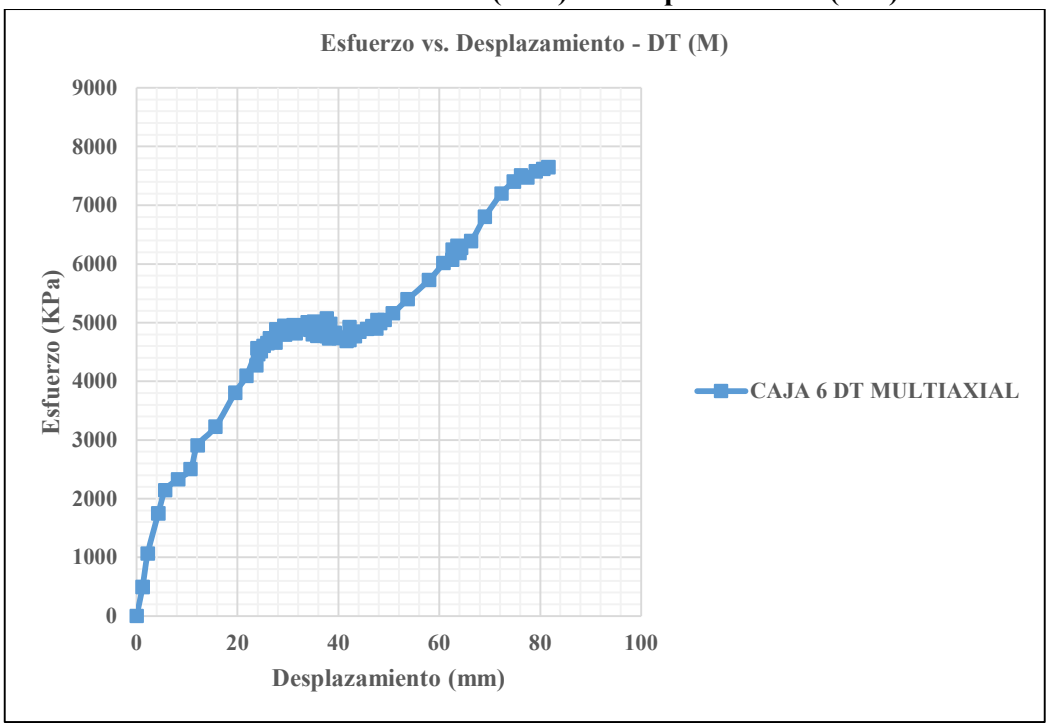
Anexo 85: Cálculos de Muestra 1 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.4.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



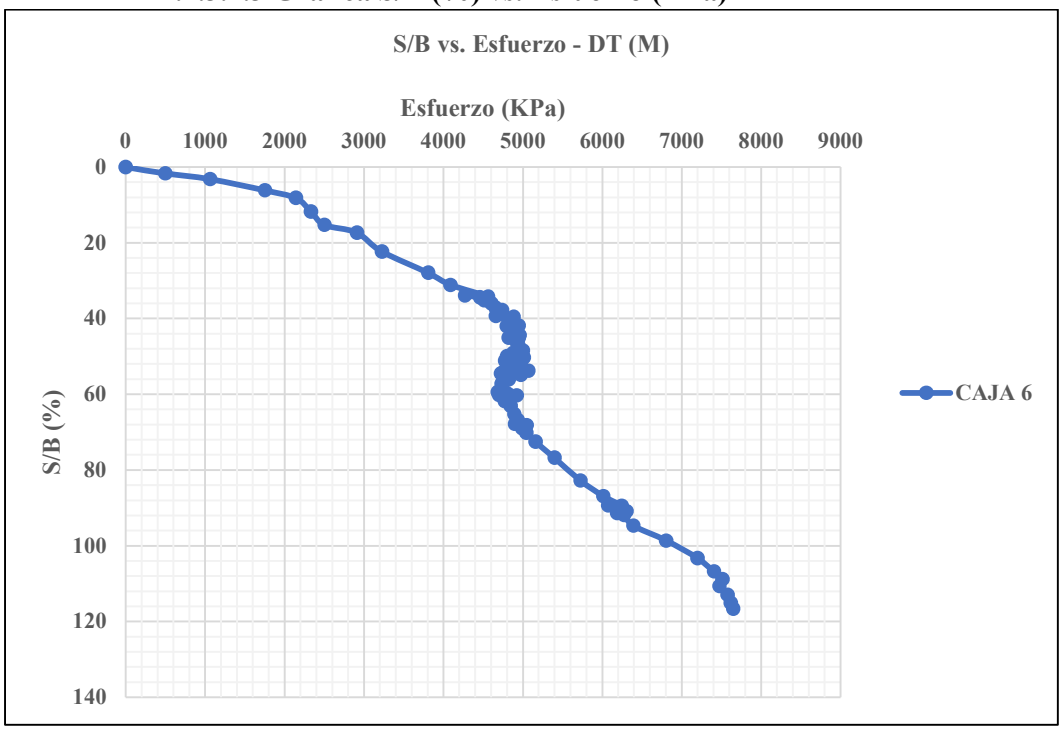
Anexo 86: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.4.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 87: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.4.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 88: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 –DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.5 Muestra 2 – DT (M)

CAJA 15	
Fecha:	02-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4230
Esfuerzo (Mpa):	8.46

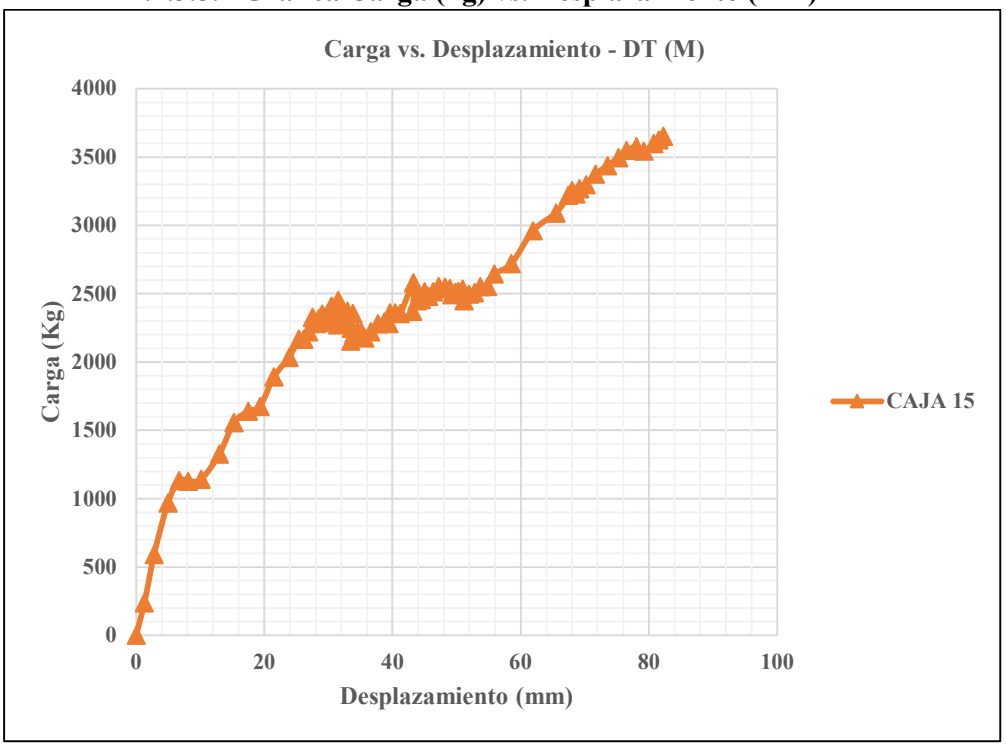
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1.28	236.42	1.8	2316.93	472843.80	472.84
2.82	592.65	4.0	5808.00	1185305.20	1185.31
4.95	967.24	7.1	9478.96	1934482.40	1934.48
6.72	1132.75	9.6	11100.91	2265492.80	2265.49
8.12	1127.23	11.6	11046.83	2254455.60	2254.46
10.14	1141.65	14.5	11188.17	2283299.80	2283.30
12.99	1327.18	18.6	13006.41	2654368.80	2654.37
15.26	1555.53	21.8	15244.19	3111058.60	3111.06
17.50	1639.65	25.0	16068.61	3279308.80	3279.31

19.31	1673.68	27.6	16402.04	3347354.40	3347.35
21.47	1891.04	30.7	18532.22	3782086.40	3782.09
23.87	2034.12	34.1	19934.41	4068246.60	4068.25
25.37	2167.04	36.2	21236.97	4334075.20	4334.08
26.13	2166.21	37.3	21228.85	4332419.00	4332.42
26.88	2221.00	38.4	21765.79	4441997.00	4442.00
27.48	2325.27	39.3	22787.69	4650549.20	4650.55
28.17	2283.17	40.2	22375.08	4566343.80	4566.34
28.55	2319.00	40.8	22726.24	4638008.20	4638.01
28.98	2350.95	41.4	23039.34	4701906.40	4701.91
29.43	2312.83	42.0	22665.77	4625666.60	4625.67
29.86	2352.85	42.7	23057.91	4705696.00	4705.70
30.44	2410.20	43.5	23619.94	4820396.80	4820.40
30.68	2291.80	43.8	22459.68	4583609.00	4583.61
31.54	2451.40	45.1	24023.73	4902802.20	4902.80
31.45	2271.22	44.9	22257.99	4542446.60	4542.45
31.99	2350.49	45.7	23034.82	4700984.20	4700.98
32.37	2358.52	46.2	23113.54	4717048.40	4717.05
32.92	2371.30	47.0	23238.74	4742600.00	4742.60
32.85	2300.75	46.9	22547.40	4601509.80	4601.51
33.80	2354.41	48.3	23073.18	4708812.20	4708.81
33.57	2247.76	48.0	22028.03	4495516.60	4495.52
33.46	2151.56	47.8	21085.33	4303127.80	4303.13
33.99	2209.90	48.6	21656.97	4419790.20	4419.79
34.49	2226.90	49.3	21823.65	4453806.80	4453.81
35.09	2221.40	50.1	21769.76	4442809.00	4442.81
35.64	2175.44	50.9	21319.30	4350877.80	4350.88
36.58	2220.83	52.3	21764.14	4441662.20	4441.66
37.74	2278.95	53.9	22333.70	4557897.20	4557.90
38.70	2291.60	55.3	22457.71	4583205.80	4583.21
39.61	2359.87	56.6	23126.74	4719742.00	4719.74
39.40	2282.36	56.3	22367.14	4564722.80	4564.72
40.39	2359.31	57.7	23121.27	4718627.00	4718.63
41.22	2355.81	58.9	23086.98	4711628.20	4711.63
43.28	2578.81	61.8	25272.34	5157620.40	5157.62
43.13	2369.20	61.6	23218.20	4738409.00	4738.41
43.85	2446.76	62.6	23978.25	4893519.40	4893.52
44.49	2454.90	63.6	24058.06	4909808.80	4909.81
44.98	2513.59	64.3	24633.18	5027179.40	5027.18
45.60	2480.52	65.1	24309.14	4961049.80	4961.05
46.34	2514.02	66.2	24637.39	5028038.00	5028.04
47.19	2553.27	67.4	25022.09	5106548.80	5106.55
48.18	2545.25	68.8	24943.49	5090509.00	5090.51

48.96	2538.39	69.9	24876.25	5076786.20	5076.79
49.24	2490.30	70.3	24404.94	4980600.20	4980.60
49.77	2509.73	71.1	24595.35	5019460.20	5019.46
50.23	2518.11	71.8	24677.51	5036227.40	5036.23
50.93	2532.69	72.8	24820.38	5065382.80	5065.38
51.13	2446.14	73.0	23972.21	4892288.40	4892.29
51.93	2496.21	74.2	24462.86	4992420.80	4992.42
52.78	2505.81	75.4	24556.93	5011618.60	5011.62
53.67	2550.56	76.7	24995.48	5101119.00	5101.12
54.80	2552.19	78.3	25011.50	5104387.60	5104.39
55.89	2643.20	79.8	25903.33	5286394.80	5286.39
58.52	2719.22	83.6	26648.35	5438439.40	5438.44
61.92	2960.30	88.5	29010.91	5920593.60	5920.59
65.52	3090.79	93.6	30289.73	6181576.80	6181.58
67.41	3219.22	96.3	31548.37	6438442.40	6438.44
67.97	3254.69	97.1	31895.94	6509376.20	6509.38
68.61	3228.21	98.0	31636.43	6456413.60	6456.41
69.18	3267.17	98.8	32018.29	6534345.00	6534.35
70.20	3297.71	100.3	32317.52	6595411.60	6595.41
71.64	3373.00	102.3	33055.35	6745990.40	6745.99
73.51	3435.66	105.0	33669.46	6871318.00	6871.32
75.27	3495.62	107.5	34257.10	6991245.20	6991.25
76.48	3548.38	109.3	34774.08	7096751.40	7096.75
78.03	3573.36	111.5	35018.90	7146715.20	7146.72
79.22	3542.69	113.2	34718.31	7085370.40	7085.37
80.77	3597.20	115.4	35252.55	7194397.20	7194.40
81.55	3625.51	116.5	35530.04	7251028.60	7251.03
82.26	3651.37	117.5	35783.44	7302743.00	7302.74

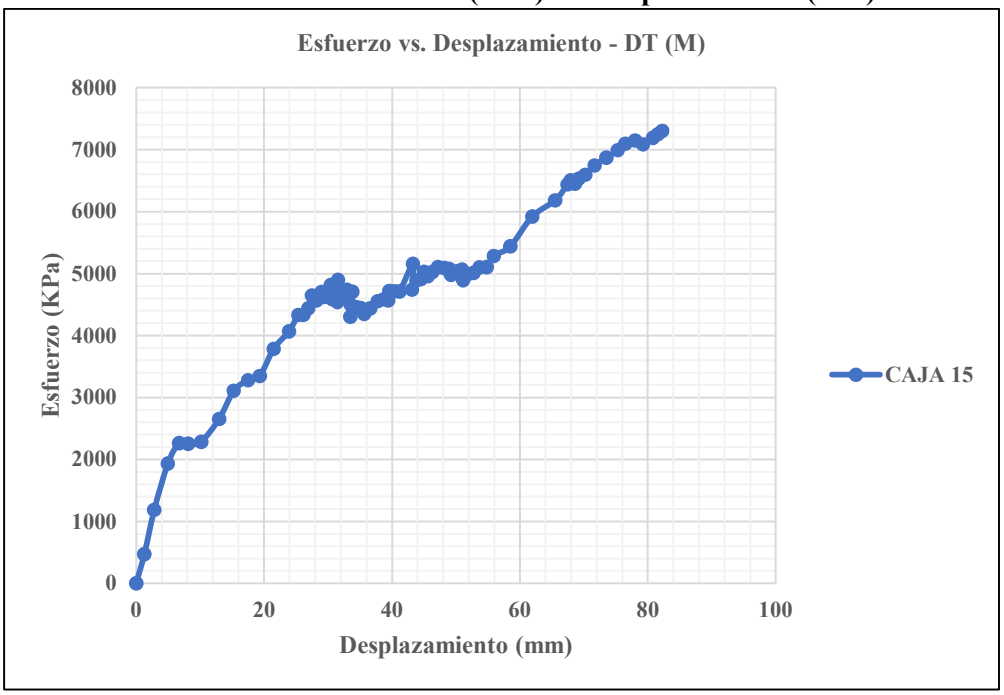
Anexo 89: Cálculos de Muestra 2 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.5.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



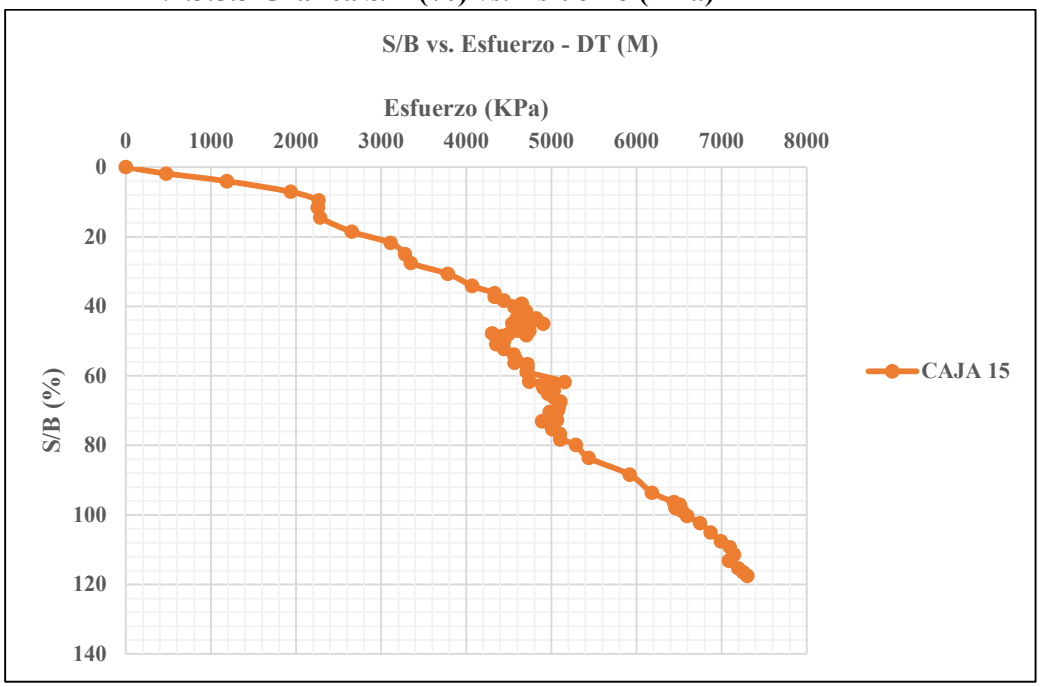
Anexo 90: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.5.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 91: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.5.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 92: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 –DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.6 Muestra 3 – DT (M)

CAJA 22	
Fecha:	07-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4630
Esfuerzo (Mpa):	9.26

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.15	5.41	0.2	53.04	10823.60	10.82
0.52	18.03	0.7	176.72	36065.00	36.07
0.58	79.14	0.8	775.56	158278.00	158.28
0.82	132.29	1.2	1296.49	264589.80	264.59
1.02	202.67	1.5	1986.21	405348.80	405.35
1.30	266.76	1.9	2614.26	533522.60	533.52
1.59	333.15	2.3	3264.84	666294.80	666.29
1.75	402.53	2.5	3944.77	805054.40	805.05
1.95	475.25	2.8	4657.46	950501.80	950.50
2.34	545.66	3.3	5347.52	1091329.80	1091.33
2.51	630.07	3.6	6174.73	1260149.40	1260.15
2.91	710.26	4.2	6960.59	1420528.80	1420.53

3.07	792.69	4.4	7768.35	1585377.20	1585.38
3.50	857.89	5.0	8407.32	1715780.60	1715.78
3.68	923.78	5.3	9053.07	1847565.00	1847.57
4.03	980.97	5.8	9613.47	1961933.00	1961.93
4.20	1028.25	6.0	10076.81	2056492.20	2056.49
4.49	1068.74	6.4	10473.67	2137483.20	2137.48
4.87	1097.96	7.0	10760.01	2195921.40	2195.92
5.00	1144.96	7.1	11220.58	2289915.20	2289.92
5.65	1150.95	8.1	11279.29	2301895.80	2301.90
6.17	1137.15	8.8	11144.12	2274309.20	2274.31
6.60	1115.45	9.4	10931.39	2230896.40	2230.90
6.89	1100.89	9.8	10788.69	2201774.40	2201.77
7.19	1083.54	10.3	10618.70	2167081.80	2167.08
7.46	1065.05	10.7	10437.49	2130099.80	2130.10
7.82	1061.99	11.2	10407.47	2123972.80	2123.97
8.21	1059.52	11.7	10383.28	2119037.40	2119.04
8.69	1054.76	12.4	10336.66	2109521.60	2109.52
9.34	1055.14	13.3	10340.32	2110270.40	2110.27
9.92	1075.74	14.2	10542.28	2151486.60	2151.49
10.53	1084.35	15.0	10626.59	2168691.00	2168.69
10.98	1094.63	15.7	10727.42	2189269.60	2189.27
11.38	1122.83	16.3	11003.76	2245665.80	2245.67
11.78	1142.26	16.8	11194.14	2284518.20	2284.52
12.09	1175.05	17.3	11515.54	2350109.20	2350.11
12.24	1210.28	17.5	11860.74	2420559.80	2420.56
12.67	1236.33	18.1	12116.07	2472668.00	2472.67
12.99	1265.34	18.6	12400.32	2530677.60	2530.68
13.30	1299.02	19.0	12730.35	2598030.80	2598.03
13.72	1329.68	19.6	13030.90	2659367.20	2659.37
14.09	1345.87	20.1	13189.49	2691732.40	2691.73
14.49	1380.83	20.7	13532.18	2761669.20	2761.67
14.50	1298.54	20.7	12725.67	2597075.20	2597.08
15.17	1398.86	21.7	13708.78	2797710.80	2797.71
15.68	1416.26	22.4	13879.35	2832520.60	2832.52
16.16	1435.72	23.1	14070.02	2871432.00	2871.43
16.81	1488.15	24.0	14583.91	2976307.60	2976.31
16.77	1370.69	24.0	13432.75	2741378.40	2741.38
17.20	1415.22	24.6	13869.11	2830430.00	2830.43
17.52	1426.50	25.0	13979.72	2853004.60	2853.00
17.83	1429.03	25.5	14004.51	2858063.40	2858.06
18.07	1445.25	25.8	14163.42	2890494.60	2890.49
18.30	1447.56	26.1	14186.05	2895111.80	2895.11
18.52	1460.56	26.5	14313.45	2921111.60	2921.11

18.84	1469.01	26.9	14396.31	2938021.60	2938.02
19.17	1473.45	27.4	14439.84	2946905.60	2946.91
19.48	1486.15	27.8	14564.31	2972309.00	2972.31
19.77	1487.92	28.2	14581.65	2975846.60	2975.85
20.12	1487.37	28.7	14576.26	2974747.60	2974.75
20.49	1488.22	29.3	14584.51	2976430.60	2976.43
20.93	1485.82	29.9	14561.08	2971649.20	2971.65
21.34	1495.33	30.5	14654.26	2990664.80	2990.66
21.73	1511.90	31.0	14816.61	3023797.80	3023.80
22.17	1523.23	31.7	14927.61	3046450.20	3046.45
22.61	1543.39	32.3	15125.22	3086779.40	3086.78
22.98	1571.00	32.8	15395.80	3141999.60	3142.00
23.39	1581.97	33.4	15503.34	3163947.40	3163.95
23.66	1604.28	33.8	15721.95	3208561.20	3208.56
23.94	1621.03	34.2	15886.09	3242059.00	3242.06
24.20	1633.80	34.6	16011.27	3267605.20	3267.61
24.32	1651.61	34.7	16185.82	3303228.20	3303.23
24.59	1650.59	35.1	16175.76	3301174.60	3301.17
25.04	1722.21	35.8	16877.66	3444419.80	3444.42
24.57	1510.21	35.1	14800.05	3020418.80	3020.42
25.24	1619.54	36.1	15871.46	3239074.40	3239.07
25.74	1620.89	36.8	15884.73	3241782.40	3241.78
25.97	1649.77	37.1	16167.79	3299549.20	3299.55
26.35	1663.55	37.6	16302.81	3327104.60	3327.10
26.75	1670.05	38.2	16366.49	3340100.00	3340.10
26.93	1705.38	38.5	16712.69	3410753.40	3410.75
27.27	1713.39	39.0	16791.21	3426776.80	3426.78
27.53	1733.14	39.3	16984.73	3466271.40	3466.27
27.83	1738.78	39.8	17040.09	3477569.80	3477.57
28.16	1744.52	40.2	17096.27	3489035.60	3489.04
28.37	1726.83	40.5	16922.93	3453660.20	3453.66
28.70	1719.23	41.0	16848.41	3438451.40	3438.45
28.86	1749.23	41.2	17142.50	3498468.40	3498.47
29.23	1763.18	41.8	17279.14	3526356.00	3526.36
29.56	1786.50	42.2	17507.70	3572999.60	3573.00
29.94	1806.98	42.8	17708.41	3613961.60	3613.96
30.20	1826.30	43.1	17897.77	3652606.60	3652.61
30.49	1836.60	43.6	17998.70	3673203.60	3673.20
30.67	1851.88	43.8	18148.43	3703761.00	3703.76
30.90	1865.03	44.1	18277.30	3730061.20	3730.06
31.16	1879.84	44.5	18422.45	3759684.40	3759.68
31.45	1896.83	44.9	18588.89	3793651.40	3793.65
31.80	1926.17	45.4	18876.46	3852337.80	3852.34

32.12	1961.68	45.9	19224.44	3923354.80	3923.35
32.48	1988.54	46.4	19487.68	3977077.60	3977.08
32.62	2020.05	46.6	19796.47	4040095.00	4040.10
32.89	2026.27	47.0	19857.49	4052549.80	4052.55
33.30	2056.75	47.6	20156.14	4113497.20	4113.50
33.14	1973.61	47.3	19341.33	3947210.40	3947.21
33.52	2034.41	47.9	19937.20	4068815.80	4068.82
33.70	2053.53	48.1	20124.56	4107053.00	4107.05
33.98	2072.14	48.5	20306.95	4144276.40	4144.28
34.22	2088.44	48.9	20466.73	4176883.40	4176.88
34.47	2114.19	49.2	20719.09	4228385.80	4228.39
34.78	2133.32	49.7	20906.57	4266646.20	4266.65
35.03	2157.21	50.0	21140.66	4314419.40	4314.42
35.33	2182.39	50.5	21387.41	4364777.20	4364.78
35.47	2229.96	50.7	21853.65	4459929.00	4459.93
36.07	2245.17	51.5	22002.64	4490334.20	4490.33
36.21	2298.82	51.7	22528.39	4597631.20	4597.63
36.74	2322.60	52.5	22761.46	4645195.00	4645.20
37.04	2361.84	52.9	23146.04	4723681.80	4723.68
37.38	2386.24	53.4	23385.18	4772485.60	4772.49
37.77	2411.96	54.0	23637.20	4823917.60	4823.92
38.13	2465.50	54.5	24161.93	4931005.80	4931.01
38.78	2508.34	55.4	24581.71	5016675.40	5016.68
38.92	2574.33	55.6	25228.45	5148664.20	5148.66
39.41	2598.42	56.3	25464.50	5196837.60	5196.84
39.65	2629.30	56.6	25767.17	5258605.20	5258.61
39.96	2652.51	57.1	25994.57	5305013.60	5305.01
40.15	2676.10	57.4	26225.74	5352192.40	5352.19
40.47	2710.73	57.8	26565.14	5421457.60	5421.46
40.83	2740.85	58.3	26860.35	5481703.80	5481.70
41.07	2783.64	58.7	27279.65	5567275.80	5567.28
41.37	2804.81	59.1	27487.11	5609614.60	5609.61
41.65	2831.31	59.5	27746.83	5662619.20	5662.62
41.89	2857.38	59.8	28002.34	5714762.60	5714.76
42.12	2879.22	60.2	28216.37	5758442.00	5758.44
42.27	2894.48	60.4	28365.94	5788967.00	5788.97
42.56	2926.85	60.8	28683.09	5853692.00	5853.69
42.39	2829.46	60.6	27728.69	5658915.40	5658.92
42.69	2894.63	61.0	28367.40	5789264.80	5789.26
43.08	2923.46	61.5	28649.95	5846929.00	5846.93
43.11	2823.08	61.6	27666.23	5646169.20	5646.17
43.32	2896.21	61.9	28382.90	5792428.80	5792.43
43.68	2917.65	62.4	28592.97	5835300.80	5835.30

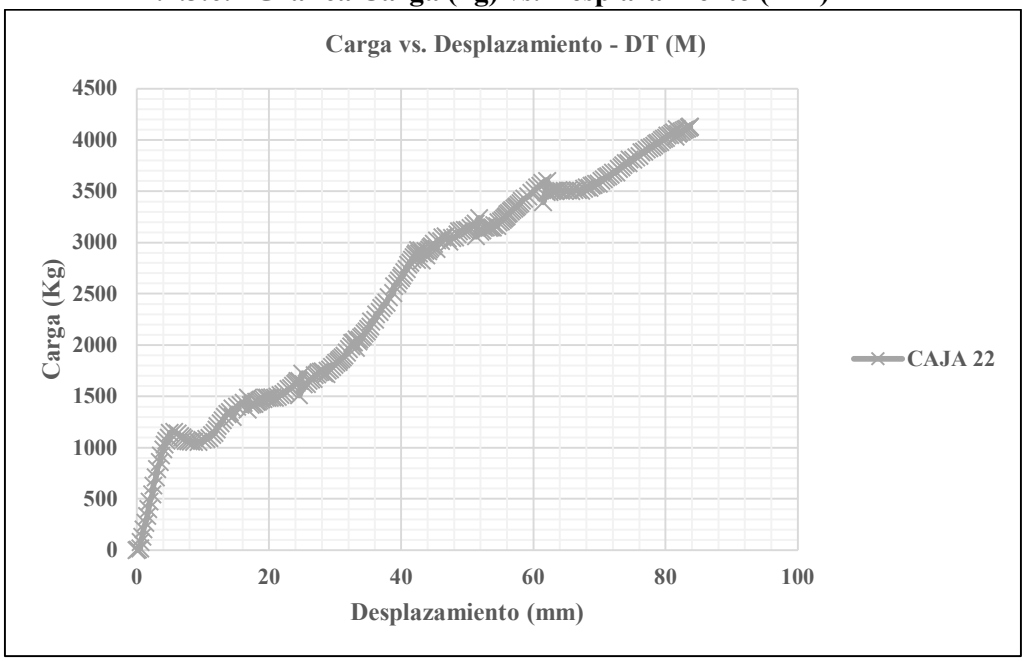
43.80	2873.71	62.6	28162.32	5747412.60	5747.41
44.10	2914.31	63.0	28560.24	5828620.20	5828.62
44.24	2932.21	63.2	28735.63	5864413.60	5864.41
44.46	2951.37	63.5	28923.44	5902743.40	5902.74
44.64	2964.71	63.8	29054.17	5929423.00	5929.42
44.93	2987.23	64.2	29274.86	5974461.20	5974.46
45.34	2939.48	64.8	28806.94	5878967.00	5878.97
45.42	3019.10	64.9	29587.22	6038208.00	6038.21
46.01	3014.17	65.7	29538.82	6028330.20	6028.33
46.24	3050.69	66.1	29896.77	6101382.00	6101.38
46.73	3060.64	66.8	29994.32	6121289.20	6121.29
47.05	3041.02	67.2	29801.99	6082039.20	6082.04
47.32	3009.64	67.6	29494.52	6019289.40	6019.29
47.72	3044.68	68.2	29837.88	6089363.80	6089.36
48.18	3051.20	68.8	29901.72	6102391.00	6102.39
48.52	3080.13	69.3	30185.26	6160256.40	6160.26
48.78	3108.69	69.7	30465.17	6217382.00	6217.38
49.19	3116.67	70.3	30543.37	6233340.80	6233.34
49.61	3122.81	70.9	30603.51	6245614.80	6245.61
50.05	3122.12	71.5	30596.79	6244242.20	6244.24
50.47	3140.70	72.1	30778.81	6281390.60	6281.39
50.93	3165.02	72.8	31017.18	6330036.80	6330.04
51.28	3183.27	73.3	31196.04	6366538.00	6366.54
51.81	3236.04	74.0	31713.22	6472085.20	6472.09
51.30	3060.78	73.3	29995.60	6121551.80	6121.55
52.00	3106.21	74.3	30440.87	6212422.40	6212.42
52.26	3117.06	74.7	30547.21	6234124.40	6234.12
52.48	3142.89	75.0	30800.31	6285777.00	6285.78
52.80	3146.81	75.4	30838.76	6293625.00	6293.63
53.11	3162.21	75.9	30989.68	6324424.40	6324.42
53.32	3142.16	76.2	30793.18	6284321.60	6284.32
53.60	3147.14	76.6	30842.02	6294289.40	6294.29
53.87	3147.34	77.0	30843.90	6294674.40	6294.67
54.10	3170.84	77.3	31074.24	6341681.80	6341.68
54.53	3160.42	77.9	30972.12	6320839.80	6320.84
54.71	3196.43	78.2	31325.04	6392864.80	6392.86
55.09	3206.55	78.7	31424.19	6413100.00	6413.10
55.38	3220.05	79.1	31556.49	6440100.20	6440.10
55.60	3233.71	79.4	31690.40	6467428.00	6467.43
55.79	3246.24	79.7	31813.14	6492476.80	6492.48
55.97	3256.31	80.0	31911.85	6512623.00	6512.62
56.11	3276.70	80.2	32111.63	6553393.20	6553.39
56.33	3286.76	80.5	32210.29	6573528.80	6573.53

56.59	3301.24	80.8	32352.17	6602483.60	6602.48
56.84	3317.49	81.2	32511.39	6634976.80	6634.98
57.12	3329.92	81.6	32633.20	6659837.20	6659.84
57.34	3343.66	81.9	32767.87	6687319.80	6687.32
57.56	3354.61	82.2	32875.19	6709222.40	6709.22
57.79	3369.59	82.6	33021.98	6739180.40	6739.18
58.04	3384.76	82.9	33170.69	6769528.60	6769.53
58.28	3408.49	83.3	33403.20	6816980.40	6816.98
58.66	3429.20	83.8	33606.20	6858407.20	6858.41
59.25	3447.84	84.6	33788.84	6895680.80	6895.68
59.74	3482.37	85.3	34127.19	6964732.40	6964.73
60.18	3509.88	86.0	34396.84	7019762.80	7019.76
60.60	3537.53	86.6	34667.78	7075056.80	7075.06
61.07	3554.70	87.2	34836.03	7109393.60	7109.39
61.37	3580.85	87.7	35092.29	7161691.80	7161.69
62.08	3600.94	88.7	35289.22	7201880.80	7201.88
61.47	3393.16	87.8	33252.95	6786316.20	6786.32
62.01	3491.17	88.6	34213.48	6982342.60	6982.34
62.44	3493.93	89.2	34240.54	6987866.20	6987.87
62.82	3501.70	89.7	34316.64	7003395.60	7003.40
63.11	3506.74	90.2	34366.05	7013480.20	7013.48
63.40	3505.14	90.6	34350.33	7010271.00	7010.27
63.77	3511.11	91.1	34408.88	7022219.80	7022.22
64.21	3505.23	91.7	34351.26	7010462.20	7010.46
64.73	3504.82	92.5	34347.23	7009639.20	7009.64
65.23	3505.90	93.2	34357.80	7011795.80	7011.80
65.74	3502.24	93.9	34321.94	7004476.60	7004.48
66.23	3509.95	94.6	34397.54	7019906.60	7019.91
66.74	3508.78	95.3	34386.02	7017555.20	7017.56
67.25	3505.36	96.1	34352.57	7010728.00	7010.73
67.68	3524.62	96.7	34541.23	7049230.20	7049.23
68.10	3536.21	97.3	34654.82	7072412.80	7072.41
68.52	3534.99	97.9	34642.93	7069985.80	7069.99
68.82	3554.13	98.3	34830.43	7108250.20	7108.25
69.09	3558.75	98.7	34875.71	7117492.40	7117.49
69.46	3572.68	99.2	35012.22	7145351.60	7145.35
69.87	3575.64	99.8	35041.26	7151278.40	7151.28
70.29	3601.69	100.4	35296.55	7203378.00	7203.38
70.63	3614.46	100.9	35421.67	7228912.20	7228.91
71.00	3635.14	101.4	35624.40	7270286.20	7270.29
71.34	3646.22	101.9	35732.99	7292447.20	7292.45
71.70	3660.45	102.4	35872.36	7320890.60	7320.89
72.08	3679.14	103.0	36055.57	7358279.80	7358.28

72.58	3684.34	103.7	36106.57	7368687.40	7368.69
72.92	3717.10	104.2	36427.55	7434194.60	7434.19
73.32	3731.80	104.7	36571.60	7463592.60	7463.59
73.61	3754.59	105.2	36794.98	7509180.40	7509.18
73.97	3773.71	105.7	36982.31	7547410.00	7547.41
74.39	3774.59	106.3	36991.01	7549186.00	7549.19
74.58	3810.54	106.5	37343.24	7621070.40	7621.07
75.11	3805.15	107.3	37290.48	7610301.40	7610.30
75.57	3830.42	108.0	37538.08	7660832.40	7660.83
76.05	3845.26	108.6	37683.57	7690524.60	7690.52
76.33	3878.74	109.0	38011.68	7757485.60	7757.49
76.74	3884.79	109.6	38070.90	7769571.40	7769.57
77.16	3907.26	110.2	38291.11	7814513.00	7814.51
77.56	3920.50	110.8	38420.90	7840999.40	7841.00
77.98	3930.22	111.4	38516.19	7860447.40	7860.45
78.29	3945.58	111.8	38666.68	7891158.60	7891.16
78.56	3960.70	112.2	38814.83	7921393.60	7921.39
78.85	3970.72	112.6	38913.10	7941449.40	7941.45
79.19	3980.38	113.1	39007.71	7960757.40	7960.76
79.47	4001.22	113.5	39211.96	8002440.40	8002.44
79.77	4010.55	114.0	39303.43	8021108.40	8021.11
80.08	4019.26	114.4	39388.72	8038514.20	8038.51
80.32	4045.15	114.7	39642.43	8090292.40	8090.29
80.71	4047.15	115.3	39662.09	8094304.60	8094.30
81.05	4062.43	115.8	39811.86	8124869.20	8124.87
81.28	4073.29	116.1	39918.21	8146574.20	8146.57
81.70	4104.63	116.7	40225.41	8209267.80	8209.27
81.55	4033.29	116.5	39526.20	8066572.40	8066.57
81.90	4058.26	117.0	39770.98	8116526.40	8116.53
82.11	4072.18	117.3	39907.36	8144360.00	8144.36
82.42	4083.13	117.7	40014.65	8166254.20	8166.25
82.73	4093.06	118.2	40112.01	8186125.00	8186.13
83.00	4101.14	118.6	40191.15	8202275.60	8202.28
83.28	4109.39	119.0	40271.99	8218774.00	8218.77
83.51	4120.77	119.3	40383.58	8241546.40	8241.55
83.67	4126.18	119.5	40436.59	8252364.40	8252.36
83.73	4128.15	119.6	40455.85	8256295.00	8256.30

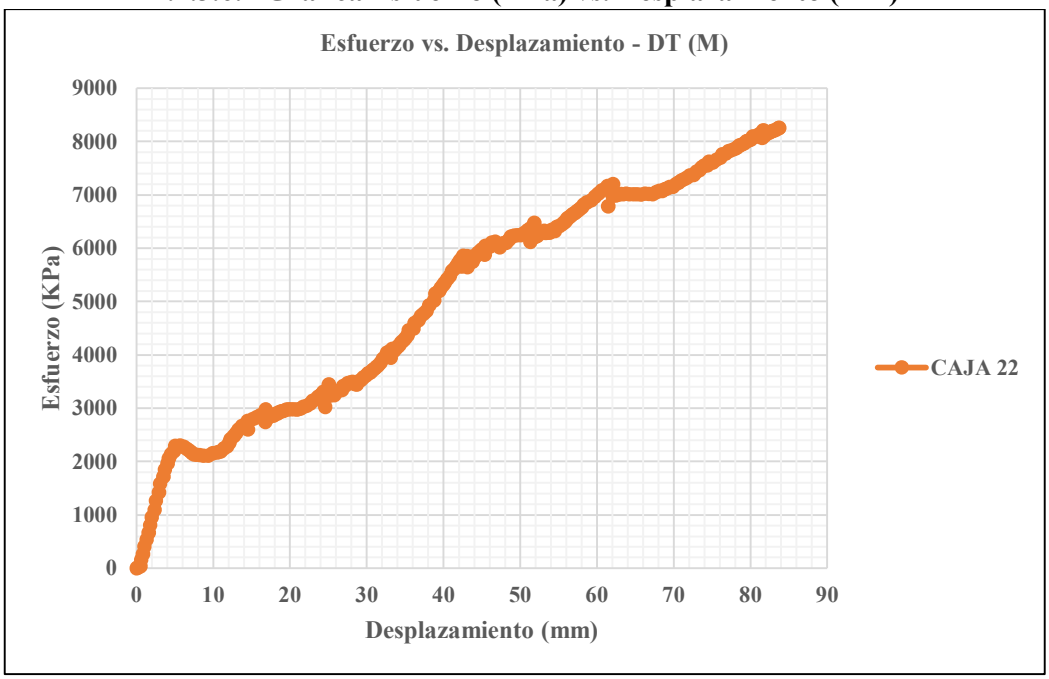
Anexo 93: Cálculos de Muestra 3 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.6.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



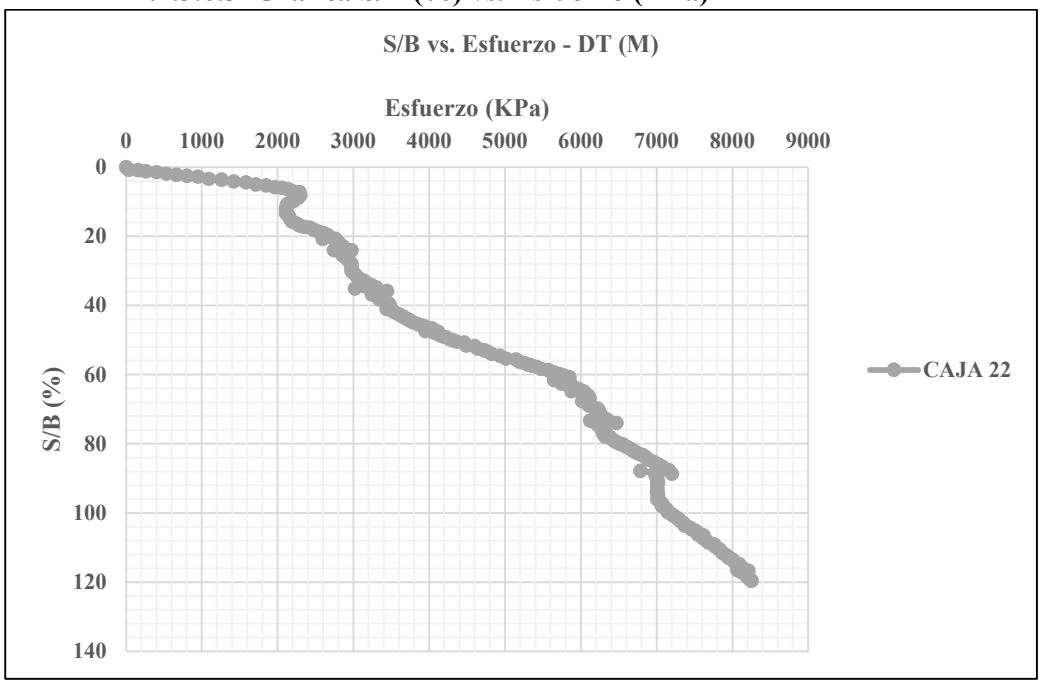
Anexo 94: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.6.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 95: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DT (M). Elaboración Propia

1.4.3.6.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 96: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 –DT (M). Elaboración Propia

11.4.3.7 Muestra 1 – DTI (M)

CAJA 7	
Fecha:	23-07-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4210
Esfuerzo (Mpa):	8.42

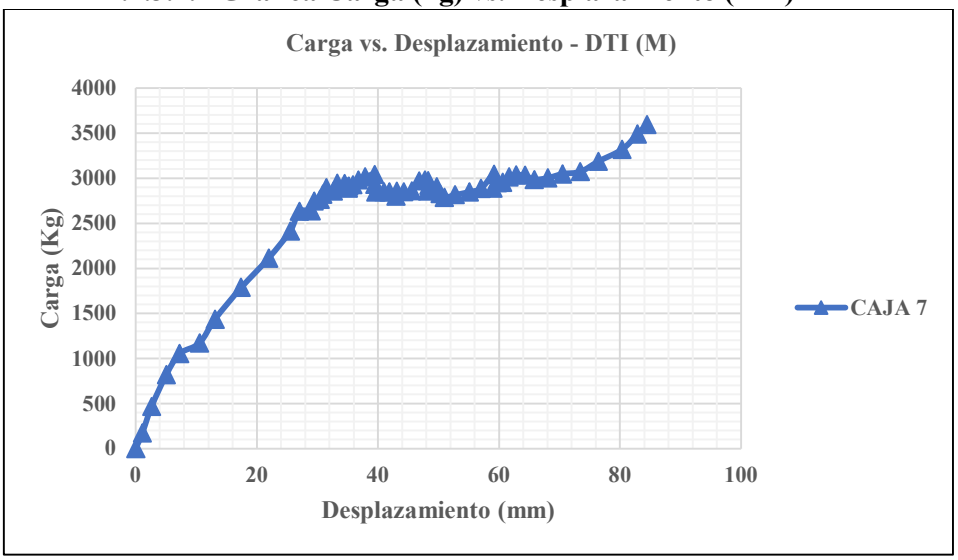
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1.12	174.46	1.6	1709.69	348916.60	348.92
2.62	467.70	3.7	4583.42	935392.60	935.39
5.06	819.22	7.2	8028.36	1638441.60	1638.44
7.26	1052.99	10.4	10319.28	2105975.60	2105.98
10.53	1171.62	15.0	11481.87	2343239.60	2343.24
13.10	1436.26	18.7	14075.40	2872529.60	2872.53
17.41	1786.96	24.9	17512.18	3573913.80	3573.91
21.97	2113.21	31.4	20709.45	4226418.40	4226.42
25.52	2413.61	36.5	23653.34	4827211.40	4827.21
27.00	2632.87	38.6	25802.12	5265738.20	5265.74
29.02	2635.01	41.5	25823.08	5270016.60	5270.02
29.48	2747.59	42.1	26926.36	5495175.00	5495.18

30.46	2766.53	43.5	27111.97	5533056.00	5533.06
30.92	2823.69	44.2	27672.18	5647383.00	5647.38
31.52	2892.07	45.0	28342.33	5784148.80	5784.15
32.64	2857.79	46.6	28006.34	5715579.20	5715.58
33.31	2944.34	47.6	28854.53	5888679.40	5888.68
34.50	2938.59	49.3	28798.16	5877174.60	5877.17
34.89	2904.51	49.8	28464.17	5809015.20	5809.02
35.12	2888.71	50.2	28309.32	5777412.80	5777.41
35.19	2913.41	50.3	28551.39	5826814.00	5826.81
35.88	2925.33	51.3	28668.23	5850658.80	5850.66
36.75	2978.29	52.5	29187.29	5956588.80	5956.59
37.90	3012.27	54.1	29520.27	6024545.40	6024.55
39.47	3041.49	56.4	29806.62	6082984.60	6082.98
39.50	2930.05	56.4	28714.45	5860091.20	5860.09
39.64	2845.99	56.6	27890.69	5691977.80	5691.98
41.00	2849.90	58.6	27929.06	5699808.00	5699.81
41.87	2847.55	59.8	27906.03	5695107.60	5695.11
43.13	2857.26	61.6	28001.20	5714529.60	5714.53
42.96	2800.53	61.4	27445.24	5601069.80	5601.07
44.28	2848.75	63.3	27917.77	5697505.00	5697.51
45.58	2859.44	65.1	28022.47	5718872.00	5718.87
46.81	2968.22	66.9	29088.56	5936440.00	5936.44
47.73	2980.66	68.2	29210.45	5961317.00	5961.32
48.30	2972.91	69.0	29134.50	5945816.80	5945.82
48.38	2918.17	69.1	28598.05	5836337.40	5836.34
48.21	2857.32	68.9	28001.69	5714630.40	5714.63
48.98	2867.73	70.0	28103.79	5735467.60	5735.47
49.74	2904.55	71.1	28464.59	5809099.20	5809.10
50.27	2830.76	71.8	27741.41	5661513.20	5661.51
50.99	2786.15	72.8	27304.24	5572294.80	5572.29
52.75	2814.74	75.4	27584.46	5629481.60	5629.48
55.09	2847.13	78.7	27901.92	5694269.20	5694.27
57.05	2885.14	81.5	28274.42	5770289.00	5770.29
59.16	3044.18	84.5	29833.01	6088369.80	6088.37
59.04	2891.04	84.3	28332.17	5782075.60	5782.08
59.75	2950.96	85.4	28919.41	5901920.20	5901.92
60.60	2954.48	86.6	28953.94	5908966.80	5908.97
61.66	3011.65	88.1	29514.20	6023305.40	6023.31
62.86	3035.97	89.8	29752.47	6071932.20	6071.93
64.29	3031.69	91.8	29710.60	6063387.20	6063.39
65.81	2984.34	94.0	29246.57	5968686.80	5968.69
68.05	3003.45	97.2	29433.81	6006899.60	6006.90
70.51	3046.97	100.7	29860.28	6093933.80	6093.93

73.45	3072.30	104.9	30108.55	6144601.80	6144.60
76.40	3185.28	109.1	31215.75	6370561.00	6370.56
80.33	3318.75	114.8	32523.79	6637508.40	6637.51
82.87	3489.52	118.4	34197.25	6979031.60	6979.03
84.44	3594.88	120.6	35229.78	7189750.60	7189.75

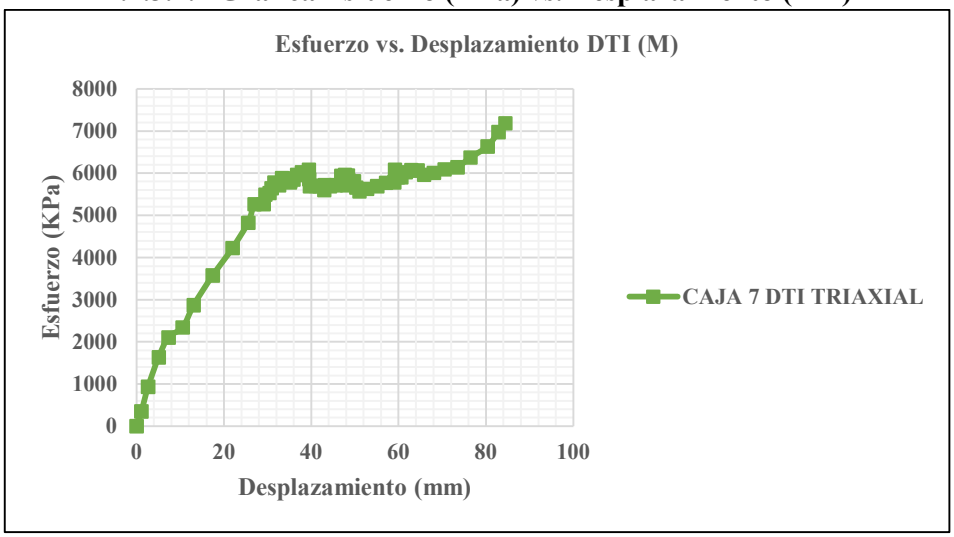
Anexo 97: Cálculos de Muestra 1– DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.7.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



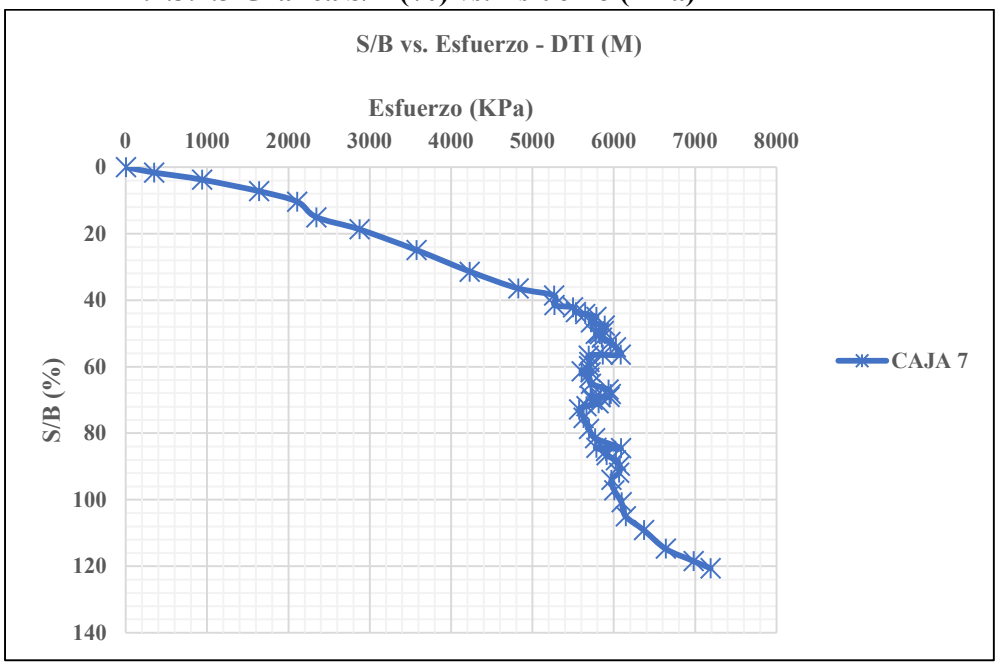
Anexo 98: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 1 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.7.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 99: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 1 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.7.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 100: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 1 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.8 Muestra 2 – DTI (M)

CAJA 16	
Fecha:	05-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4470
Esfuerzo (Mpa):	8.94

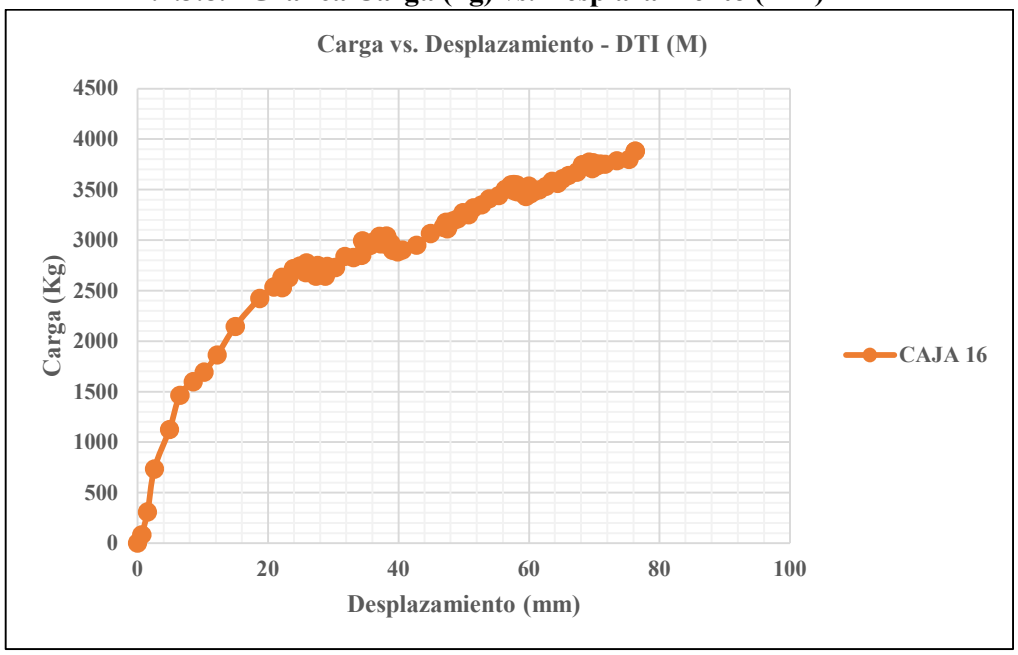
Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.62	80.92	0.9	793.06	161849.20	161.85
1.52	307.09	2.2	3009.44	614171.80	614.17
2.57	732.23	3.7	7175.88	1464465.40	1464.47
4.89	1124.32	7.0	11018.37	2248646.60	2248.65
6.48	1463.25	9.3	14339.88	2926505.60	2926.51
8.51	1597.29	12.2	15653.42	3194575.80	3194.58
10.16	1693.20	14.5	16593.32	3386391.00	3386.39
12.19	1860.83	17.4	18236.10	3721653.20	3721.65
14.97	2145.41	21.4	21025.02	4290820.60	4290.82
18.72	2423.52	26.7	23750.45	4847030.80	4847.03
20.89	2536.29	29.8	24855.66	5072583.80	5072.58
22.12	2630.36	31.6	25777.50	5260714.40	5260.71

22.17	2530.82	31.7	24802.08	5061648.60	5061.65
22.40	2602.06	32.0	25500.16	5204115.00	5204.12
23.18	2627.70	33.1	25751.48	5255404.40	5255.40
23.85	2718.26	34.1	26638.94	5436519.00	5436.52
24.82	2745.11	35.5	26902.09	5490222.20	5490.22
25.92	2775.17	37.0	27196.64	5550335.40	5550.34
25.75	2679.37	36.8	26257.84	5358742.00	5358.74
26.47	2696.44	37.8	26425.06	5392870.40	5392.87
26.91	2684.87	38.4	26311.68	5369731.00	5369.73
27.62	2749.76	39.5	26947.63	5499516.20	5499.52
27.34	2643.73	39.1	25908.54	5287457.60	5287.46
28.16	2675.57	40.2	26220.57	5351137.00	5351.14
28.44	2692.85	40.6	26389.95	5385704.60	5385.70
29.09	2738.17	41.6	26834.10	5476346.40	5476.35
28.75	2641.28	41.1	25884.53	5282557.20	5282.56
29.54	2717.49	42.2	26631.42	5434984.20	5434.98
30.31	2729.46	43.3	26748.73	5458923.80	5458.92
31.76	2839.30	45.4	27825.13	5678598.00	5678.60
33.07	2826.16	47.2	27696.32	5652310.20	5652.31
34.47	2995.45	49.2	29355.43	5990903.40	5990.90
34.32	2846.92	49.0	27899.78	5693832.40	5693.83
34.87	2935.71	49.8	28769.96	5871421.00	5871.42
35.64	2946.44	50.9	28875.09	5892875.40	5892.88
36.28	2985.33	51.8	29256.20	5970653.20	5970.65
37.06	3039.90	52.9	29790.99	6079794.00	6079.79
37.25	2960.56	53.2	29013.51	5921125.40	5921.13
38.17	3041.52	54.5	29806.87	6083035.20	6083.04
38.04	2957.16	54.3	28980.18	5914322.80	5914.32
38.81	2967.67	55.4	29083.16	5935338.40	5935.34
39.09	2897.62	55.8	28396.70	5795245.60	5795.25
39.85	2885.08	56.9	28273.76	5770155.80	5770.16
40.60	2901.01	58.0	28429.91	5802021.60	5802.02
42.77	2948.88	61.1	28899.01	5897756.60	5897.76
44.90	3065.65	64.1	30043.39	6131304.20	6131.30
46.83	3127.16	66.9	30646.21	6254329.40	6254.33
47.24	3176.91	67.5	31133.68	6353812.60	6353.81
47.47	3113.87	67.8	30515.96	6227747.60	6227.75
48.31	3189.46	69.0	31256.73	6378924.00	6378.92
49.06	3207.37	70.1	31432.18	6414731.20	6414.73
49.88	3269.98	71.3	32045.78	6539955.60	6539.96
50.76	3249.48	72.5	31844.93	6498965.40	6498.97
51.48	3319.50	73.5	32531.08	6638995.40	6639.00
52.74	3347.25	75.3	32803.06	6694502.40	6694.50

53.87	3407.33	77.0	33391.80	6814653.20	6814.65
55.35	3441.99	79.1	33731.49	6883978.20	6883.98
56.39	3504.53	80.6	34344.36	7009053.40	7009.05
57.26	3546.97	81.8	34760.26	7093930.00	7093.93
57.67	3552.32	82.4	34812.73	7104639.60	7104.64
58.07	3549.56	83.0	34785.70	7099122.80	7099.12
57.70	3490.15	82.4	34203.44	6980293.80	6980.29
58.17	3480.64	83.1	34110.26	6961278.00	6961.28
58.47	3479.85	83.5	34102.55	6959704.80	6959.70
58.95	3504.18	84.2	34340.95	7008357.80	7008.36
59.38	3512.53	84.8	34422.79	7025058.60	7025.06
59.97	3536.86	85.7	34661.24	7073721.80	7073.72
59.53	3433.25	85.0	33645.81	6866492.60	6866.49
60.20	3459.55	86.0	33903.60	6919102.00	6919.10
60.69	3480.52	86.7	34109.08	6961036.60	6961.04
61.59	3498.36	88.0	34283.93	6996721.40	6996.72
62.59	3532.21	89.4	34615.65	7064418.20	7064.42
63.54	3579.54	90.8	35079.49	7159079.20	7159.08
64.40	3562.96	92.0	34917.00	7125918.40	7125.92
65.12	3607.10	93.0	35349.55	7214193.00	7214.19
66.04	3639.29	94.3	35665.01	7278573.40	7278.57
67.34	3674.11	96.2	36006.25	7348214.80	7348.21
68.16	3748.38	97.4	36734.08	7496751.20	7496.75
68.99	3737.59	98.6	36628.41	7475186.20	7475.19
69.18	3772.68	98.8	36972.30	7545366.40	7545.37
69.47	3756.66	99.2	36815.27	7513319.60	7513.32
69.86	3764.44	99.8	36891.52	7528882.20	7528.88
69.70	3708.93	99.6	36347.50	7417857.00	7417.86
70.13	3728.67	100.2	36541.00	7457347.20	7457.35
70.41	3736.93	100.6	36621.91	7473858.80	7473.86
70.88	3752.84	101.3	36777.82	7505676.60	7505.68
71.65	3749.42	102.4	36744.27	7498831.00	7498.83
73.45	3786.54	104.9	37108.07	7573076.00	7573.08
75.32	3799.34	107.6	37233.56	7598685.20	7598.69
76.25	3881.07	108.9	38034.44	7762130.80	7762.13
76.27	3883.01	109.0	38053.48	7766016.40	7766.02

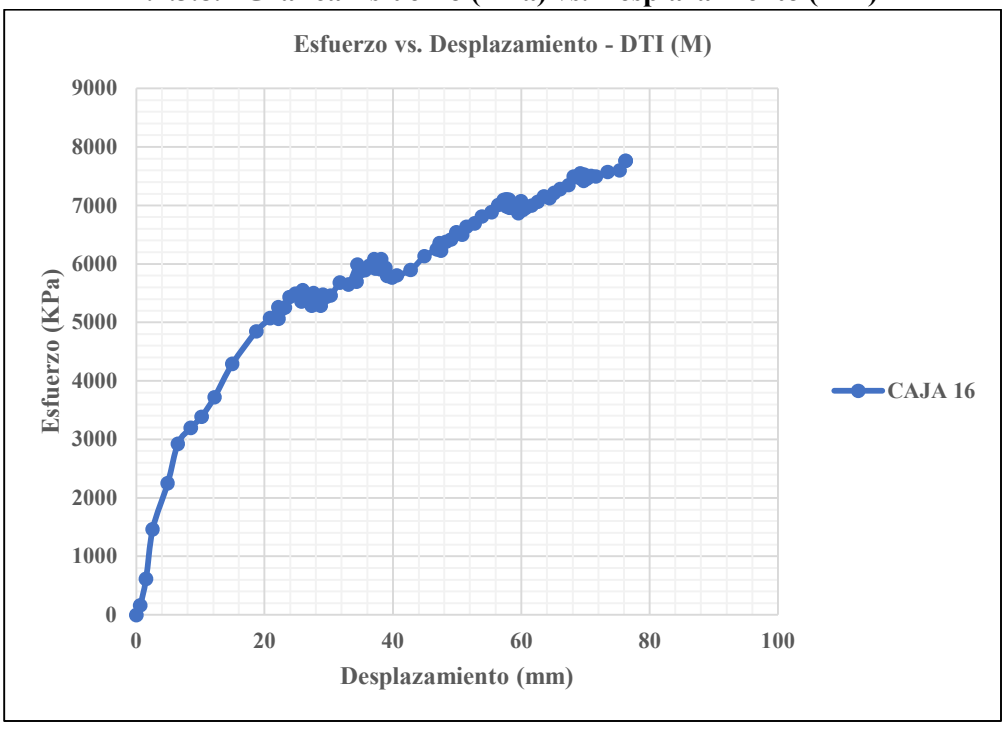
Anexo 101: Cálculos de Muestra 2– DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.8.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



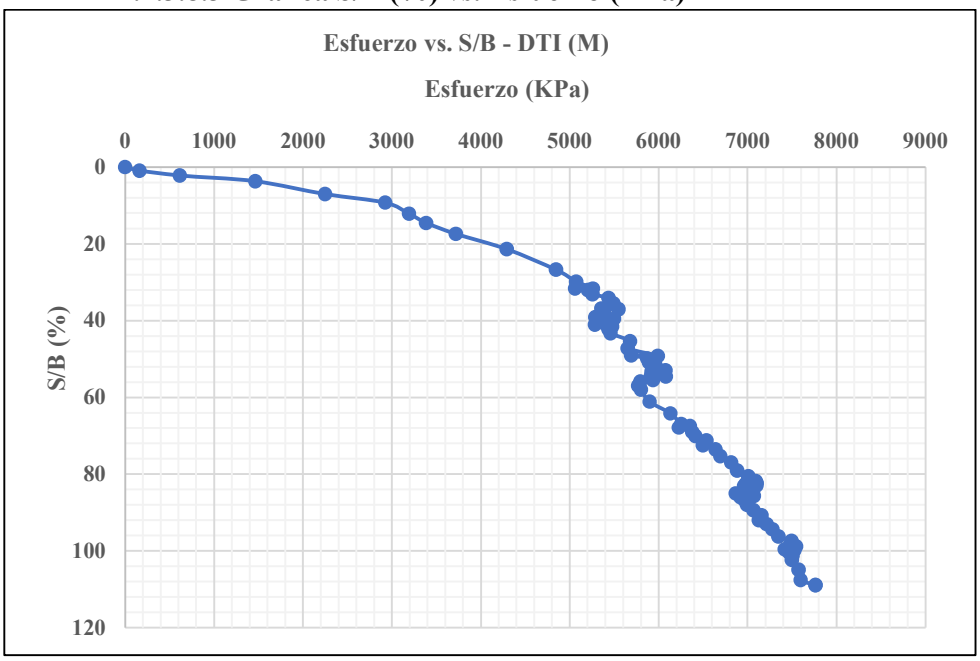
Anexo 102: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 2 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.8.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 103: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 2 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.8.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 104: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 2 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.9 Muestra 3 – DTI (M)

CAJA 23	
Fecha:	08-08-19
Velocidad de carga (mm/min):	7
Área (mm2):	4900
Rotura (kg):	4140
Esfuerzo (Mpa):	8.29

Desplazamiento (mm)	Fuerza (Kg)	S/B %	Fuerza (N)	Esfuerzo (N/m2)	Esfuerzo (Kpa)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	30.95	0.28	303.36	61909.60	61.91
0.55	85.54	0.78	838.26	171074.40	171.07
0.71	171.10	1.02	1676.80	342204.60	342.20
0.93	235.63	1.32	2309.13	471251.20	471.25
1.18	289.81	1.68	2840.15	579621.80	579.62
1.38	340.67	1.97	3338.61	681349.20	681.35
1.62	406.73	2.32	3985.94	813456.20	813.46
1.86	471.72	2.66	4622.83	943435.40	943.44
1.97	548.62	2.81	5376.50	1097245.80	1097.25
2.54	640.19	3.63	6273.87	1280381.20	1280.38
3.05	735.06	4.36	7203.59	1470121.40	1470.12
3.20	847.03	4.56	8300.92	1694065.60	1694.07
3.70	916.23	5.29	8979.04	1832457.20	1832.46

4.28	978.28	6.12	9587.16	1956562.80	1956.56
4.53	1030.93	6.47	10103.14	2061865.60	2061.87
5.07	1062.95	7.24	10416.95	2125909.00	2125.91
5.19	1109.98	7.41	10877.81	2219961.80	2219.96
5.51	1140.17	7.87	11173.69	2280345.00	2280.35
5.77	1164.52	8.24	11412.32	2329044.00	2329.04
6.14	1171.92	8.77	11484.86	2343849.60	2343.85
6.52	1180.59	9.31	11569.81	2361186.40	2361.19
6.95	1176.47	9.93	11529.44	2352947.00	2352.95
7.39	1184.91	10.56	11612.16	2369829.00	2369.83
7.93	1172.69	11.33	11492.40	2345388.00	2345.39
8.37	1197.72	11.96	11737.61	2395431.40	2395.43
8.85	1202.60	12.64	11785.46	2405195.00	2405.20
9.26	1218.07	13.23	11937.06	2436134.80	2436.13
9.71	1227.70	13.87	12031.50	2455407.40	2455.41
10.16	1240.67	14.52	12158.59	2481345.00	2481.35
10.62	1249.98	15.17	12249.84	2499967.60	2499.97
11.04	1272.10	15.77	12466.57	2544197.60	2544.20
11.64	1291.25	16.62	12654.22	2582494.40	2582.49
12.25	1316.43	17.50	12901.01	2632859.20	2632.86
12.74	1353.40	18.20	13263.36	2706808.80	2706.81
13.19	1371.46	18.84	13440.34	2742926.40	2742.93
13.59	1386.82	19.41	13590.81	2773634.40	2773.63
13.95	1403.45	19.92	13753.83	2806904.80	2806.90
14.20	1430.67	20.29	14020.54	2861335.00	2861.34
14.54	1446.44	20.77	14175.11	2892879.00	2892.88
14.88	1468.08	21.25	14387.14	2936151.00	2936.15
15.24	1480.47	21.78	14508.63	2960944.00	2960.94
15.52	1495.84	22.17	14659.22	2991677.00	2991.68
15.80	1513.94	22.58	14836.65	3027887.20	3027.89
16.12	1530.27	23.02	14996.69	3060548.60	3060.55
16.45	1547.90	23.50	15169.38	3095792.20	3095.79
16.81	1555.77	24.01	15246.59	3111549.80	3111.55
17.22	1568.45	24.59	15370.81	3136899.40	3136.90
17.65	1578.46	25.22	15468.90	3156918.80	3156.92
18.14	1591.46	25.92	15596.29	3182915.40	3182.92
18.62	1596.62	26.60	15646.91	3193246.00	3193.25
19.05	1616.74	27.21	15844.02	3233474.20	3233.47
19.54	1642.48	27.91	16096.28	3284954.40	3284.95
19.98	1683.98	28.54	16503.03	3367965.00	3367.97
20.70	1712.64	29.57	16783.85	3425275.60	3425.28
21.33	1750.70	30.47	17156.89	3501406.20	3501.41
21.94	1786.85	31.35	17511.12	3573698.60	3573.70

22.24	1842.82	31.78	18059.68	3685649.40	3685.65
22.92	1865.46	32.75	18281.47	3730913.20	3730.91
23.39	1912.60	33.42	18743.49	3825201.80	3825.20
23.80	1953.99	34.01	19149.10	3907978.60	3907.98
24.26	1978.27	34.66	19387.04	3956538.80	3956.54
24.72	2006.85	35.31	19667.15	4013703.80	4013.70
25.17	2022.55	35.96	19821.03	4045107.60	4045.11
25.71	2078.58	36.73	20370.11	4157166.00	4157.17
25.85	2023.73	36.92	19832.53	4047455.00	4047.46
26.09	2060.20	37.28	20189.94	4120395.20	4120.40
26.20	2085.14	37.43	20434.41	4170287.20	4170.29
26.52	2099.86	37.89	20578.59	4199712.40	4199.71
26.84	2124.75	38.34	20822.51	4249491.60	4249.49
27.12	2144.19	38.74	21013.08	4288382.80	4288.38
27.38	2164.78	39.12	21214.82	4329555.00	4329.56
27.60	2185.44	39.44	21417.34	4370884.80	4370.88
27.91	2207.46	39.88	21633.13	4414924.40	4414.92
28.01	2230.99	40.02	21863.72	4461983.20	4461.98
28.31	2248.47	40.44	22035.01	4496941.00	4496.94
28.21	2183.83	40.30	21401.55	4367663.00	4367.66
28.50	2231.98	40.71	21873.38	4463956.00	4463.96
28.80	2237.19	41.14	21924.45	4474376.80	4474.38
29.06	2268.35	41.51	22229.83	4536699.40	4536.70
29.37	2280.20	41.96	22345.93	4560394.40	4560.39
29.90	2329.83	42.72	22832.32	4659658.00	4659.66
29.54	2215.41	42.19	21710.99	4430813.60	4430.81
30.25	2278.34	43.21	22327.70	4556673.80	4556.67
30.49	2304.43	43.55	22583.43	4608863.00	4608.86
30.78	2332.28	43.97	22856.32	4664554.40	4664.55
31.04	2347.24	44.34	23002.92	4694473.40	4694.47
31.34	2358.97	44.77	23117.95	4717949.40	4717.95
31.48	2379.14	44.97	23315.52	4758270.40	4758.27
31.97	2406.00	45.67	23578.79	4811997.80	4812.00
31.60	2332.28	45.15	22856.36	4664564.00	4664.56
32.12	2299.71	45.89	22537.17	4599421.80	4599.42
32.14	2330.52	45.91	22839.12	4661045.60	4661.05
32.38	2336.06	46.25	22893.34	4672110.00	4672.11
32.43	2349.66	46.32	23026.65	4699316.80	4699.32
32.72	2367.77	46.74	23204.15	4735541.80	4735.54
32.60	2283.94	46.57	22382.65	4567888.60	4567.89
32.82	2338.18	46.89	22914.17	4676361.20	4676.36
33.14	2348.11	47.34	23011.44	4696213.00	4696.21
33.41	2367.02	47.73	23196.82	4734044.60	4734.04

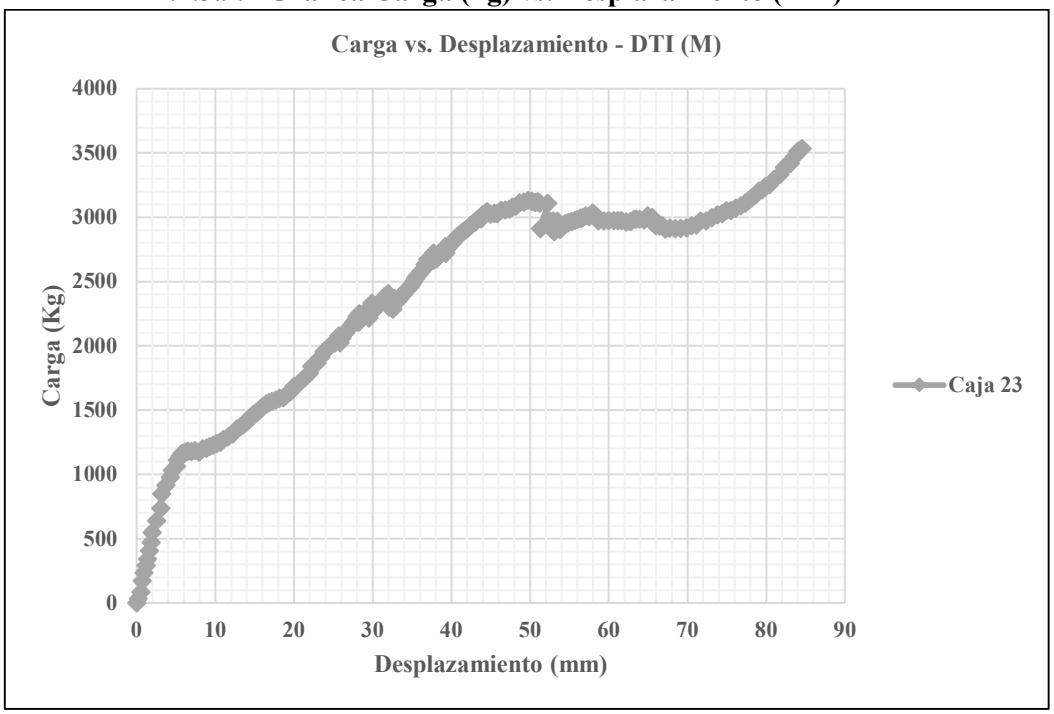
33.60	2386.81	48.00	23390.71	4773614.80	4773.61
33.83	2395.61	48.32	23476.94	4791212.40	4791.21
33.98	2413.80	48.55	23655.25	4827602.60	4827.60
34.18	2425.41	48.83	23769.06	4850829.00	4850.83
34.38	2436.24	49.11	23875.12	4872473.00	4872.47
34.57	2448.12	49.38	23991.54	4896231.80	4896.23
34.79	2462.39	49.70	24131.38	4924770.60	4924.77
35.00	2481.31	50.00	24316.88	4962629.40	4962.63
35.20	2501.86	50.29	24518.27	5003729.00	5003.73
35.43	2522.94	50.61	24724.81	5045880.00	5045.88
35.63	2543.26	50.91	24923.96	5086521.60	5086.52
35.90	2558.33	51.28	25071.68	5116668.60	5116.67
36.16	2581.21	51.65	25295.87	5162423.20	5162.42
36.50	2598.80	52.15	25468.28	5197608.60	5197.61
36.63	2631.56	52.33	25789.31	5263123.60	5263.12
36.93	2641.71	52.76	25888.74	5283417.20	5283.42
37.02	2671.27	52.89	26178.45	5342541.20	5342.54
37.30	2684.05	53.29	26303.66	5368093.20	5368.09
37.74	2720.88	53.91	26664.61	5441757.40	5441.76
37.72	2664.57	53.89	26112.83	5329149.80	5329.15
38.08	2676.41	54.40	26228.84	5352823.80	5352.82
38.29	2692.37	54.70	26385.18	5384731.00	5384.73
38.52	2708.93	55.03	26547.53	5417863.20	5417.86
38.77	2728.95	55.39	26743.66	5457890.60	5457.89
39.00	2735.10	55.72	26803.99	5470201.40	5470.20
39.22	2771.52	56.03	27160.88	5543035.80	5543.04
39.25	2719.24	56.07	26648.58	5438486.00	5438.49
39.57	2762.41	56.53	27071.63	5524823.40	5524.82
39.77	2778.92	56.81	27233.39	5557833.80	5557.83
40.11	2799.49	57.31	27435.02	5598983.80	5598.98
40.35	2821.80	57.64	27653.63	5643598.60	5643.60
40.65	2839.41	58.07	27826.25	5678826.20	5678.83
40.89	2856.94	58.41	27998.01	5713878.60	5713.88
41.17	2867.82	58.82	28104.60	5735632.60	5735.63
41.42	2882.12	59.17	28244.76	5764237.60	5764.24
41.72	2896.51	59.61	28385.77	5793014.40	5793.01
42.03	2908.62	60.04	28504.51	5817246.80	5817.25
42.32	2932.59	60.46	28739.35	5865174.00	5865.17
42.66	2946.65	60.95	28877.18	5893301.60	5893.30
43.00	2961.96	61.43	29027.23	5923923.80	5923.92
43.30	2982.61	61.86	29229.54	5965212.00	5965.21
43.78	2988.27	62.55	29285.08	5976546.40	5976.55
44.05	3023.94	62.92	29634.63	6047882.80	6047.88

44.53	3043.07	63.61	29822.13	6086149.60	6086.15
44.96	3024.03	64.23	29635.47	6048055.00	6048.06
45.45	3029.88	64.93	29692.85	6059766.00	6059.77
45.83	3028.74	65.47	29681.66	6057481.80	6057.48
46.31	3054.29	66.16	29932.05	6108582.60	6108.58
46.85	3055.90	66.92	29947.83	6111801.20	6111.80
47.39	3063.93	67.69	30026.53	6127863.80	6127.86
47.75	3078.22	68.22	30166.56	6156441.40	6156.44
48.18	3085.93	68.83	30242.15	6171866.60	6171.87
48.68	3112.98	69.54	30507.17	6225952.80	6225.95
49.21	3116.30	70.31	30539.75	6232601.40	6232.60
49.73	3130.32	71.04	30677.15	6260643.60	6260.64
50.22	3123.59	71.74	30611.17	6247176.60	6247.18
50.62	3113.73	72.31	30514.57	6227463.20	6227.46
50.96	3118.32	72.80	30559.54	6236641.00	6236.64
51.25	3110.89	73.21	30486.70	6221775.00	6221.78
52.24	3108.46	74.63	30462.92	6216922.60	6216.92
51.29	2911.25	73.27	28530.23	5822495.80	5822.50
52.53	2969.89	75.04	29104.94	5939784.00	5939.78
52.94	2972.08	75.63	29126.34	5944150.80	5944.15
53.48	2970.13	76.41	29107.23	5940250.00	5940.25
53.07	2887.45	75.82	28297.02	5774902.40	5774.90
53.82	2904.14	76.88	28460.61	5808287.80	5808.29
53.86	2931.87	76.94	28732.29	5863732.40	5863.73
54.18	2937.78	77.40	28790.27	5875565.20	5875.57
54.49	2950.02	77.85	28910.16	5900033.20	5900.03
54.87	2958.49	78.39	28993.23	5916985.40	5916.99
55.26	2965.88	78.94	29065.62	5931758.80	5931.76
55.65	2974.74	79.50	29152.45	5949480.40	5949.48
56.04	2983.65	80.06	29239.76	5967297.00	5967.30
56.38	2993.18	80.54	29333.15	5986357.80	5986.36
56.67	2994.85	80.95	29349.55	5989704.00	5989.70
57.03	3010.70	81.47	29504.86	6021400.40	6021.40
57.49	3005.42	82.12	29453.14	6010845.20	6010.85
57.95	3032.70	82.79	29720.46	6065399.80	6065.40
58.37	3006.16	83.38	29460.32	6012310.40	6012.31
58.70	2970.99	83.86	29115.75	5941989.80	5941.99
59.38	2972.20	84.83	29127.56	5944400.00	5944.40
60.00	2974.86	85.72	29153.66	5949725.60	5949.73
60.63	2974.16	86.62	29146.75	5948315.60	5948.32
61.16	2974.59	87.38	29150.98	5949179.00	5949.18
61.60	2973.85	88.00	29143.69	5947692.00	5947.69
62.19	2963.00	88.85	29037.41	5926002.60	5926.00

62.73	2964.80	89.61	29055.09	5929609.40	5929.61
63.18	2982.98	90.26	29233.19	5965956.80	5965.96
63.46	2983.41	90.66	29237.42	5966820.60	5966.82
63.93	2983.88	91.33	29242.06	5967766.40	5967.77
64.50	2979.86	92.14	29202.59	5959711.60	5959.71
64.96	3011.30	92.81	29510.73	6022597.60	6022.60
65.53	2996.86	93.61	29369.27	5993727.60	5993.73
65.61	2956.93	93.73	28977.88	5913852.20	5913.85
65.99	2933.38	94.26	28747.14	5866762.60	5866.76
66.43	2931.83	94.90	28731.89	5863651.20	5863.65
66.84	2934.06	95.49	28753.75	5868111.40	5868.11
67.18	2905.27	95.97	28471.61	5810532.00	5810.53
67.74	2915.05	96.77	28567.53	5830108.80	5830.11
68.42	2911.37	97.75	28531.43	5822740.20	5822.74
69.13	2914.42	98.76	28561.36	5828848.40	5828.85
69.84	2917.01	99.78	28586.67	5834014.20	5834.01
70.49	2935.05	100.71	28763.50	5870101.80	5870.10
71.11	2938.64	101.59	28798.62	5877270.20	5877.27
71.65	2971.64	102.36	29122.02	5943270.00	5943.27
72.37	2972.08	103.39	29126.42	5944167.40	5944.17
73.11	2996.55	104.45	29366.14	5993090.00	5993.09
73.81	3017.59	105.45	29572.34	6035170.60	6035.17
74.41	3026.96	106.30	29664.21	6053919.40	6053.92
74.92	3050.96	107.02	29899.41	6101920.20	6101.92
75.50	3050.77	107.86	29897.51	6101532.00	6101.53
76.10	3069.40	108.72	30080.16	6138807.60	6138.81
76.75	3087.77	109.65	30260.13	6175537.40	6175.54
77.33	3109.83	110.48	30476.34	6219660.40	6219.66
77.80	3130.30	111.14	30676.89	6260590.60	6260.59
78.18	3152.78	111.69	30897.20	6305550.80	6305.55
78.64	3172.63	112.35	31091.73	6345250.00	6345.25
79.06	3202.16	112.95	31381.14	6404313.60	6404.31
79.52	3212.44	113.60	31481.90	6424878.00	6424.88
79.87	3236.72	114.10	31719.85	6473439.40	6473.44
80.43	3252.45	114.89	31874.00	6504897.20	6504.90
81.00	3295.57	115.71	32296.60	6591142.40	6591.14
81.77	3331.75	116.81	32651.12	6663493.20	6663.49
82.30	3387.99	117.57	33202.31	6775981.00	6775.98
83.08	3418.53	118.68	33501.56	6837053.20	6837.05
83.52	3468.88	119.31	33994.98	6937750.40	6937.75
84.01	3511.83	120.01	34415.89	7023651.40	7023.65
84.37	3526.06	120.52	34555.35	7052112.60	7052.11
84.55	3533.47	120.79	34627.98	7066934.00	7066.93

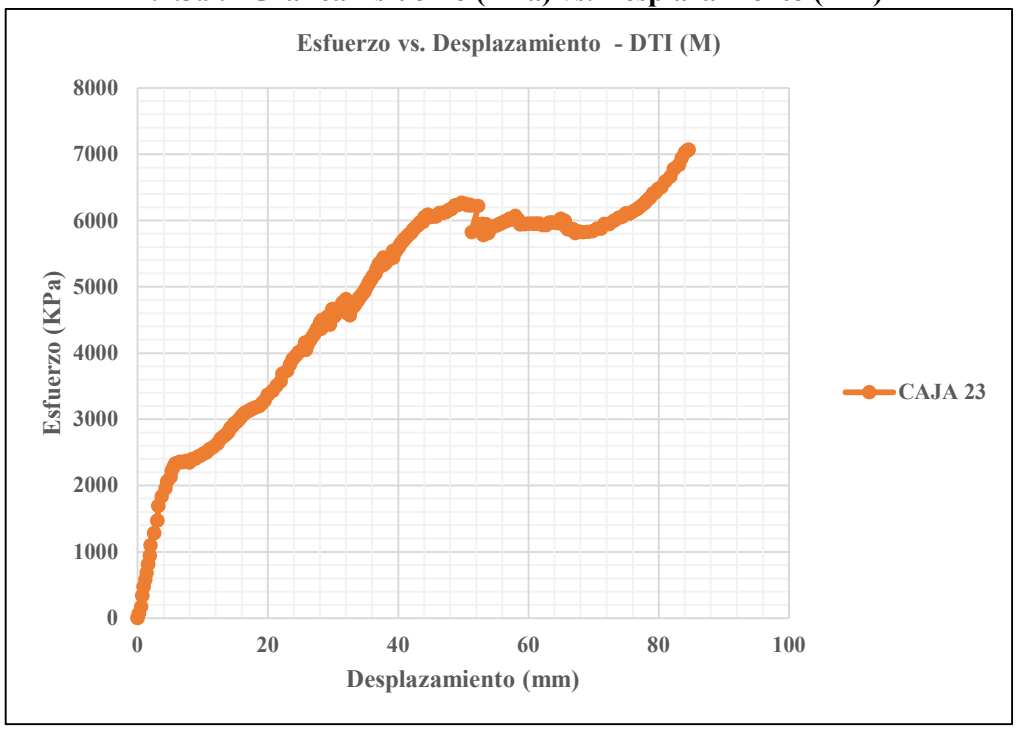
Anexo 105: Cálculos de Muestra 3– DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.9.1 Gráfica Carga (kg) vs. Desplazamiento (mm)



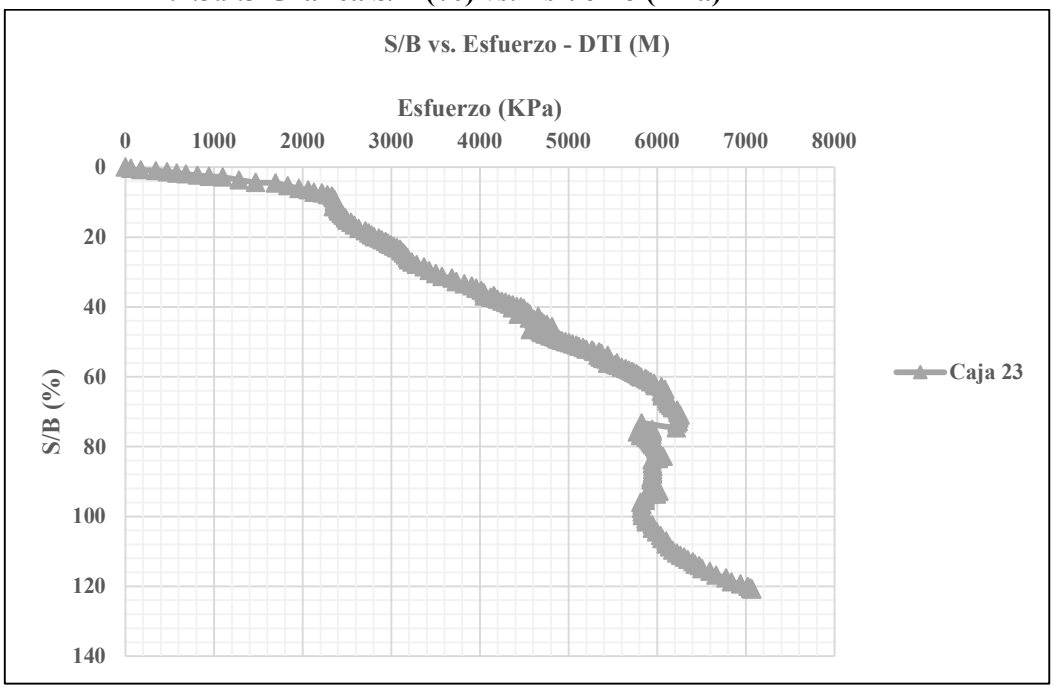
Anexo 106: Gráfica Carga vs. Desplazamiento Muestra 3 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.9.2 Gráfica Esfuerzo (KPa) vs. Desplazamiento (mm)



Anexo 107: Esfuerzo vs Desplazamiento Muestra 3 – DTI (M). Elaboración Propia

11.4.3.9.3 Gráfica S/B (%) vs. Esfuerzo (KPa)



Anexo 108: Gráfica S/B vs. Esfuerzo Muestra 3 – DTI (M). Elaboración Propia