

no mxc,
66617

7
J21a
2013

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil



Aplicación de Geosintéticos como Refuerzo de Mortero Proyectado en Sistemas de Sostenimiento

Por

Carolina Jadue Matus

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de
la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: Alejandro Morales Gómez
Co-Referente: Ricardo Moffat Covarrubias.

Diciembre, 2013

R. 16841

- mantenas
- Geosintéticos
- Auctubia

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a toda mi familia que siempre me apoyó durante el largo proceso de estudio, pero en forma particular agradecer a mis Padres.

Quiero agradecer a mi comisión examinadora, a mi profesor guía; Alejandro Morales a quien tuve el agrado de conocer durante mi proceso académico en la universidad, agradecerle por todo el apoyo no solo en el trabajo de título, si no que durante todo el tiempo que nos conocemos. A mi profesor Co-Referente; Ricardo Moffat a quien tuve el agrado de conocer durante este proceso, agradecerle por todo el apoyo y su buena disposición.

Quiero agradecer a Petrus Consultores Geotécnicos por haberme permitido desarrollar mi trabajo de título y comenzar a desarrollarme como profesional.

Agradecer también a Geosistemas Ingeniería y Servicios Ltda. y a Emin Sistemas Geotécnicos S.A, por haberme facilitado parte del material para desarrollar este trabajo de título.

Agradecer enormemente al Laboratorio de Sólidos de la Universidad de Chile (MECESUP), por permitirme realizar las pruebas necesarias para el desarrollo del trabajo de título, en forma particular a Don Omar y Don Mario, por el gran apoyo tanto físico como intelectualmente brindado durante este proceso.

Por último agradecerles infinitamente a todas las personas que indirectamente me ayudaron tanto en lo intelectual como en lo material para el desarrollo de este trabajo de título.

DEDICATORIAS

Con todo mi cariño y amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, para ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Papá (Alejandro Jadue) y Mamá (Rosa Matus).

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.

Con todo mi cariño este Trabajo de Título se los dedico a ustedes:

Alejandra (Hermana).

Amigas y Amigos.

A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiras a ser mejor para ti, ahora puedo decir que este trabajo de título lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado.

Amor.

ÍNDICE

Ítem	pág.
Glosario	6
Lista de abreviaturas o siglas	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tablas.....	9
Lista de Gráficos.....	11
Resumen	16
1. Introducción.....	17
1.1 Motivación	17
1.2 Planteamiento del problema.....	18
1.3 Objetivos	18
1.3.1 General.....	18
1.3.2 Específicos.....	19
1.4 Alcances del trabajo de título.....	19
1.5 Estructura del Trabajo	19
1.5.1 Diagrama de la Estructura del Trabajo.....	21
2. Antecedentes	22
2.1 Mortero Proyectado.....	22
2.1.1 Definición	22
2.1.2 Historia.....	22
2.1.3 Métodos de Aplicación	23
2.1.4 Aplicaciones del Mortero Proyectado en Problemas Geotécnicos.....	25
2.1.5 Mecanismo de funcionamiento del Mortero Proyectado	26
2.1.6 Mortero proyectado como sistema de sostenimiento en túneles.	26
2.1.7 Tipos de refuerzo para el soporte de Mortero Proyectado	28
2.1.8 Antecedentes sobre estudios a refuerzos usados en la actualidad.	30
2.2 Geosintéticos.....	35
2.2.1 Descripción básica de los Geosintéticos	35
2.2.2 Aplicaciones	37

2.2.3	Costos.....	37
3.	Metodología.....	38
3.1	Equipos.....	38
3.2	Materiales.....	41
3.3	Laboratorio de Pruebas.....	41
3.4	Fabricación de Muestras.....	41
3.5	Parámetros de registro.....	43
3.6	Procedimiento de Ensayo.....	44
3.7	Cálculos.....	45
4.	Presentación y Análisis de Resultados.....	47
4.1	Presentación de resultados de las Pruebas de Paneles Redondos.....	47
4.2	Análisis de Resultados.....	67
4.2.1	Ensayos de la resistencia a la compresión del mortero proyectado.....	67
4.2.2	Ensayos de la resistencia a flexión del mortero proyectado con y sin refuerzo.....	67
5.	Conclusiones.....	117
6.	Referencias Bibliográficas.....	119
	ANEXO 1.....	121
	Curva Desplazamiento vs Tiempo de cada ensayo.....	121
	ANEXO 2.....	136
	Registro Fotográfico.....	136
	ANEXO 3.....	146
	Fichas Técnicas de Geosintéticos.....	146
	ANEXO 4.....	147
	Flexibilidad Equipo de Ensayo.....	147

Glosario

Clave del Túnel: Parte más alta de un túnel, en un corte transversal

Shotcrete: Hormigón proyectado

Tenacidad: Es la capacidad de un material de oponerse a la propagación de la fisuración disipando energía de deformación.

Ductilidad: Es la capacidad de un material de poder soportar apreciables deformaciones conservando buena resistencia

Lista de abreviaturas o siglas

a/c = Relación agua – cemento

Ar/c = Relación árido – cemento

ASTM =Sociedad América de Pruebas de Materiales

App = Aproximadamente

DSR = Disco sin Refuerzo

Def = Deformación

d=el diámetro promedio, mm.

d_0 =el diámetro nominal de 800mm.

EFNARC =Federación Europea de Asociaciones Nacionales que representan el Hormigón.

H = Altura del disco

J = Joules

KN = Kilo newton

Kg = Kilogramo

Lt = Litros

Máx = Máxima

mm = Milímetro

P= la carga máxima corregida, KN.

P'=la carga máxima medida, KN.

RDP= Round Determinate Panel test. Prueba de paneles redondos

Tons = Toneladas

t= el espesor promedio, mm.

t_0 = el espesor nominal de 75mm.

W = la absorción de energía corregida, Joule.

W' = la absorción de energía medida, Joule.

δ = la deformación central especificada a la cual la capacidad para absorber energía es medida, mm.

Lista de Figuras

Figura 2.1- Secuencia de aplicación vía seca y vía húmeda [4].....	25
Figura 2.2- Curva de reacción del suelo [11].....	27
Figura 2.3- Diagrama de reacción del suelo. Ejemplos de diversos tipos de estructuras de soporte [11].	28
Figura 2.4- <i>Energía Absorbida requerida, acordada por la EFNARC</i>	31
Figura 2.5- Ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Reforzado usando Paneles Redondos (9 kg/m ³ MASTERFIBER 50PS, ASTM C1550-03a) [14].....	33
Figura 3.1- Dispositivo de Soporte (Ref: ASTM C1550-12a).....	38
Figura 3.2- Detalle de la placa de transferencia y soporte de pivote (Ref: ASTM C1550-12a)	39
Figura 3.3 Equipos de medición.....	39
Figura 3.4 Sistema de Registro de datos.....	40
Figura 3.5- Confección de muestras	42
Figura 3.6- Recomendación de las dimensiones del panel por la Norma ASTM C 1550. (Ref: ASTM C1550-12a)	43
Figura 3.7- Fabricación muestras de mortero proyectado con refuerzo de geogrilla.	43
Figura 3.8- Instalación del panel en el dispositivo de ensayo (Ref: ASTM C1550-12a).....	44
Figura 3.9- Falla del panel.....	46
Figura 3.10- Gráfico carga vs. Deformación (Ref: ASTM C1550-12a)	46
Figura 4.1- Punto de medición de la grieta en el disco.....	70

Lista de Tablas

Tabla 2.1- Comparación entre métodos por vía seca y por vía húmeda.	24
Tabla 2.2- Precios de Mallas de Acero	29
Tabla 2.3- Precios de Fibras de Acero y Polipropileno	30
Tabla 2.4- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN) Carga Residual (kN), Absorción de Energía (J) (hasta los 40 mm) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Estudio de Fibra SCA-PT100[13].	32
Tabla 2.5- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN) Carga Residual (kN), Absorción de Energía (J) hasta los 40mm) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Estudio de Fibra SCAPF[13].	32
Tabla 2.6- Cargas admisibles en mallas de alambres [13].	33
Tabla 2.7- Precios de Geosintéticos	37
Tabla 3.1- Dosificación Mortero	41
Tabla 4.1- Dosificación 1	47
Tabla 4.2 Dosificación 2	49
Tabla 4.3 Dosificación 3	50
Tabla 4.4- Dosificación 4	52
Tabla 4.5 Dosificación 5	58
Tabla 4.6- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 1 y 2.	68
Tabla 4.7- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 3 y 4.	73
Tabla 4.8- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 5 y 6.	77
Tabla 4.9- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN) y Absorción de Energía (J) de Discos sin Refuerzo de Dosificación 4.	80
Tabla 4.10- Resultados de los valores promedio de Carga Máxima (kN) y Absorción de Energía (J) de 3 discos sin Refuerzo de Dosificación 4.	81
Tabla 4.11 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 10,11 y12.	82
Tabla 4.12- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 10,11 y12.....	83
Tabla 4.13 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 19,20 y 21.	87
Tabla 4.14- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 19,20 y 21.....	88
Tabla 4.15 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 22,23 y 24.	92
Tabla 4.16- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 22,23 y 24.....	93
Tabla 4.17 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 25 y 26.	97
Tabla 4.18- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 25 y 26.....	97
Tabla 4.19 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 29 y 30.	101
Tabla 4.20 Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 29 y 30.....	101

Tabla 4.21 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 32 y 33	105
Tabla 4.22 Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 32 y 33.....	105
Tabla 4.23 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 34 y 35.	109
Tabla 4.24 Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 34 y 35.....	109
Tabla 4.25 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) de Ensayos N° 36. ...	112

Lista de Gráficos

Gráfico 4.1- Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid type 2 a un medio de la altura del disco.	48
Gráfico 4.2 Relación entre Carga y Deformación de Disco sin Refuerzo.	48
Gráfico 4.3 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid type 2 aun medio de la altura del disco.	49
Gráfico 4.4 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid type 2 a un tercio de la altura del disco.	50
Gráfico 4.5 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 601 a un medio de la altura del disco.	51
Gráfico 4.6 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 601 a un tercio de la altura del disco.	51
Gráfico 4.7- Disco sin Refuerzo.	52
Gráfico 4.8 Disco sin Refuerzo.	53
Gráfico 4.9 Disco sin Refuerzo.	53
Gráfico 4.10 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.	54
Gráfico 4.11 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.	54
Gráfico 4.12 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.	55
Gráfico 4.13 Disco DESCARTADO.	56
Gráfico 4.14 Disco DESCARTADO.	56
Gráfico 4.15 Disco DESCARTADO.	57
Gráfico 4.16 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.	58
Gráfico 4.17 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.	59
Gráfico 4.18 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.	59
Gráfico 4.19 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.	60
Gráfico 4.20 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.	60
Gráfico 4.21 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.	61
Gráfico 4.22 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.	61
Gráfico 4.23 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.	62
Gráfico 4.24 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.	63
Gráfico 4.25 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.	63
Gráfico 4.26 Disco DESCARTADO.	64
Gráfico 4.27 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco.	64
Gráfico 4.28 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco.	65

Gráfico 4.29 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.....	65
Gráfico 4.30 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.....	66
Gráfico 4.31 Disco sin Refuerzo.	66
Gráfico 4.32 Comparación Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 y Disco sin Refuerzo hasta 40 mm de deformación.....	69
Gráfico 4.33 comparación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 1 y 2 hasta deformación máxima.	70
Gráfico 4.34 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo Nº 1 hasta deformación máxima... 71	71
Gráfico 4.35 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo Nº 1 hasta deformación máxima.	71
Gráfico 4.36 Relación entre Ancho de Grieta y Resistencia Residual del Ensayo Nº 1 hasta deformación máxima.	72
Gráfico 4.37 Comparación Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 (1/2H) y Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 (1/3H) hasta 40 mm de deformación.	74
Gráfico 4.38 Comparación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 3 y 4 hasta deformación máxima.	74
Gráfico 4.39- Relación entre Ancho de Grieta y Carga de los Ensayo Nº 3 y 4 hasta deformación máxima. . 75	75
Gráfico 4.40- Relación entre Ancho de Grieta y Deformación de los Ensayo Nº 3 y 4 hasta deformación máxima.	75
Gráfico 4.41- Relación entre Ancho de Grieta y Resistencia residual de los Ensayo Nº 3 y 4 hasta deformación máxima.	76
Gráfico 4.42 Comparación Disco reforzado con Geotextil Propex 601 (1/2H) y Disco reforzado con Geotextil Propex 601 (1/3H) hasta 40 mm de deformación.	78
Gráfico 4.43 Comparación de las curvas de Absorción de Energía vs Deformación de los Ensayos Nº 5 y 6 hasta deformación máxima.	78
Gráfico 4.44- Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo Nº 5 y 6 hasta deformación máxima.	79
Gráfico 4.45- Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo Nº 5 y 6 hasta deformación máxima.	79
Gráfico 4.46- Relación entre Ancho de Grieta y Resistencia residual del Ensayo Nº 5 y 6 hasta deformación máxima.	79
Gráfico 4.47 Relación Carga – Deformación de 3 discos sin refuerzo.....	80
Gráfico 4.48 Relación Carga – Deformación promedio de los 3 discos sin Refuerzo.....	81
Gráfico 4.49- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 con Dosificación 4 hasta 40 mm de deformación.....	83
Gráfico 4.50- Relación Carga- Deformación del promedio de los resultados de los discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 con Dosificación 4 hasta 40 mm de deformación.	84
Gráfico 4.51 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.	84
Gráfico 4.52 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo Nº 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.....	85
Gráfico 4.53 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo Nº 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.	85
Gráfico 4.54 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo Nº 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.	86
Gráfico 4.55- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.....	88
Gráfico 4.56- Relación Carga- Deformación del promedio de los resultados de los discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.....	89
Gráfico 4.57 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.	89

Gráfico 4.58 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.	90
Gráfico 4.59 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.	90
Gráfico 4.60 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.	91
Gráfico 4.61- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial E'grid 3030 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.	93
Gráfico 4.62 Relación Carga- Deformación del promedio de los resultados de los discos con refuerzo Biaxial E'grid 3030 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.	94
Gráfico 4.63 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.	94
Gráfico 4.64 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.	95
Gráfico 4.65 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.	95
Gráfico 4.66 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.	96
Gráfico 4.67- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Geotextil Propex 351 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.	98
Gráfico 4.68 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.	98
Gráfico 4.69 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.	99
Gráfico 4.70 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.	99
Gráfico 4.71 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.	100
Gráfico 4.72 Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.	102
Gráfico 4.73 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.	102
Gráfico 4.74 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.	103
Gráfico 4.75 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.	103
Gráfico 4.76 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.	104
Gráfico 4.77 Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Geotextil Propex 401 con Dosificación 5.	106
Gráfico 4.78 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 32, 33 y Promedio.	106
Gráfico 4.79 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 32, 33 y Promedio hasta deformación máxima.	107
Gráfico 4.80 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 32, 33 y Promedio hasta deformación máxima.	107
Gráfico 4.81- Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 32, 33 y Promedio hasta deformación máxima.	108
Gráfico 4.82 Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.	110
Gráfico 4.83 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.	110

Gráfico 4.84 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.	111
Gráfico 4.85 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.	111
Gráfico 4.86 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.	112
Gráfico 4.87 Relación Carga- Deformación de disco sin Refuerzo de Dosificación 5.	113
Gráfico 0.1 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°1).	122
Gráfico 0.2 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 2).	122
Gráfico 0.3 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°3).	123
Gráfico 0.4 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un tercio de H (Ensayo N°4).	123
Gráfico 0.5 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 601 a un medio de H (Ensayo N°5).	124
Gráfico 0.6 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 601 a un tercio de H (Ensayo N°6).	124
Gráfico 0.7 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 7).	125
Gráfico 0.8 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 8).	125
Gráfico 0.9 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 9).	126
Gráfico 0.10 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°10).	126
Gráfico 0.11 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°11).	127
Gráfico 0.12 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°12).	127
Gráfico 0.13 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un medio de H (Ensayo N°19).	128
Gráfico 0.14 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un medio de H (Ensayo N°20).	128
Gráfico 0.15 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un medio de H (Ensayo N°21).	129
Gráfico 0.16 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 3030 a un medio de H (Ensayo N°22).	129
Gráfico 0.17 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 3030 a un medio de H (Ensayo N°23).	130
Gráfico 0.18 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 3030 a un medio de H (Ensayo N°24).	130
Gráfico 0.19 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 351 a un medio de H (Ensayo N°25).	131
Gráfico 0.20 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 351 a un medio de H (Ensayo N°26).	131
Gráfico 0.21 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°29).	132
Gráfico 0.22 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°30).	132
Gráfico 0.23 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 401 a un medio de H (Ensayo N°32).	133
Gráfico 0.24 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 401 a un medio de H (Ensayo N°33).	133

Gráfico 0.25 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un tercio de H (Ensayo N°34).	134
Gráfico 0.26 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un tercio de H (Ensayo N°35).	134
Gráfico 0.27 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 36).	135

Resumen

“Aplicación de geosintéticos como refuerzo de mortero proyectado en sistemas de sostenimiento”

El objetivo del presente trabajo de título es estudiar el comportamiento mecánico del mortero proyectado reforzado con geosintéticos, como sistema de sostenimiento en excavaciones superficiales (taludes) y excavaciones subterráneas (túneles), y compararlo con sistemas de sostenimiento de mortero proyectado usados en la actualidad como fibras poliméricas y de acero estructural y mallas de acero.

El estudio se basa principalmente en el análisis de la absorción de energía que es capaz de desarrollar el conjunto mortero + refuerzo a medida que se deforma, esta propiedad es evaluada a través de la Norma ASTM C1550 -12a. Se efectúa un estudio del ancho de grieta que se produce en el mortero proyectado reforzado con geosintético, en función a cargas perpendiculares al plano del refuerzo, estudio que es importante cuando se trata de diseñar sostenimientos en excavaciones subterráneas.

Se ensayaron discos de 800 mm de diámetro y 75 mm de espesor con distintos tipos de dosificación para el mortero proyectado, variando la relación agua-cemento y árido-cemento de una dosificación principal utilizada en la mina El Teniente, estas mezclas fueron reforzadas con tres tipos de geogrilla y tres tipos de geotextiles. Los discos fueron elaborados en condiciones de laboratorio con el método convencional de vaciado, simulando una proyección por vía húmeda. Las pruebas realizadas fueron 36 discos a flexión simple y 2 cilindros a compresión totalizando 38 ensayos a la edad de 21 días.

La absorción de energía obtenida a partir del estudio experimental realizado a los geosintéticos en estudio, muestra gran similitud con los refuerzos ocupados en la actualidad, siendo la geogrilla el geosintético con mayor capacidad de aumentar la resistencia residual post agrietamiento que tiene el conjunto. Mientras el geotextil tiene mayor capacidad de deformación absorbe menos cantidad de energía.

En consecuencia, es factible utilizar geosintéticos como refuerzo de hormigón proyectado en distintos tipos de sostenimiento, ya que da como resultado un material resistente con propiedades dúctiles. De especial interés es el ahorro económico sustancial que se tiene al usar estos tipos de refuerzo conllevando una mayor seguridad tanto a sus operarios como al medio ambiente.

1. Introducción

1.1 Motivación

El hormigón proyectado, como sistema de sostenimiento en túneles, puede actuar principalmente de 2 formas: como soporte de arco (soporte primario) o como soporte de viga entre pernos (soporte secundario). El soporte de arco trabaja puramente a compresión, mientras que el soporte de viga trabaja a flexión.

El hormigón proyectado, como soporte secundario entre pernos, recibirá cargas orientadas en sentido perpendicular al plano axial, induciendo deformaciones que generarán esfuerzos de tracción, que el hormigón proyectado buscará disipar en forma de fisuras. De no existir un elemento que continúe *transmitiendo los esfuerzos de tracción a través de las fisuras, la formación de estas constituirá el fin de la resistencia del hormigón proyectado* y de continuar aplicando carga en este plano, el colapso será inevitable.

Es así como en la actualidad se han desarrollado distintos refuerzos, como mallas metálicas y fibras de distintos materiales, los cuales permiten transmitir los esfuerzos de tracción a través de las grietas, disipando la energía y preservando la continuidad de la estructura.

En el presente trabajo de título, se estudia el comportamiento mecánico del hormigón proyectado reforzado con 2 tipos de geosintéticos, en base a ensayos de carga puntual sobre paneles circulares. Estos materiales poseen propiedades de adaptación al terreno, economía, rapidez y seguridad de colocación que pueden resultar considerablemente ventajosos, comparado con los materiales de refuerzo usados en la actualidad.

1.2 Planteamiento del problema

El mortero proyectado es un elemento comúnmente usado en los procedimientos de sostenimiento y revestimiento estructural de túneles y taludes. Las enormes ventajas del proceso constructivo del mortero proyectado como un proceso de construcción, han hecho de esta técnica un importante reporte para una gran variedad de trabajos, donde tienen gran relevancia variables como economía, flexibilidad, eficiencia y calidad. Por esto, el importante volumen de obra de estos tiempos y las crecientes exigencias de proyecto de las mismas, han propiciado el desarrollo e implementación de sistemas y productos orientados a mejorar las características del mortero proyectado.

Adicionalmente, la industria minera se ha convertido en un importante usuario de mortero proyectado. Dificultades de acceso y condiciones de instalación extremas son algunos de los problemas propios de la minería subterránea, las que requieren nuevas aplicaciones innovadoras para el mortero proyectado. En pocos años el mortero proyectado ha avanzado de un proceso seco a un proceso húmedo, de chorro fino a flujo denso, de aceleradores alcalinos a aceleradores libres de álcali y en la rapidez de instalación del refuerzo de este mismo [1].

Hace más de diez años entró en el escenario minero en Chile la fibra sintética de refuerzo de hormigón proyectado usado en sostenimiento de túneles, su aplicación ha ido ganando adeptos en un entorno que, hasta hace poco, favorecía el uso exclusivo de materiales de refuerzo metálicos, como la malla y fibra de acero [2].

Dado lo anterior, resulta interesante investigar la factibilidad del uso de geosintéticos, específicamente Geotextiles y Geogrillas, como refuerzo de mortero proyectado, lo cual permitirá mejorar los rendimientos en la construcción.

Es habitual en la actualidad el uso de geosintéticos en geotecnia en otras aplicaciones como: separación, filtración, drenaje y protección, por lo que existe una gran cantidad de información respecto de las propiedades esfuerzo deformación de estos.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Investigar la factibilidad y características mecánicas del uso de Geosintéticos, específicamente Geotextil (no tejido) y Geogrilla (biaxial), como refuerzo de mortero proyectado, mediante ensayos de discos según la norma ASTM C1550-12a, 2012

1.3.2 Específicos

- Comparar la resistencia máxima del mortero proyectado sin refuerzo versus la resistencia del mortero con refuerzo de geosintéticos, manteniendo la misma dosificación para todas las muestras.
- Estudiar la incidencia de distintos tipos de geosintéticos en el comportamiento mecánico del mortero proyectado luego de la aparición de la primera fisura.
- Desarrollar curvas de carga a flexión versus deformación para cada disco de mortero proyectado reforzado con un tipo de geosintético.
- Estimar la energía absorbida por la muestra de mortero proyectado reforzado con geosintético para una deformación establecida.
- Estimar la resistencia máxima del mortero proyectado con refuerzo de geosintéticos.
- Definir recomendaciones sobre el uso de los distintos tipos de Geosintéticos ensayados.

1.4 Alcances del trabajo de título

Se investigará sobre el tema recurriendo a bibliografía actualizada y a profesionales especializados en el tema que puedan brindar información.

La investigación se desarrollará considerando solo tres Geogrillas (Biaxial Geogrid Type 2, Biaxial E'grid 2020 y Biaxial E'grid 3030) y tres Geotextiles (Propex 351, Propex 401, Propex 601).

La confección de los discos de ensayo fue realizada en condiciones óptimas de laboratorio, por lo que la mezcla de mortero no se proyectó, se vació en los discos.

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a lo requerido por la norma ASTM C1550-12a.

1.5 Estructura del Trabajo

Se efectuaron 38 ensayos, de los cuales 36 fueron discos reforzados con 6 tipos de Geosintéticos y 5 tipos de dosificaciones de mezcla de mortero proyectado, los cuales fueron ensayados a flexión. Además se ensayaron 2 cilindros a compresión confeccionados con el tipo de dosificación N° 5.

- *Dosificación N°1 :*
Relación agua/cemento: 0,5
Relación árido/cemento: 3,33
 - Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 Tensar colocado a media altura del disco.
 - Disco sin refuerzo

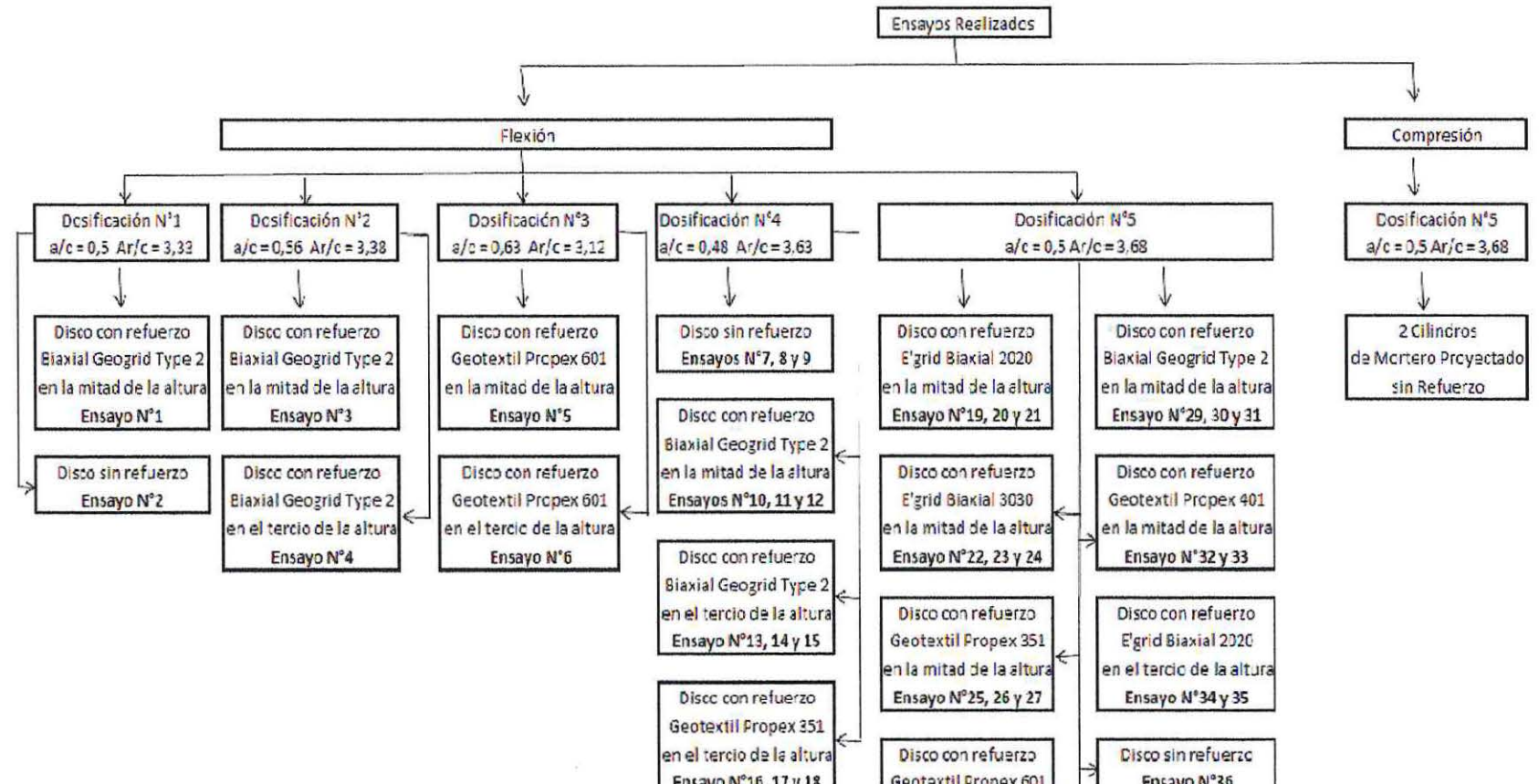
- *Dosificación N°2 :*
Relación agua/cemento: 0,56
Relación árido/cemento: 3,38
 - Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 Tensar colocado a media altura del disco.
 - Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 Tensar colocado a un tercio de la altura del disco.

- *Dosificación N°3 :*
Relación agua/cemento: 0,63
Relación árido/cemento: 3,12
 - Disco reforzado con Geotextil Propex 601 colocado a media altura del disco.
 - Disco reforzado con Geotextil Propex 601 colocado a un tercio de la altura del disco.

- *Dosificación N°4 :*
Relación agua/cemento: 0,48
Relación árido/cemento: 3,63
 - Tres discos sin refuerzo.
 - Tres discos reforzados con Biaxial Geogrid Type 2 Tensar colocado a media altura del disco.
 - Tres discos reforzados con Biaxial Geogrid Type 2 Tensar colocado a un tercio de la altura del disco.
 - Tres discos reforzados con Geotextil Propex 351 colocado a media altura del disco.

- *Dosificación N°5 :*
Relación agua/cemento: 0,5
Relación árido/cemento: 3,68
 - Un disco sin refuerzo.
 - Tres discos reforzados con E'grid Biaxial 2020 colocado a media altura del disco.
 - Tres discos reforzados con E'grid Biaxial 3030 colocado a media altura del disco.
 - Tres discos reforzados con Geotextil Propex 351 colocado a media altura del disco.
 - Tres discos reforzados con Biaxial Geogrid Type 2 Tensar colocado a media altura del disco.
 - Dos discos reforzados con Geotextil Propex 401 colocado a media altura del disco.
 - Dos discos reforzados con E'grid Biaxial 2020 colocado a un tercio de la altura del disco.
 - Disco reforzados con Geotextil Propex 601 colocado a media altura del disco.
 - *Dos cilindros de mortero proyectado sin refuerzo.*

1.5.1 Diagrama de la Estructura del Trabajo



2. Antecedentes

2.1 Mortero Projectado

2.1.1 Definición

La Federación Europea de Asociaciones Nacionales que representan al concreto, o según sus siglas en inglés (EFNARC) define al hormigón proyectado como una “mezcla de cemento, agregados y agua, proyectado neumáticamente desde una boquilla a una superficie para producir una masa densa y homogénea. El hormigón proyectado normalmente incorpora aditivos y también puede incluir adiciones de mallas y fibras o una combinación de estos” [3].

Por su parte, el Comité 506 del ACI “Guía al *shotcrete*” en su acápite 1.4 define al *shotcrete* como un “mortero u hormigón neumáticamente proyectado a alta velocidad sobre una superficie” [4]. Dependiendo del tamaño máximo del árido de la mezcla, se habla de mortero proyectado hasta 10 mm y de hormigón proyectado entre 10 y 25 mm. De acuerdo a esta clasificación, en esta investigación se trabajará con mortero.

2.1.2 Historia

Durante los últimos 100 años, en todo el mundo, se ha empleado con éxito el Mortero Projectado; llamado también indistintamente con los nombres de mortero soplado con aire, hormigón rociado, mortero aplicado neumáticamente, hormigón disparado; también con los nombres de marcas registradas como “*Gunitite*” (1910) y “*Jetcrete*”. Alrededor de 1930 el término genérico “*Shotcrete*” fue introducido por la *American Railway Engineering Association* para describir el proceso de “*Gunitite*” [5]. En 1951 el *American Concrete Institute* adopta el término “*Shotcrete*” para describir este proceso el cual es actualmente ampliamente reconocido en los Estados Unidos; en una amplia gama de trabajos de superficie o subterráneos. Ya que en 1911, George Rice, Ingeniero Jefe del Departamento de Minas de Piltsburgh, descubrió algunas de las cualidades de las mezclas de arena y cemento, a las que se añadía el agua en la boquilla de salida, colocadas mediante aire a presión, él tiene el merito de haber ejecutado la primera aplicación práctica, en excavaciones subterráneas, de gunita en 1914, en la mina experimental de Brucetown (Mahar et al., 1975). Durante las guerras mundiales, el mortero proyectado fue ampliamente usado en las minas norteamericanas, y también se empezó a emplear en excavaciones asociadas a obras civiles, cual el caso del Túnel San Jacinto, en California.

En Europa en 1911 el mortero proyectado fue usado exitosamente en túneles y como elemento de reparaciones en excavaciones que presentaban superficies deterioradas. Similares aplicaciones se hicieron para proteger superficies de roca, para prevenir filtraciones y formación de hielo.

La razón por la que se uso mortero proyectado fue que la aplicación mecánica resultaba ser más rápida y eficiente desde el punto de vista económico, ya que se incurría en un ahorro importante de mano de obra, además se consideraron las ventajas estructurales como soporte temporal, ya que podía ser rápidamente aplicado después de la excavación.

A partir de los años 60, y debido al desarrollo en Europa (después de la segunda Guerra Mundial) de equipos para la proyección neumática de hormigón con áridos de hasta 25mm, el empleo de *Shotcrete* en Norteamérica tuvo un auge, especialmente al comenzar el desarrollo de los llamados 'sistemas flexibles de sostenimiento' para excavaciones subterráneas, los que incluyen el empleo de pernos de anclaje, malla metálica y *Shotcrete*. Este atraso de la práctica norteamericana (años 60) respecto a la práctica europea (años 50) en la utilización del shotcrete como elemento integral de los sistemas de sostenimiento de excavaciones subterráneas, se debió en gran parte a la fuerte influencia que tenía la industria del acero en norteamérica; ya que los sistemas de soporte en base a *Shotcrete* reemplazaban a los sistemas de soporte a base de cerchas metálicas.

La década de 1980 fue testigo de desarrollo y cambios muy interesantes e intensos en la técnica del hormigón proyectado en muchos países. La fundación de Ingeniería de los Estados Unidos dió una conferencia en Paipa, Colombia, en 1982, en donde todos los documentos estaban relacionados con la técnica de mezcla seca tradicional, y sólo un documento trataba de hormigón proyectado con refuerzo de fibra (King 1985). Sin embargo, en ese momento la técnica de mezcla húmeda del hormigón proyectado reforzado con fibra de acero (SFRR) se estaba introduciendo en algunos países, mientras que en Noruega el método ya había logrado dominio total (Garshol 1992). En Noruega y Suecia, animadas discusiones se llevaron a cabo sobre los aspectos de la calidad y los efectos ambientales de la vía húmeda en comparación con el método de mezclado en seco. Una gran ventaja de la técnica de mezcla húmeda fue la disminución de la formación de polvo, sin embargo, la resistencia final era menor que la que podía obtenerse con el método en seco. El argumento en contra es que la mayor fuerza posible, no era necesariamente el objetivo final, y otros aspectos se convirtieron en decisivo en la elección del mejor método.

Aunque el problema sigue sin resolverse a través del debate, al final se resolvió mediante la experiencia. Los noruegos, que son excavadores activos (como lo demuestra el hecho de que más de 100 km de túneles se construyen cada año en un país de cuatro millones de personas) tienden a tener una visión pragmática de la materia. En poco tiempo, cambiaron a la técnica húmeda altamente productiva, que también constituye una buena base para el desarrollo y el uso de refuerzo de fibra.

En la actualidad el hormigón proyectado es un gran aliado para la construcción, debido a que puede ser utilizado en lugar del hormigón convencional, dependiendo de las condiciones y tipo de obra, consiguiéndose economías, al reducir los costos de moldajes y hacer uso de plantas portátiles pequeñas para el mezclado y colocación.

2.1.3 Métodos de Aplicación

Como se mencionaba anteriormente la tecnología del hormigón proyectado se ha desarrollado con dos métodos de aplicación diferentes, cada uno con su propia línea de equipos, y procedimientos de fabricación y colocación: proyección por vía húmeda y proyección por vía seca;

Proceso de Mezcla Seca:

Es aquel en el cual los materiales cementicios y los agregados son dosificados y mezclados en una máquina fabricada para tal efecto, donde la mezcla es presurizada mediante aire comprimido y conducida a través de mangueras hasta una boquilla de proyección. Allí, se agrega el agua para hidratarla y lanzarla continuamente sobre una superficie.

Proceso de Mezcla Húmeda:

Se caracteriza por dosificar y mezclar conjuntamente los materiales cementicios, los agregados y el agua. Luego la mezcla es introducida en un equipo adecuado que la conduce a una boquilla y es neumáticamente proyectada.

Hasta hace algunos años el método más utilizado era el de proyección por vía seca, pero hoy en día la tendencia ha cambiado. El método por vía húmeda ofrece un mejor ambiente de trabajo, mayor calidad, uniformidad y producción.

Ambas técnicas tienen sus ventajas y desventajas, y la selección de una u otra metodología dependerán de los requisitos del proyecto, de la disponibilidad del equipamiento correspondiente y del personal encargado de ejecutarla.

Tabla 2.1- Comparación entre métodos por vía seca y por vía húmeda.

Método por vía seca	Método por vía húmeda
Control instantáneo sobre el agua de mezclado y la consistencia de la mezcla en la boquilla para adecuarse a condiciones de campo variables.	El agua de mezclado es controlada por el equipo dosificador y puede ser medida con precisión.
Más adecuado para mortigones con agregados livianos, materiales refractarios y requerimientos de resistencia temprana.	Mayor seguridad de que el agua está completamente mezclada con los otros materiales.
Capaz de ser transportado por largas distancias.	Menor polvo y pérdida de cemento durante la aplicación.
Las características al comienzo y al final de la colocación son comparativamente mejores con desperdicio mínimo y mayor flexibilidad en la colocación.	Normalmente tiene menor rebote resultando en menos material desperdiciado.
Capaz de producir mayores resistencias.	Se puede obtener mayor producción.

Ref.: [4].

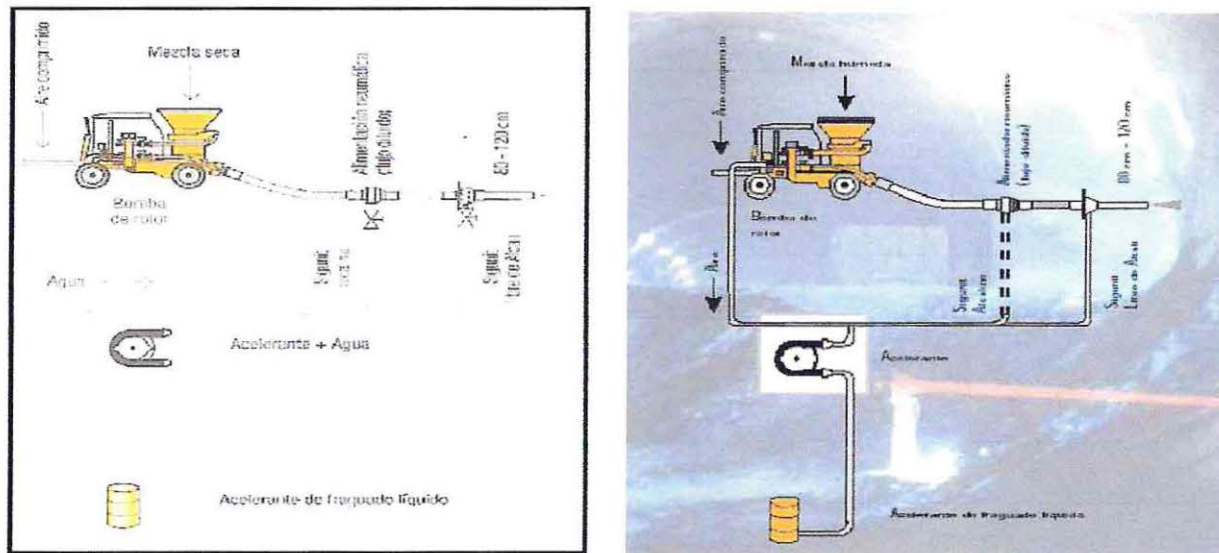


Figura 2.1- Secuencia de aplicación vía seca y vía húmeda [4].

2.1.4 Aplicaciones del Mortero Proyectado en Problemas Geotécnicos

Dentro de los principales usos del mortero proyectado en la Ingeniería Geotécnica, se puede mencionar:

(a) Como sostenimiento Temporal/Permanente

Algunas configuraciones que puede conformar un sistema de sostenimiento con mortero proyectado son:

- Sólo el mortero proyectado
- Mortero proyectado con malla de acero y pernos de anclaje
- Mortero proyectado reforzado con fibras poliméricas o de acero

(b) Como Prevención de Filtraciones

(c) Como recubrimiento de Terrenos Erosionables.

(d) Capas de Soporte para detención de agua

(e) Como Drenaje

(f) Reparación y Construcción

(g) Protección de taludes

2.1.5 Mecanismo de funcionamiento del Mortero Proyectado

El Mortero proyectado trabaja de la misma manera que el hormigón convencional ya que soporta esfuerzos debido a flexión, empuje y corte. La diferencia en la tecnología del material (tensiones relativamente bajas y menor peso unitario comparado con el hormigón convencional) no tiene efectos en el mecanismo básico, es decir, no afecta la combinación de esfuerzos de corte y tracción.

Es usualmente más rápido el tiempo de colocación e incremento de resistencia del mortero proyectado en aplicaciones a paredes verticales, inclinadas o superficies de estructuras que están en voladizo, cuando se usan aceleradores. En tales aplicaciones es necesario que el mortero proyectado se adhiera a alguna estructura existente y que sea reforzada por elementos de acero, lo cual genera un mecanismo que resiste la combinación de esfuerzos de corte y tracción.

El mortero proyectado interactuando con el terreno envuelve varios mecanismos que son poco comunes en comparación con el hormigón convencional.

Los mecanismos se mencionan a continuación:

- El mortero proyectado se adhiere al terreno por medio de una combinación de esfuerzos de corte y tracción.
- El mortero proyectado rellena irregularidades (fracturas y juntas) en el terreno adyacente a la superficie de aplicación. Esto permite una transmisión de esfuerzos de compresión, tracción y corte en esa zona del terreno.
- Las dos características –adherencia y relleno- conducen a que exista una interacción entre el mortero proyectado y terreno. Por lo tanto, es posible transmitir tensiones de corte y tracción. El mortero proyectado y terreno adyacente conforman un conjunto, como una sola estructura (se debe señalar que aunque esta característica del terreno-mortero proyectado es particularmente importante en roca, es también aplicada a ciertos suelos blandos debido a que el impacto del mortero proyectado con el terreno puede provocar cierto grado de interacción).
- Ocurre con frecuencia que partes del terreno (bloques de roca individuales y zonas plásticas) se mueven o se deforman y provocan cortes a través del mortero proyectado.

2.1.6 Mortero proyectado como sistema de sostenimiento en túneles.

El diseño de estructuras de soporte de túneles es un campo sumamente especializado y diferente al diseño de otras estructuras civiles. Es necesario que se adapte a diversas situaciones como las siguientes:

- Conocimiento limitado de las características y propiedades de los materiales involucrados.
- El sustrato puede ser muy variable, incluso en distancias muy cortas.
- Existen limitaciones en la información proporcionada por las investigaciones geotécnicas, los parámetros de los materiales del sustrato ensayados y los métodos de cálculo y de elaboración de modelos.
- El comportamiento de las secciones excavadas depende del tiempo y de los cambios en las condiciones de la napa freática [11].

Existen diversas metodologías para el diseño de estructuras de soporte de túneles. En las últimas décadas numerosos proyectos se han realizado mediante el método observacional.

Este se basa en los siguientes elementos:

- El soporte debe definirse para las condiciones esperadas, es decir como un pronóstico del soporte. En este diseño se puede utilizar cualquier método empírico y de cálculo que se considere útil y necesario.
- Al concluir la excavación y la instalación del soporte, debe llevarse a cabo una verificación del pronóstico mediante la inspección visual, control de deformaciones, esfuerzos, cargas, presión de agua y cualquier otro medio considerado necesario. Es posible que se requiera ajustar el soporte o agregar refuerzos locales.
- El pronóstico deberá actualizarse basándose en la retroalimentación de datos de pasos previos, y de esta manera realizar los ajustes del diseño.

El método observacional tiene la ventaja de que la masa del sustrato funciona como un “laboratorio a gran escala”, en donde participan y se consideran parámetros conocidos y desconocidos. Este método facilita flexibilidad de trabajo, una acción inmediata cuando se requiera y un soporte adaptado a las condiciones reales encontradas, todo lo cual lleva a soluciones más equilibradas y menos costosas [11].

2.1.6.1 Conceptos básicos de túneles.

La excavación de un túnel propicia cambios en el campo de esfuerzos que rodea la abertura. Si los esfuerzos son lo suficientemente elevados o si la roca es relativamente débil, el sustrato circundante se desplazará lentamente hacia el espacio excavado además de producirse un efecto de relajamiento elástico. Esta deformación radial interna puede ser controlada mediante medidas de soporte, o puede continuar hasta provocar el colapso de una zona rocosa fracturada en el túnel.

La Figura 2.2 muestra un gráfico de reacción del suelo, consistente en una curva idealizada de carga-deformación que describe la deformación radial según la presión del soporte. La curva de reacción del suelo expresa, en un punto dado, la presión de soporte necesaria para balancear la carga e impedir deformaciones adicionales. En la zona elástica, la carga disminuye cuando se permite la deformación. En una situación de esfuerzos bajos la línea recta elástica podría continuar hasta carga cero, como muestra la línea N°1. En este caso no se necesitaría colocar un soporte. A un nivel de esfuerzos ligeramente mayor, se desarrollaría una zona plástica delgada, indicada por la línea N°2. Si el nivel de esfuerzos es alto, la roca está sobrecargada y se forma una zona plástica inestable (línea N°3). La razón del aumento de carga es debido al peso del material fracturado en la zona plástica de la clave del túnel. Los elementos de soporte se cargarán por la deformación de la roca según una curva de respuesta dada. En la figura se ilustra la instalación de un soporte luego de ocurrida una cierta deformación inicial. El punto de intersección entre las curvas de reacción del suelo y del soporte define la carga de soporte final y la deformación total de la roca. El diagrama demuestra la interacción entre la roca y los elementos de soporte. Es importante instalar estos elementos en el momento adecuado, con suficiente capacidad de carga y con la rigidez correcta [11].

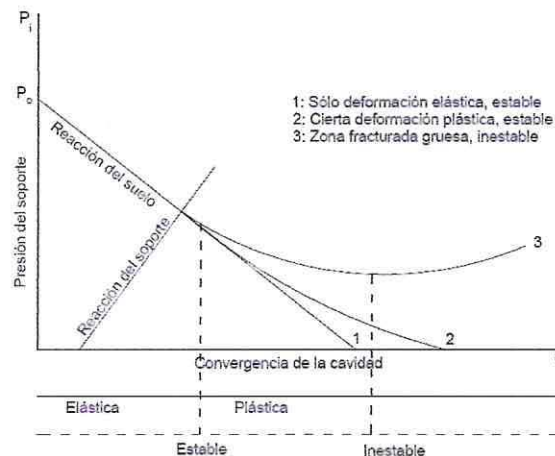


Figura 2.2- Curva de reacción del suelo [11].

La figura 2.3 muestra algunas características de soporte que ilustran los principios antes mencionados. Un soporte fuerte y rígido podría estar sobrecargado, mientras que uno más débil y más dúctil es satisfactorio. También es posible que el soporte rígido funcione adecuadamente si se instala luego de producida una deformación dada. La idea es optimizar el soporte, lo cual significa dejar que el material rocoso soporte tanta carga potencial como sea posible.

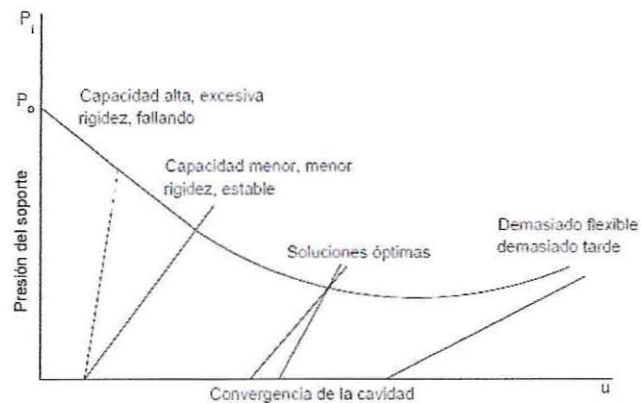


Figura 2.3- Diagrama de reacción del suelo. Ejemplos de diversos tipos de estructuras de soporte [11].

2.1.7 Tipos de refuerzo para el soporte de Mortero Proyectado.

Respecto a los tipos de refuerzo del mortero proyectado mencionadas en el acápite 2.1.2, se puede señalar lo siguiente:

1. En general, un sistema de sostenimiento permanente que considere sólo mortero proyectado, es aplicable en macizos rocosos cuya calidad geotécnica es buena, muy buena o excelente, y donde sólo se desee contener desprendimientos superficiales.
2. Un sostenimiento en base a mortero proyectado, malla de acero y pernos de anclaje es aplicable en situaciones en las cuales se desea sostener fragmentos de suelo o roca suelta entre los pernos, los cuales trabajan como apoyo primario del sistema de sostenimiento.
3. Un sostenimiento de mortero proyectado reforzado con fibras poliméricas o de acero es un sistema que garantiza mayor homogeneidad y resulta conveniente usarlo donde el sistema mencionado en el punto b) no es adecuado por condiciones del terreno muy irregulares.

Para este trabajo de título es necesario conocer el comportamiento de los distintos tipos de refuerzo del mortero proyectado que se usan en la actualidad, por lo tanto a continuación se hace una breve descripción y acotación al comportamiento mecánico de cada refuerzo mencionado en los puntos 2 y 3 del párrafo anterior.

2.1.7.1 Mallas de Acero.

Como armaduras se suelen utilizar mallas galvanizadas electrosoldadas, con o sin cerchas formadas por barras convencionales soldadas. Cuando la estructura no está sujeta a cargas o las mismas son limitadas es recomendable colocar mallas, limitando el desarrollo de fisuras por contracción y por tensiones debidas a gradientes de temperatura. El uso combinado de mallas y barras se emplea cuando las mallas solas no resultan estructuralmente suficientes. Además las barras limitan la deformación del conjunto durante su instalación y la aplicación del hormigón. Se requiere tomar recaudos en la separación y colocación de las armaduras debido a que grandes concentraciones interfieren en la colocación del hormigón, pudiendo provocar la formación de nidos de abejas (efecto sombra). Las barras raramente son utilizadas para hormigones proyectados de espesores menores a 40 mm. El recubrimiento mínimo de las armaduras debe ser determinado de acuerdo con las condiciones ambientales de exposición. Las armaduras se deben colocar firmemente en su posición mediante anclajes para evitar su movimiento o deformación y deben ser removidos el laminillo suelto, óxido, aceite, barro u otras coberturas que puedan disminuir su adherencia con el hormigón [4].

Se observa en la siguiente tabla, una referencia de precios de mallas ACMA al día 11 de Noviembre del 2013 en el mercado.

Tabla 2.2- Precios de Mallas de Acero

Refuerzo	Precio (US\$/m ²)
Malla Acma C-139	3,2
Malla Acma C-92	2,1
Malla Minera 75-09	3,7
Malla Minera 100-06	3,9

Ref: RGM Alambres y Mallas

2.1.7.2 Fibras de acero y polipropileno.

En la década de 1970 las fibras de acero empezaron a proponerse como una nueva técnica para reforzar el hormigón proyectado. El objetivo más obvio de este desarrollo fue y seguirá siendo eliminar la aplicación manual y el consumo de tiempo al usar la malla de acero.

La técnica de hormigón proyectado reforzado con fibra es bien conocida. La producción de este tipo de hormigón proyectado esta mejor posicionada en soporte para túneles, ya que tiene mejor adaptación al diseño del terreno.

Las fibras de acero, distribuidas uniformemente en la matriz, dan como resultado un material resistente y dúctil. Para garantizar la calidad anticipada a un costo razonable, es importante que no haya una sobre representación de fibras. Por lo tanto es importantísimo controlar el contenido de fibra para que el soporte sea lo más óptimo posible tanto en calidad como en economía [1].

Las fibras de polipropileno se han utilizado hace algunos años para evitar las grietas por contracción del hormigón fresco, se pueden utilizar a altas velocidades para mejorar las propiedades de resistencia de hormigones endurecidos [13].

Se observa en la siguiente tabla, una referencia de precios de fibras de acero y polipropileno al día 11 de Noviembre del 2013 en el mercado.

Tabla 2.3- Precios de Fibras de Acero y Polipropileno

Refuerzo	Precio (US\$/m ²) + IVA
Sika® Fiber CHO 65-35 NB (Fibra de Acero)	4,5
Sika® Fiber LHO 45-35 NB (Fibra de Acero)	5,5
Sika® Fiber Enduro (Fibra de Polipropileno)	16,4
Sika® Fiber MS (Fibra de Polipropileno)	14,6

Ref: Sika S.A Chile

2.1.8 Antecedentes sobre estudios a refuerzos usados en la actualidad.

Estudios hechos por distintos autores nos representan el comportamiento mecánico de distintos tipos de refuerzos.

En un estudio realizado por *O. Cengiz, L. Turanli* [12], el cual trata sobre la comparación de la malla de acero con fibras de acero y polipropileno, se presentan los resultados de tenacidad flexional de ensayos hechos en paneles *EFNARC* actualmente adoptado por la norma europea EN 14488-5. Se debe considerar que los ensayos fueron realizados con un hormigón proyectado de mejor calidad que el usado en el presente trabajo de título.

Existen dos ensayos sobre placas utilizados en la actualidad: El descrito por la norma ASTM C1550 y el propuesto por el *EFNARC*, los cuales tienen el mismo objetivo de entregar la tenacidad flexional expresada como energía absorbida para una cierta deformación central. El motivo de uso de un panel redondo con tres puntos de apoyo se basa en la buena repetitividad observada en laboratorio y en experiencias de campo [3]. Estudios realizados por Bernard (2002) demuestran que existe una correlación fuertemente lineal ($r^2=0,90$) en la absorción de energía entre los paneles descritos por la norma ASTM C-1550-12a y los paneles *EFNARC*. La linealidad de esta relación indica que el comportamiento de ambos ensayos es en gran medida intercambiable. El factor de conversión es: 1000 julios de absorción de energía a 25 mm de deflexión en el panel *EFNARC* es equivalente a 400 julios de absorción de energía a 40 mm de deflexión en los paneles de la norma usada en este trabajo de título.

Por lo tanto se puede hacer una comparación entre resultados de los dos métodos de ensayo. Mediante el estudio citado anteriormente se observa lo siguiente:

- Paneles con malla de acero (diámetro: 8mm; separación: 15mm; y peso: 23,5Kg/m³) alcanzaron una energía de 700 (J) a una deformación de 8mm y superó los 1000 (J) entre los 17 y 25 mm, llegando a 1308 (J) a los 25 mm, los que equivalen a 523 (J) a los 40mm de deflexión central en los paneles RDP.
- Paneles con fibras de acero (50 Kg/m³; L: 30 mm; diámetro: 0,6 mm) alcanzaron una energía de 500 (J) a una deformación de 8mm y superaron los 700 (J) entre los 15 y 25 mm, llegando a 846 (J) a los 25 mm, los que equivalen a 338 (J) a los 40mm de deflexión central en los paneles RDP
- Paneles con fibras de acero (35 Kg/m³; L: 30 mm; diámetro: 0,6 mm) alcanzo una energía de 500 (J) a una deformación de 13 mm y superó los 700 (J), llegando a 664 (J) a los 25 mm, los que equivalen a 265.6 (J) a los 40mm de deflexión central en los paneles RDP

- Paneles con fibras de polipropileno (7 Kg/m³; L: 30 mm; diámetro: 0,9 mm) alcanzo una energía de 500 (J) a una deformación de 12 mm y superó los 700 (J) entre los 23 y 25 mm, llegando a 716 (J) a los 25 mm, los que equivalen a 286 (J) a los 40mm de deflexión central en los paneles RDP.
- Paneles con fibras de polipropileno (10 Kg/m³; L: 30 mm; diámetro: 0,9 mm) alcanzo una energía de 500 (J) a una deformación de 14 mm y superó los 700 (J) entre los 21 y 25 mm, llegando a 751 (J) a los 25 mm, los que equivalen a 300 (J) a los 40mm de deflexión central en los paneles RDP.
- Paneles con una combinación de fibras de polipropileno y acero (5 Kg/m³ y 30 Kg/m³) alcanzo una energía de 500 (J) a una deformación de 10 mm y superó los 700 (J) entre los 15 y 25 mm, llegando a 965 (J) a los 25 mm, los que equivalen a 386 (J) a los 40mm de deflexión central en los paneles RDP.
- La energía absorbida de un panel sin refuerzo alcanzo solamente 170 (J) [12], los que equivalen a 42,5 (J) en los paneles RDP.
-

Por lo tanto se concluye que la resistencia residual de los paneles reforzados está entre los 600% y 1200% mayor que los sin refuerzo.

Existe un criterio de evaluación de la resistencia de un material compuesto mediante la absorción de energía de estos que describe la EFNARC, con la cual también podemos comparar nuestros resultados (véase figura 4).

Energy absorption requirements according to EFNARC

Toughness class	Energy absorption for deflection up to 25 mm (J)
a	500
b	700
c	1000

Figura 2.4- Energía Absorbida requerida, acordada por la EFNARC

Otro estudio hecho por los autores *LA Martin, JB Seymour, CC Clark, MA Stepan, RT Pakalnis, M Roworth, C Caceres* [13], nos da a conocer resultados de discos reforzados con fibra de acero y polipropileno ensayados por la norma ASTM C1550, los cuales los compara con capacidades de carga que tienen distintos tipos de mallas de acero.

Los resultados de este estudio se enumeran a continuación, se debe considerar que estos ensayos están hechos con un hormigón de mucha mejor calidad que el usado para el presente trabajo de título. Considerando también que se extrapolaron los datos de dicho estudio para obtener resultados requeridos.

- Para las fibras de acero SCAP-T100 (21 días de curado):

Tabla 2.4- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (KN) Carga Residual (KN), Absorción de Energía (J) (hasta los 40 mm) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Estudio de Fibra SCA-PT100[13].

SCA-PT100		
Carga maxima KN	18,13	
Energia absorbida (J)	155	
Deformacion mm	Carga residual KN	Ancho de Grieta mm
10	5,55	1,87
20	3,47	4,51
30	2,05	6,95
40	1,19	10,5

- Para las fibras de acero SCAPF (21 días de curado):

Tabla 2.5- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (KN) Carga Residual (KN), Absorción de Energía (J) (hasta los 40mm) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Estudio de Fibra SCAPF[13].

SCAPF		
Carga maxima KN	18,9	
Energia absorbida (J)	77	
Deformacion mm	Carga residual KN	Ancho de Grieta mm
10	2,3	2,63
20	1,53	5,93
30	0,86	9,31
40	0,57	13,3

- Para las mallas de acero:

Tabla 2.6- Cargas admisibles en mallas de alambres [13].

Screen - bag strength 4 ft by 4 ft pattern		
Item	Gauge	Bag strength, tonnes
4 x 4-in welded wire mesh	4	3.6
4 x 4-in welded wire mesh	6	3.3
4 x 4-in welded wire mesh	9	1.9
4 x 2-in welded wire mesh	12	1.4
2-in chain link	11 - bare metal	2.9
2-in chain link	11 - galvanized	1.7
2-in chain link	9 - bare metal	3.7
2-in chain link	9 - galvanized	3.2

4 gauge = 0.23-in diam, 6 gauge = 0.20-in diam,
 9 gauge = 0.16-in diam, 11 gauge = 0.125-in diam,
 12 gauge = 0.11-in diam
 Shotcrete shear strength = 2 MPa = 200 tonnes/m²

- Para los discos sin refuerzo: Se obtuvo una energía de 30 (J).

Por lo que se concluye que el aumento de resistencia residual para cada tipo de refuerzo fue de un: 500 % para el refuerzo de fibra de acero, 250% en fibras de polipropileno.

Otro estudio hecho por la empresa *Basf* [14], nos da a conocer resultados de un ensayo de resistencia a flexión usando Paneles Redondos de mortero proyectado reforzado con MASTERFIBER 50PS (9Kg/m³).

El Refuerzo en estudio es una fibra 100 % de copolímero virgen de alta tenacidad, es una fibra extraída de material en base a mezcla de olefinas. La fibra es de tipo monofilamento, no fibrilada, totalmente orientada, formando un perfil que permite anclarlo a la matriz cementicia produciendo un hormigón de alto desempeño.

DATOS TECNICOS

Propiedad	Valor
Área nominal (mm ²)	0.75
Temperatura de fusión (°C)	150 - 170
Densidad (g/cm ³)	0.91
Longitud de fibra (mm)	54
Resistencia a la tracción, (Mpa)	685 - 758
Máxima elongación, (%)	24.4
Resistencia a ácidos/sales	Alta
Resistencia a álcalis	100 %
EFNARC Plate test (Joules)	1450 @ 9 kg/m ³
ASTM C1550 -03d	580 @ 9 kg/m ³

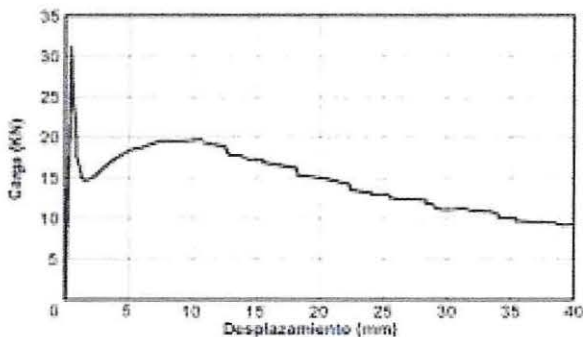


Figura 2.5- Ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Reforzado usando Paneles Redondos (9 kg/m³ MASTERFIBER 50PS, ASTM C1550-03a) [14].

El estudio concluyó que la resistencia residual del disco de hormigón proyectado con fibra Masterfiber alcanzo los 580 (J) a los 40 mm de deformación.

Al igual que en todos los estudios fue necesario obtener la energía absorbida por el disco sin refuerzo, la cual fue de 31 (J).

Se concluye que para este tipo de fibra la resistencia residual del conjunto aumenta en un 1870%.

2.2 Geosintéticos

Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos mezclados con fibras naturales, las cuales poseen propiedades Físico-Mecánicas e Hidráulicas, que hacen que su utilización sea apropiada en diferentes obras civiles.

Otra definición proporcionada por la ASTM D - 4439-97: Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos usados en suelos, roca, tierra y otros materiales geotécnicos similares, como una parte integral de proyectos de ingeniería civil, estructuras u otras construcciones elaboradas por el hombre.

Un nuevo concepto en lo que se refiere a materiales usados en ingeniería se ha estado desarrollando desde hace algunos años, los cuales se han utilizado en áreas específicas con bastante frecuencia. Las razones de esto son las siguientes:

- Pueden ser instalados en forma rápida.
- Reemplazan a otros materiales.
- Solucionan problemas de diseño que se producen al usar otros materiales convencionales.
- Su vida útil es apropiada para aplicaciones específicas.

Los grupos profesionales más influenciados son los que están relacionados con el área de la geotecnia y construcción, de ahí que el prefijo "geo" sea el apropiado. En cuanto a los materiales usados para la producción están principalmente los plásticos (sintéticos), caucho, fibra de vidrio y otros materiales de procedencia natural.

A través del tiempo se ha intentado reforzar suelos con diversos materiales con el propósito de mejorar el comportamiento del suelo mismo. El concepto de refuerzo en suelos blandos o de baja resistencia ha continuado hasta nuestros días. El primer uso de materiales fabricados con fibra natural para reforzar caminos fue hecho por el *South Carolina Highway Department* en 1962 (Koerner, R.M. 1986). Ellos usaron una tela de algodón pesado como base sobre el terreno, luego aplicaron asfalto caliente y cubrieron con una fina capa de arena. Hasta que la tela se deterioró, los resultados mostraron que los caminos estaban en buenas condiciones, que la tela reducía las grietas y se podían localizar las fallas. Este proyecto fue el precursor del uso de refuerzos en función de materiales geosintéticos.

2.2.1 Descripción básica de los Geosintéticos

Los geosintéticos en los cuales fijaremos nuestra atención son los siguientes:

- Geotextiles
- Geogrillas

Geotextiles

Llamamos geotextil al material textil plano, permeable, de apreciable deformabilidad, formado por fibras poliméricas termoplásticas de diversos orígenes, entre las más utilizadas podemos mencionar a las poliolefinas, poliésteres y poliuretanos. Los geotextiles se clasifican en dos grandes grupos: tejidos y no tejidos; los primeros están formados por dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos u otros elementos entrecruzados perpendicularmente entre sí, formando estructuras bidimensionales; los segundos están constituidos por filamentos repartidos aleatoriamente cuya cohesión, está asegurada por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos.

Los geotextiles fueron los primeros en ser usados para controlar la erosión y se intentó usar como alternativa de filtros de suelos granulares.

En Francia (1960), Rhone-Poulenc Textiles según Koerner R.M. 1986 comenzaron trabajando con tejidos cuya trama no tenía un orden determinado. Pusieron énfasis en su uso para refuerzos en pavimentos, bajo el agregado grueso de vías de ferrocarril, en terraplenes y presas de tierra.

La primera función en mucha de estas aplicaciones fue la separar y/o reforzar. Adicionalmente crearon un fieltro grueso que permitía el paso de un flujo de agua a través de su estructura (actuaban como drenes). Tales usos como disipadores de presiones de agua e interceptores de flujos verticales y horizontales son una función particular de estos materiales.

Usos corrientes:

Su uso se divide de la siguiente manera:

- Separación
- Refuerzo
- Filtración
- Drenaje
- Barrera de humedad

Geogrillas

Las geogrillas representan una pequeña área de los geosintéticos, pero con un alto grado de desarrollo.

Las geogrillas son plásticos con una configuración abierta (como una malla). Comúnmente están tensadas en una o dos de sus direcciones para mejorar las propiedades físicas.

Estos materiales tienen muy buenas características para su uso como refuerzo (Alto modulo de elasticidad y alta resistencia). El lograr un alto módulo de elasticidad en los polímeros mejora la posibilidad que tales materiales puedan ser usados como refuerzo de un gran número de construcciones incluyendo el suelo.

Usos corrientes:

Las geogrillas, que resultan de una serie de procesos antes mencionados, tienen relativamente alta resistencia, alto modulo de elasticidad, baja deformación en función del tiempo y una geometría similar a la de una malla de acero cuya separación entre fibras varía de 12-50 mm (la forma de estos espacios son las de *elipses elongadas o rectángulos con esquinas redondeadas*). Sin embargo las geogrillas tienen una ventaja adicional sobre la malla metálica: no necesitan anclarse inmediatamente al muro ya que, debido a su flexibilidad y poco peso, pueden colocarse usando pernos muy cortos (tipo *hilti*). Esto es muy ventajoso para la gente de operaciones, ya que asegura rápidamente el techo de la galería y permite condiciones de trabajo mucho más seguras durante la colocación de los pernos de anclaje propiamente tales (requeridos no para sujetar la malla, si no que para reforzar el macizo rocoso)

Aplicaciones y usos de Geogrillas

- Bajo el agregado grueso en caminos sin pavimento
- Refuerzo de terraplenes y presas de tierra
- Para construir gaviones.
- Como refuerzo en pavimento de asfalto

2.2.2 Aplicaciones

Como Refuerzo

En esta función, el geosintético le entrega al terreno propiedades tales que pueda soportar tracciones, al igual que el acero en el hormigón. En ambos casos, materiales con buena resistencia a la compresión (terreno y hormigón) están combinados con materiales que resisten tracción (geotextil, geogrilla y acero) para construir estructuras con una adecuada resistencia a la tracción y compresión.

Como Separador

El propósito de esta función es evitar la segregación de dos materiales sólidos diferentes. Un ejemplo de esto es la separación de un subsuelo natural y un agregado grueso.

2.2.3 Costos

Los parámetros técnicos a considerar dentro de una evaluación de desempeño para la elección de un determinado material, según la propiedad requerida, deben incluir un análisis del costo de este, ya que constituye un condicionante tanto para la factibilidad de su elaboración como para la elección de otros materiales.

La tabla 32 muestra los precios de los geosintéticos que se usaron en el presente trabajo de título al día 11 de Junio del 2013 en el mercado.

Tabla 2.7- Precios de Geosintéticos

Refuerzo	Precio (US\$/m ²)
Geogrilla Biaxial E'grid 2020	2,1
Geogrilla Biaxial E'grid 3030	2,9
Getotextil Propex 351	0,8
Getotextil Propex 401	0,9
Getotextil Propex 601	1,1

Ref: Geosistemas Ingeniería y Servicios Ltda.

3. Metodología

El ensayo normado ASTM C1550-12a para determinar la tenacidad de mortero reforzado con fibra, es utilizado para replicar las condiciones de carga típicas del mortero proyectado en una mina o túnel. Este ensayo entrega a los ingenieros diseñadores una carga de flexión *peak* en el primer agrietamiento y también una medida de la resistencia residual del mortero reforzado, ya que este sufre una deformación después de la falla inicial.

A continuación se describen los equipos y procedimiento de cálculo que se usan para estudiar el comportamiento mecánico del soporte en estudio.

3.1 Equipos

Máquina de Ensayo: Se utilizará una máquina de ensayo de deformación controlada la cual consiste en un marco de acero con una celda de carga, la cual aplica 10 o 50 Tons de carga dependiendo del ensayo a realizar.

Accesorio de soporte: consiste en tres pivotes puntuales simétricamente dispuestos en una base circular de 750mm de diámetro (véase Fig.3.1 y 3.2)



Figura 3.1- Dispositivo de Soporte (Ref: ASTM C1550-12a)

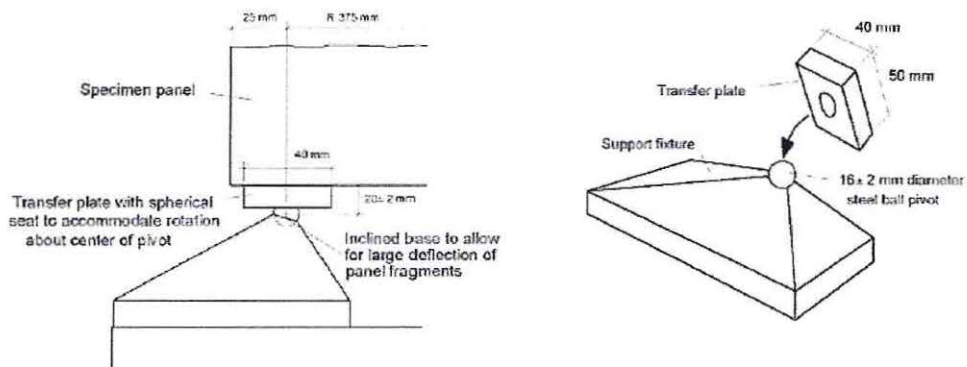


Figura 3.2- Detalle de la placa de transferencia y soporte de pivote (Ref: ASTM C1550-12a)

Equipos de medida de deflexión: Se usan dos diales mecánicos los cuales tienen un error de 0,2 mm más un sensor de deformación con un error de 0,1mm. El movimiento del pistón de carga, relativo al travesañ de la máquina de ensayo, es usado para medir la deflexión por medio de los diales mecánicos y el sensor de deformación. El registro de la deflexión debe ser ajustado para descontar deformaciones causadas por la trituración del hormigón en la vecindad de los puntos de apoyo y el punto de aplicación de fuerza, y distorsiones causadas por la flexibilidad del marco de acero (ver Anexo 4).

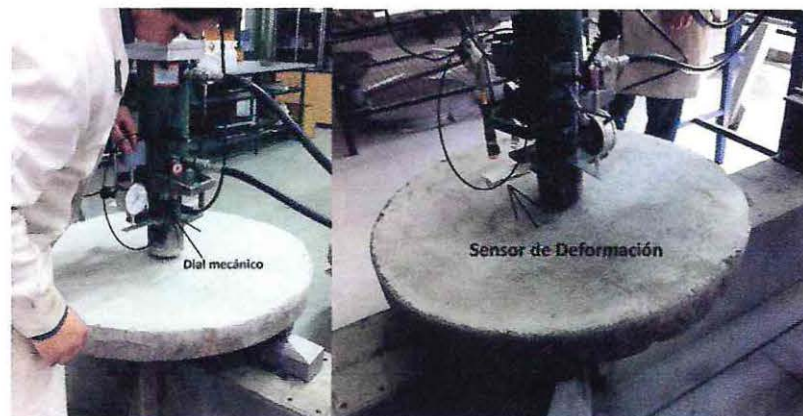


Figura 3.3 Equipos de medición

Sistema de registro de datos: El sistema registra la deflexión impuesta sobre el panel y simultáneamente la carga aplicada por el pistón. El sistema registra deflexiones en incrementos de no más de 0.02mm usando un sistema de registro digital.

La información obtenida del sistema consiste en datos digitales preparados de forma que puedan ser trabajados en un programa de procesamiento de datos (Microsoft Excel). Esta información es el producto final de una cadena de transformadores de datos, los cuales convierten las fuerzas y deformaciones que

ocurren durante los ensayos en información electrónica procesable. Se detalla a continuación la información de entrada y salida por cada uno de los equipos que intervienen en los ensayos:

– Transductores de presión

Entrada: Presión de aceite hidráulico aplicado directamente sobre el dispositivo, mediante entrada directa al interior del anillo del pistón de carga.

Salida: Señal eléctrica (voltaje).

– Transductores de desplazamiento

Entrada: Desplazamiento del sensor en contacto con el pistón de carga.

Salida: Señal eléctrica (voltaje).

– Fuente estabilizadora

Entrada: Voltaje doméstico, corriente alterna 230 voltios, 60 hertz.

Salida: Señal eléctrica libre de variaciones, corriente continua estabilizada para transductores.

– Dispositivo de adquisición de datos (VR18)

Entrada: Señales eléctricas de los transductores.

Salida: Información digital binaria exportada como archivo de datos tabulados compatible con el programa Microsoft Excel.

– Computador

Entrada: Información digital tabulada.

Salida: Información procesada.



Figura 3.4 Sistema de Registro de datos

3.2 Materiales

Mortero Proyectado:

Se utilizaron los siguientes materiales para la mezcla:

- Cemento Especial Polpaico
- Arena Fina
- Aditivo supe plastificante Visconcrete 5100 y Glenium C355
- Agua potable

Geosintéticos:

Los materiales de refuerzo requeridos para el desarrollo del trabajo de título, se obtuvieron mediante empresas distribuidoras de geosintéticos que colaboraron con desbastes, las fichas técnicas de cada geosintético a utilizar se encuentran en el Anexo 3.

3.3 Laboratorio de Pruebas

Las muestras se confeccionaron y ensayaron en el Laboratorio de Sólidos de la Universidad de Chile (MECESUP).

3.4 Fabricación de Muestras

Se confeccionaron discos de 800 mm de diámetro y 75 mm de espesor. La dosificación usada en los ensayos se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.1- Dosificación Mortero ¹

Ítem	Peso (kg)
Cemento (Kg)	425
Arena 0 - 10 mm (Kg)	1540
Agua neta (Lt= Kg)	204
Aditivo	2,55

¹ Dosificación utilizada en proyectados de sostenimiento Mina El Teniente.

El procedimiento realizado para la elaboración del mortero fue el siguiente:

- Mezclar primero el cemento y la arena, hasta lograr una mezcla homogénea.
- Añadir el agua en 4 dosis, cada una correspondiente al 25% del total del agua requerida.
- Añadir lentamente el aditivo, de forma que este no quede concentrado en una sola zona.
- Esperar a que la mezcla este lo suficientemente homogénea.
- Colocar la mezcla en los moldes.
- Se realizó un fraguado de 21 días, tiempo durante el cual los discos estuvieron aislados con un plástico para mantener la humedad, y prolongar así de manera óptima las reacciones de hidratación del cemento.

Los aditivos plastificantes, *Visconcrete 5100* y *Glenium C355*, correspondieron al 1% del peso del cemento.

La cantidad de mortero indicada fue mezclada en un trompo hasta obtener la consistencia deseada. La figura 3.5 muestra el mortero mezclado contenido en el trompo.



Figura 3.5- Confección de muestras

La obtención de las probetas será de acuerdo al acápite 7.1 de la Norma ASTM C 1550-12a, considerando las dimensiones del molde, la forma del vaciado, el curado y la ejecución del ensayo. Se dispondrá de un molde de acero rígido y no absorbente donde se vaciará la mezcla. El molde posee forma circular con dimensiones de $800\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ de diámetro y $75\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ de alto (véase Fig. 3.6). Los moldes son marcados a la altura a la que se dispondrá el geosintético, lo cual será al centro y a un tercio de la altura del molde.

Las muestras se deben tomar con las precauciones necesarias para conseguir que sean verdaderamente representativas del mortero proyectado a ensayar. Se comienza aplicando desmoldante a las superficies interiores a fin de evitar que el espécimen se adhiera al molde y se provoquen daños al mismo durante el desencofrado, se vaciará una primera capa de mortero al fondo del molde, para luego introducir el geosintético a la altura indicada y poder terminar de vaciar la última capa de mortero al molde (véase Fig. 3.7). Una vez colmado el molde, se retirará el hormigón o mortero sobrante dándoles el acabado superficial, antes que el endurecimiento del concreto lo impida.

Previo a cada jornada de vaciado, los moldes son ubicados en lugares óptimos protegidos de la intemperie, bajo un plástico protector durante 21 días, para que puedan adquirir una resistencia lo más representativa.

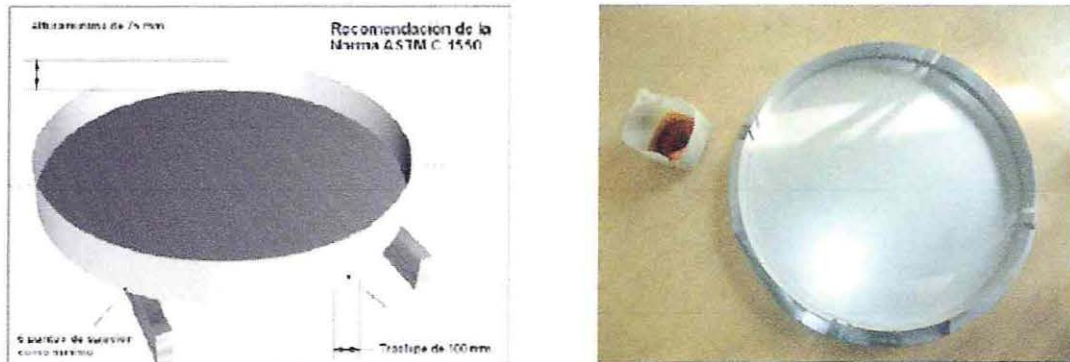


Figura 3.6- Recomendación de las dimensiones del panel por la Norma ASTM C 1550. (Ref: ASTM C1550-12a)



Figura 3.7- Fabricación muestras de mortero proyectado con refuerzo de geogrilla.

Luego de 21 días de fraguado, los paneles se desmoldan y se trasladan para ser colocados manualmente sobre el dispositivo de ensayo.

3.5 Parámetros de registro

De acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM C 1550-12a, cada panel debe ser verificado antes del ensayo a fin de asegurar la uniformidad de las medidas de los testigos a ser ensayados.

Se mide en tres posiciones diferentes el diámetro y el espesor de cada panel, y se determina la desviación estándar de estas medidas, en cumplimiento a lo indicado por la norma indicada. Así mismo el resultado del ensayo de un panel será válido cuando la falla ocurre de acuerdo a lo descrito en la norma; es decir formando al menos tres grietas radiales. De cada testigo se obtendrán los siguientes parámetros:

- Antes del ensayo: Espesor promedio del panel (mm), desviación estándar del espesor, diámetro promedio del panel (mm), desviación estándar del diámetro.
- Después del ensayo: Carga de falla del panel, deflexión de falla del panel (mm), energía total absorbida hasta los 40 mm, energía residual absorbida hasta los 40 mm, tipo de falla observada.

3.6 Procedimiento de Ensayo

- Colocar la muestra confeccionada en el dispositivo de ensayo, sobre los tres puntos de apoyo.
- Centrar el panel con respecto a los soportes y los pistones de carga.
- Medir el diámetro del panel con una precisión de 2mm en tres ubicaciones que coincidan con los soportes y calcule el diámetro promedio. Si el diámetro promedio de la muestra es menor a 790 mm o mayor que 810 mm, descartar la muestra.
- Operar la máquina del ensayo de modo que el pistón avance con una velocidad constante de 4.0 ± 1.0 mm/min hasta un desplazamiento central de al menos 40.0 mm.
- Ajustar el registro carga-deformación sustrayendo deformaciones extrañas asociadas a la flexibilidad de las partes del equipo de ensayo y el aplastamiento del hormigón bajo los puntos de carga y los soportes.
- Contar el número de grietas radiales ocurridas entre el centro y el perímetro. Cualquier grieta de flexión ocurrida en la cara traccionada es contada como una grieta completa siempre que su ancho promedio exceda los 0.5 mm tras la finalización del ensayo y el retiro de la carga. Si no se producen las 3 grietas radiales entre el centro y el perímetro y se presencia una grieta a lo largo de su diámetro, descartar la muestra.
- Remover los fragmentos de la muestra ensayada del equipo, y medir el espesor en tres puntos a lo largo de cada uno de las superficies agrietadas y el centro de modo que los 10 valores resultantes proporcionen una estimación representativa del espesor promedio de la muestra. Medir el espesor con una precisión de 1 mm y calcular el espesor promedio con una precisión de 1 mm. Si el espesor promedio es menor que 70 mm o mayor que 90 mm, descartar la muestra. Calcular la desviación estándar del espesor. Si la desviación estándar del espesor excede los 3.0 mm, descartar la muestra.
- El ensayo del panel se detiene una vez alcanzado el colapso del panel (Véase Fig.3.9).

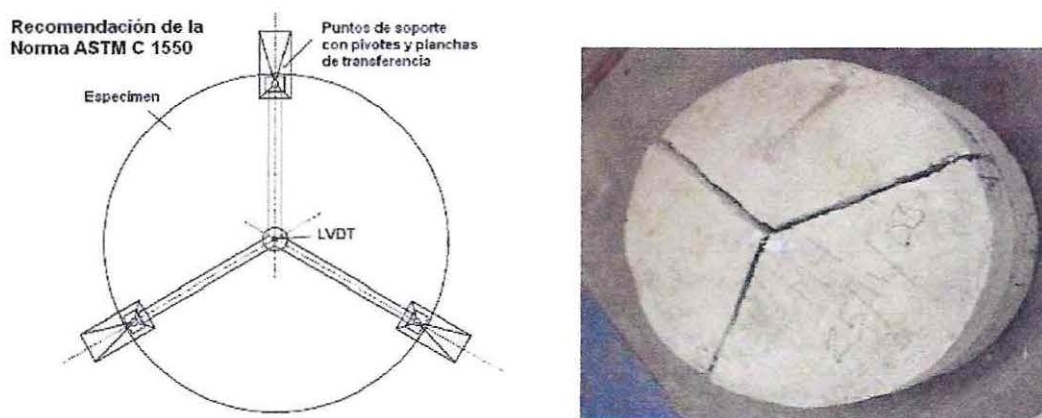


Figura 3.8- Instalación del panel en el dispositivo de ensayo (Ref: ASTM C1550-12a)

3.7 Cálculos

Luego de cada ensayo se obtienen los datos de carga versus deformación hasta que este llegue a la deflexión final especificada.

La curva carga-deformación debe ser ajustada para eliminar deformaciones asociadas a la flexibilidad del equipo de ensayo y deformaciones asociadas a la trituración del mortero en la vecindad de los puntos de apoyo o el punto de carga. Para el primer caso se debe determinar la flexibilidad del equipo para luego descontar su deformación que influye en el registro de datos.

El cálculo de la flexibilidad del equipo de ensayo, se detalla en el Anexo 4 y por su baja influencia en los resultados finales fue despreciada. Las deformaciones asociadas a la trituración del mortero se manifiestan por un pequeño arqueado inicial en la porción elástica de la curva carga-deformación. Para corregir esta anomalía se extrapola la porción elástica de esta curva hasta el eje de las abscisas (véase Fig.3.10), estimando el verdadero origen de la curva. En el presente trabajo no se obtuvieron anomalías en la zona elástica de la curva carga-deformación, por lo que no fue necesaria la corrección asociada a la trituración del concreto.

Al obtener los resultados del ensayo, se identifica la carga máxima medida (P) experimentada por la muestra durante el ensayo. Luego, se corrige la carga máxima por las dimensiones reales de la muestra usando la siguiente ecuación:

$$P = P' \left(\frac{t_0}{t}\right)^2 \left(\frac{d_0}{d}\right) \quad (1)$$

Donde:

P = la carga máxima corregida, kN.

P' = la carga máxima medida, kN.

t = el espesor promedio, mm.

t₀ = el espesor nominal de 75mm.

d = el diámetro promedio, mm.

d₀ = el diámetro nominal de 800mm.

Con los datos de fuerza (kN) y deflexión central (mm), se construirá, de acuerdo al acápite 10.0 de la norma ASTM C 1550, la curva de carga versus deformación. Calculando la integral de dicha curva (el área bajo la misma) se obtendrá la energía total expresada en Joule, absorbida por cada panel de mortero proyectado. La gráfica muestra el punto de falla del mortero y el inicio del trabajo del geosintético como elemento resistente frente a la deformación. Este punto corresponde a la máxima carga registrada.

Al igual que la carga máxima, la energía absorbida se debe corregir por las dimensiones reales de la muestra, y además por las deformaciones que sufre, usando la siguiente ecuación:

$$W = W' \left(\frac{t_0}{t}\right)^\beta \left(\frac{d_0}{d}\right) \quad (2)$$

Donde

$$\beta = 2.0 - (\delta - 0.5) / 80 \quad (3)$$

Donde:

W = la absorción de energía corregida, Joule.

W' = la absorción de energía medida, Joule.

t = el espesor promedio, mm.

t_0 = el espesor nominal de 75 mm.

d = el diámetro promedio, mm.

d_0 = el diámetro nominal de 800 mm.

δ = la deformación central especificada a la cual la capacidad para absorber energía es medida, mm.

En la ecuación 3, el número 0.5 es una estimación de la deformación elástica de la muestra que ocurre antes del agrietamiento. Si las dimensiones promedio quedan fuera de los límites definidos anteriormente, descartar la muestra y los resultados.



Figura 3.9- Falla del panel

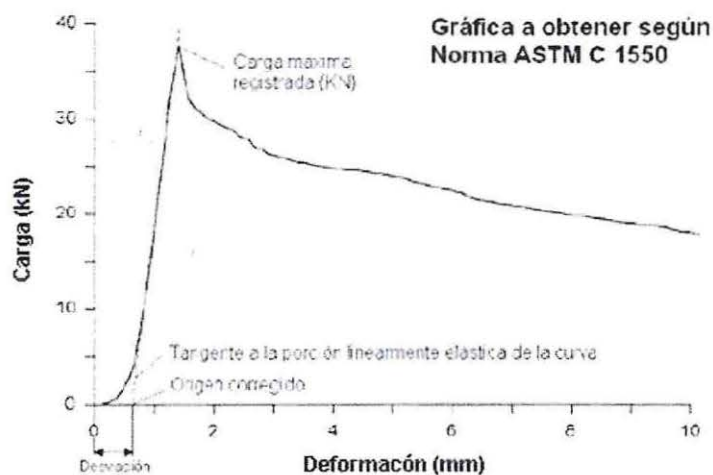


Figura 3.10- Gráfico carga vs. Deformación (Ref: ASTM C1550-12a)

4. Presentación y Análisis de Resultados

4.1 Presentación de resultados de las Pruebas de Paneles Redondos.

De los ensayos realizados a los discos en estudio (véase diagrama del acápite 1.5 del presente trabajo de título), se obtienen las gráficas de carga vs deformación, para cada dosificación y tipo de geosintético. Los discos que se estudiarán en el presente acápite cumplen con los requisitos establecidos por la norma ASTM C1550-12a.

Todas las gráficas presentan una primera zona elástica lineal, aportada por el concreto, un pico máximo de resistencia seguido por una abrupta caída y finalmente una zona de “fluencia” en donde la carga desciende paulatinamente a medida que se incrementa la deformación.

El criterio de toma de datos del registro de las deformaciones, fue hecho con el promedio de los tres registros dados por los dos diales mecánicos y el sensor de deformación. Se adjuntan los gráficos brutos de desplazamiento vs tiempo en el Anexo 1.

De acuerdo al acápite 3.6 del presente trabajo de título, se han descartado aquellas muestras que han fallado en los requerimientos de dimensiones de los discos o que han presentado una única fisura central, debido a que estas fallas evidencian defectos en la fabricación de las muestras y por tanto no pueden ser objeto de comparación.

Para efectos de poder establecer una comparación entre los distintos tipos de geosintético y dosificaciones, se definió como deformación final 60 mm de deflexión central. En consecuencia se consideró los datos de energía hasta este límite en todos los cálculos realizados.

a) Dosificación N°1

Tabla 4.1- Dosificación 1

Cemento	18	kg
Arena fina	60	kg
Agua	9	Lt
Aditivo (Viscocrete 5100)	0,1	kg
Razón (a/c)	0,5	
Razón (Ar/c)	3,33	

- Ensayo 1: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

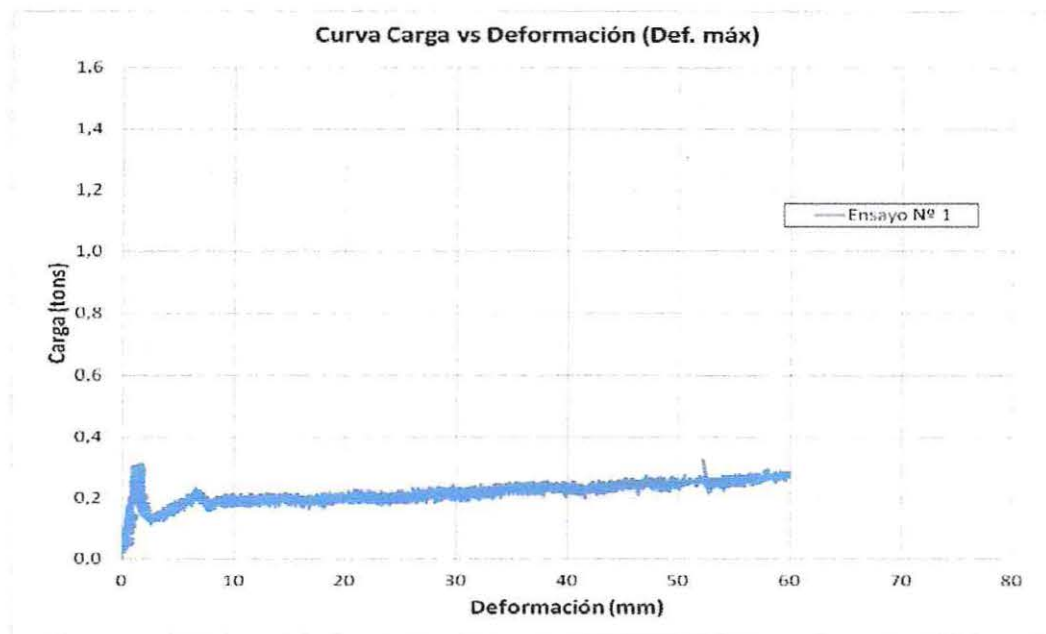


Gráfico 4.1- Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid type 2 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 2: Disco sin refuerzo.

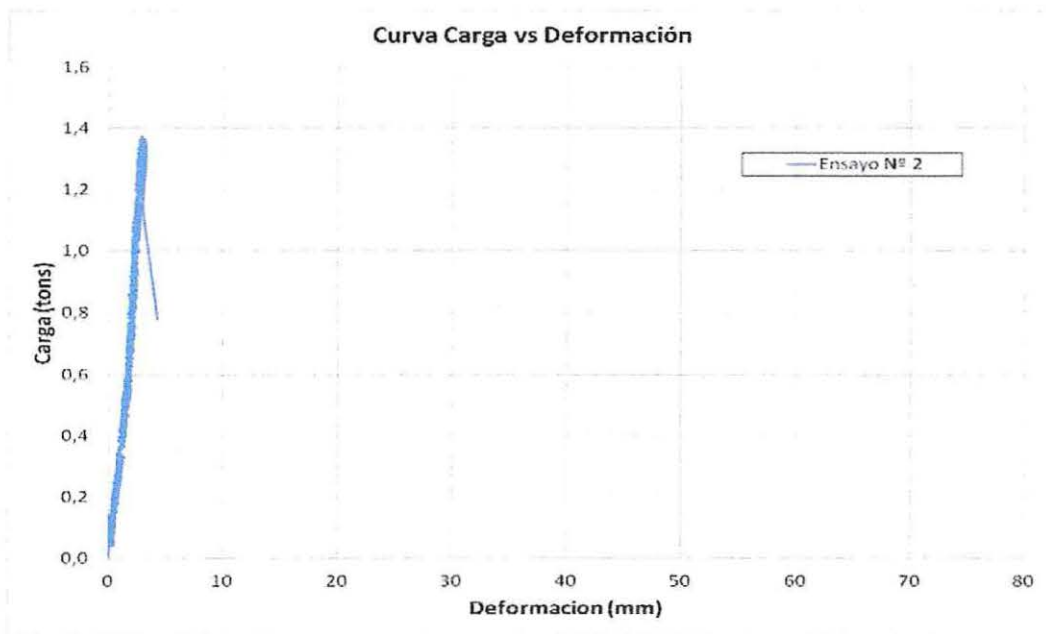


Gráfico 4.2 Relación entre Carga y Deformación de Disco sin Refuerzo.

b) Dosificación N°2

Tabla 4.2 Dosificación 2

Cemento	16	kg
Arena fina	54	kg
Agua	9	Lt
Aditivo (Viscocrete 5100)	0,1	kg
Razón (a/c)	0,56	
Razón (Ar/c)	3,38	

- Ensayo 3: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

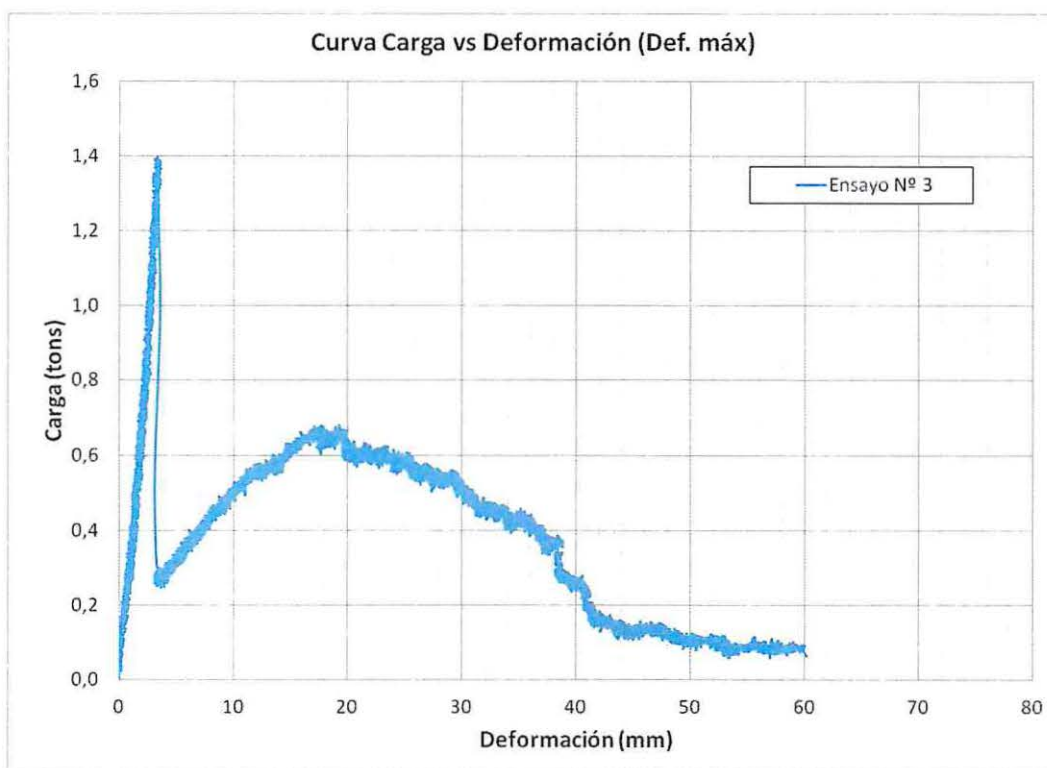


Gráfico 4.3 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid type 2 a un medio de la altura del disco.

- **Ensayo 4:** Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un tercio de la altura del disco.

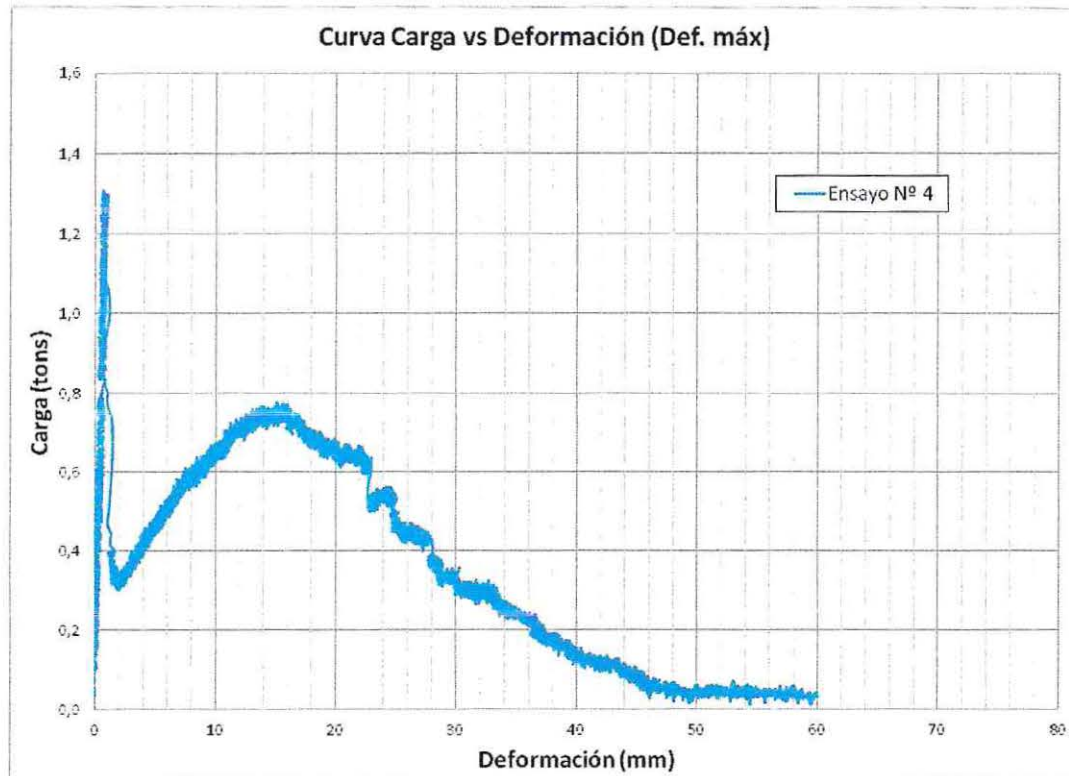


Gráfico 4.4 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid type 2 a un tercio de la altura del disco.

- c) Dosificación N°3

Tabla 4.3 Dosificación 3

Cemento	16	kg
Arena fina	50	kg
Agua	10	Lt
Aditivo (Viscocrete 5100)	0,1	kg
Razón (a/c)	0,63	
Razón (Ar/c)	3,12	

- Ensayo 5: Disco con refuerzo Geotextil Propex 601 a un medio de la altura del disco.

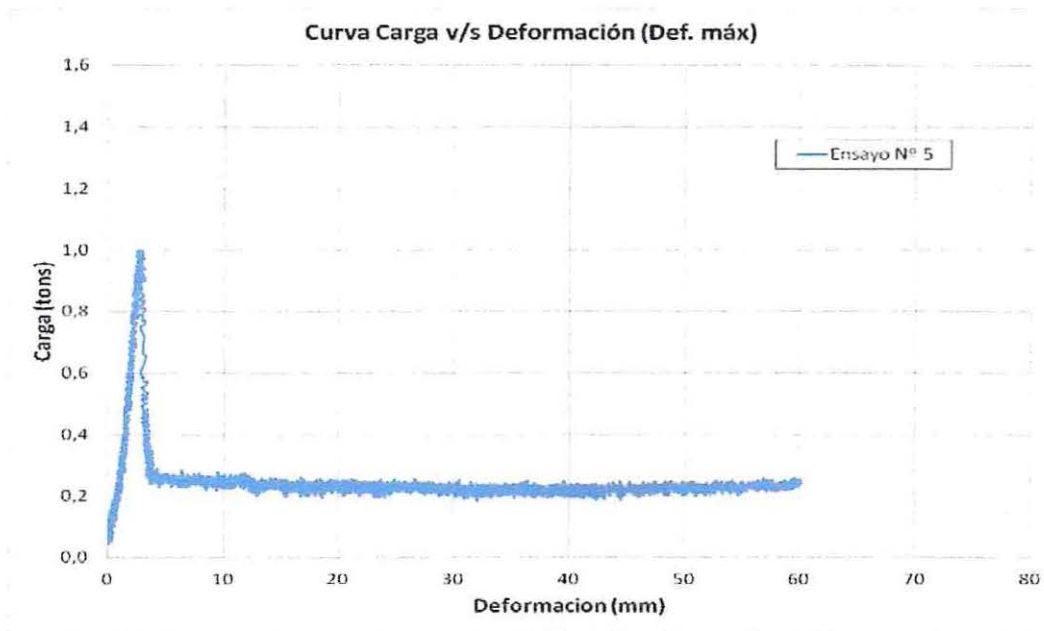


Gráfico 4.5 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 601 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 6: Disco con refuerzo Geotextil Propex 601 a un tercio de la altura del disco.

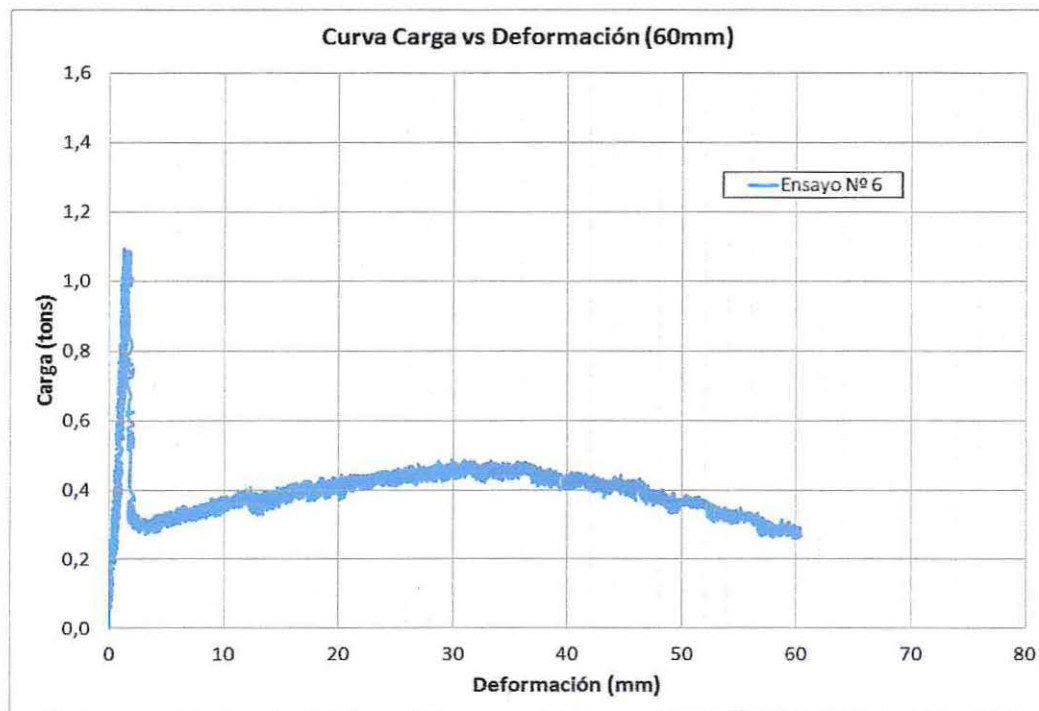


Gráfico 4.6 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 601 a un tercio de la altura del disco.

d) Dosificación N°4

Tabla 4.4- Dosificación 4

Cemento	16	kg
Arena fina	58	kg
Agua	7,6	Lt
Aditivo (Viscocrete 5100)	0,1	kg
Razón (a/c)	0,48	
Razón (Ar/c)	3,63	

- Ensayo Z: Disco sin refuerzo.

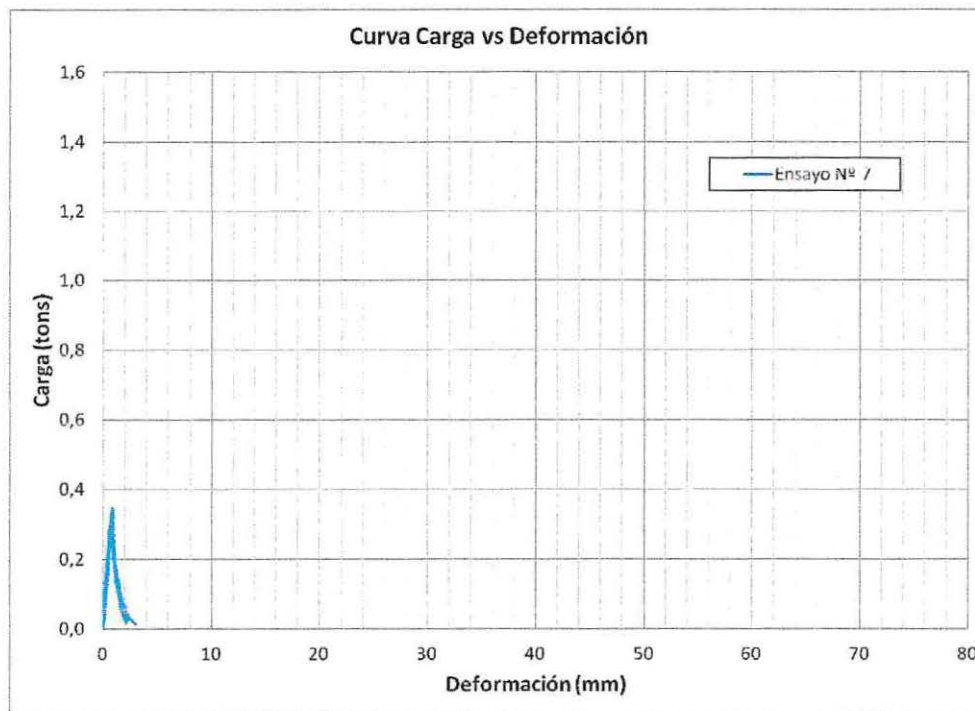


Gráfico 4.7- Disco sin Refuerzo

- Ensayo 8: Disco sin refuerzo.

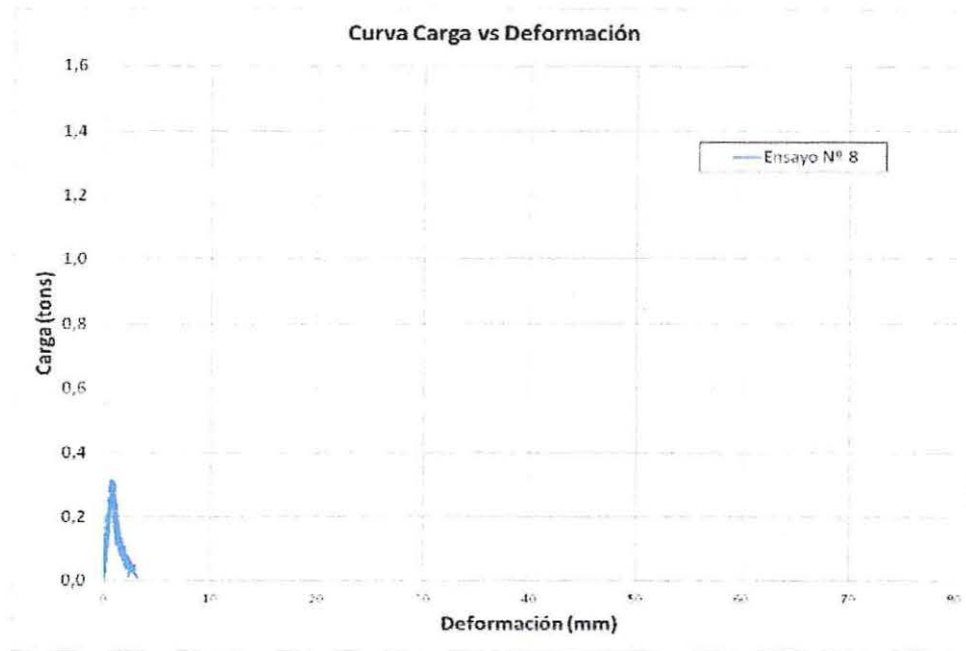


Gráfico 4.8 Disco sin Refuerzo.

- Ensayo 9: Disco sin refuerzo.

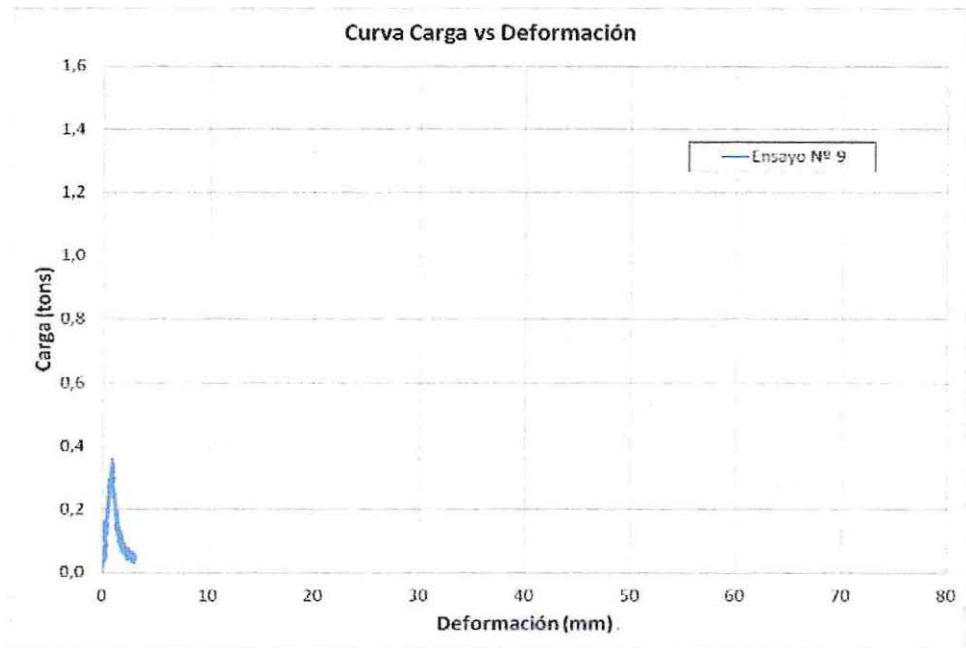


Gráfico 4.9 Disco sin Refuerzo.

- Ensayo 10: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

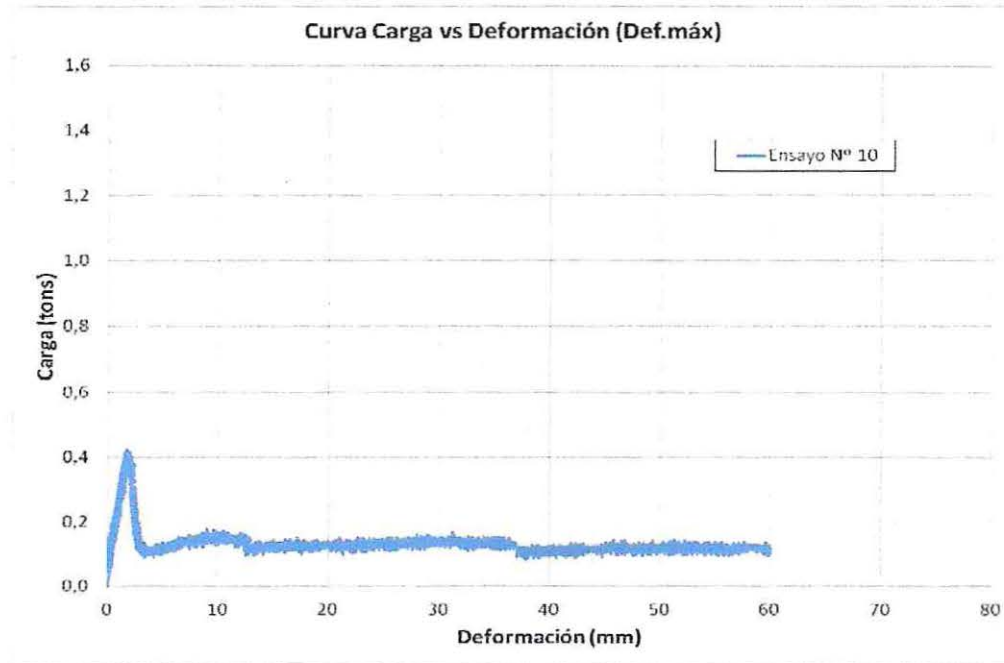


Gráfico 4.10 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 11: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

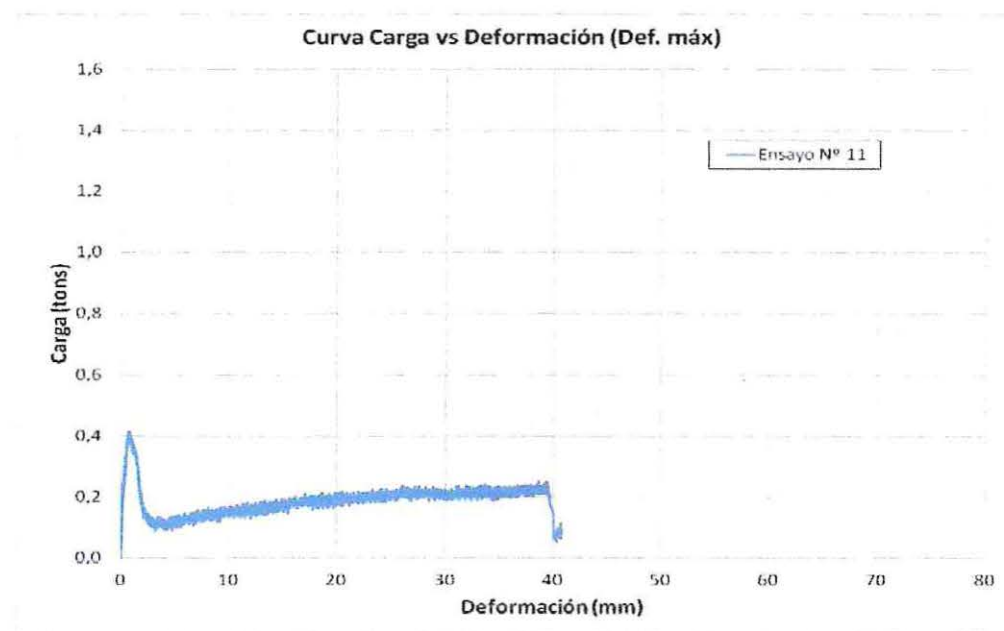


Gráfico 4.11 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 12: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

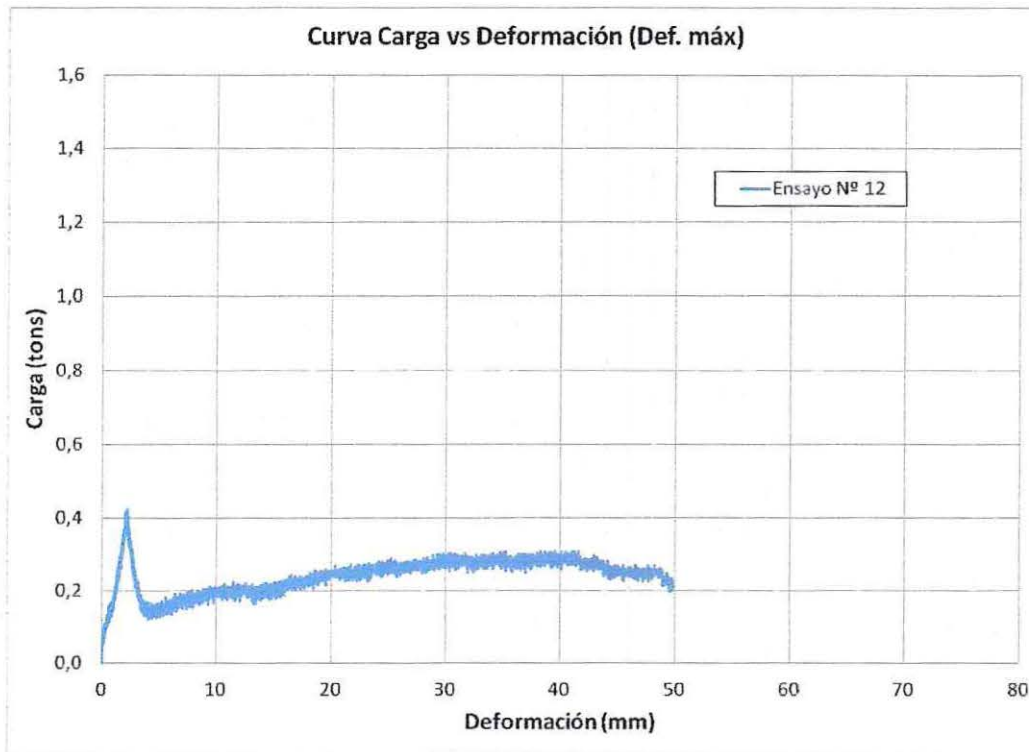


Gráfico 4.12 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 13: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un tercio de la altura del disco. **(DESCARTADO)**

Ensayo descartado por falta de adherencia entre la geogrilla colocada a un tercio de la altura del disco y el mortero pobre proyectado, provocando que el disco se despegara y se quebrara al momento de aplicarle un mínimo de carga, produciéndose falla frágil.

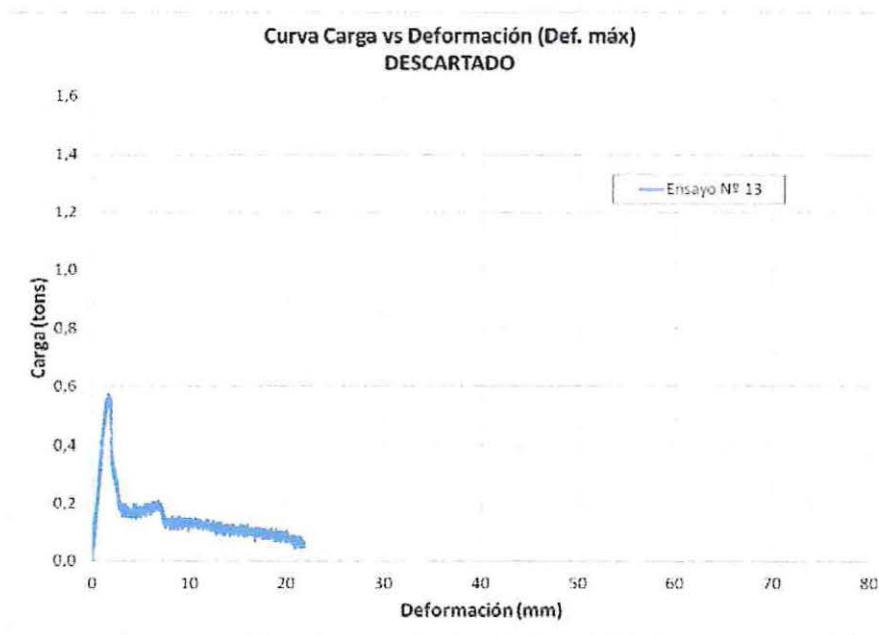


Gráfico 4.13 Disco DESCARTADO.

- Ensayo 14: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un tercio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Disco se rompe abruptamente produciéndose una falla frágil, alcanzando una deformación solo de 7mm. Por lo tanto se descarta, ya que no hubo la adherencia suficiente entre el mortero pobre y el refuerzo de geogrilla para que trabajaran en conjunto. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico.

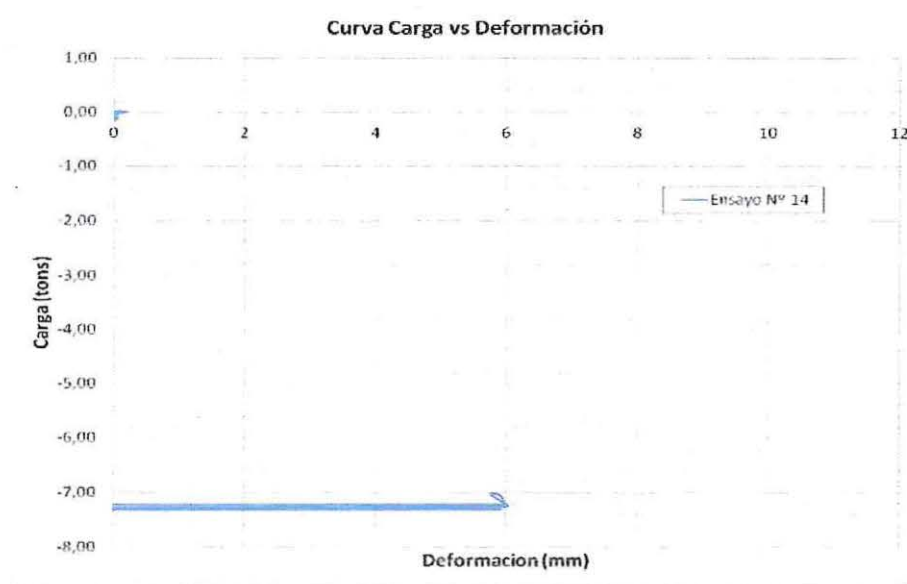


Gráfico 4.14 Disco DESCARTADO

- Ensayo 15: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un tercio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Disco con una grieta pre existente que atraviesa diametralmente el disco. Debido a la fisura pre existente, se produjo una falla a lo largo del disco, no siendo esta óptima para hacer válido el ensayo. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico.

- Ensayo 16: Disco con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Disco se rompe abruptamente produciéndose una falla frágil, alcanzando una deformación solo de 4mm. Por lo tanto se descarta, ya que no hubo la adherencia suficiente entre el mortero pobre y el refuerzo de geotextil para que trabajaran en conjunto. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico.

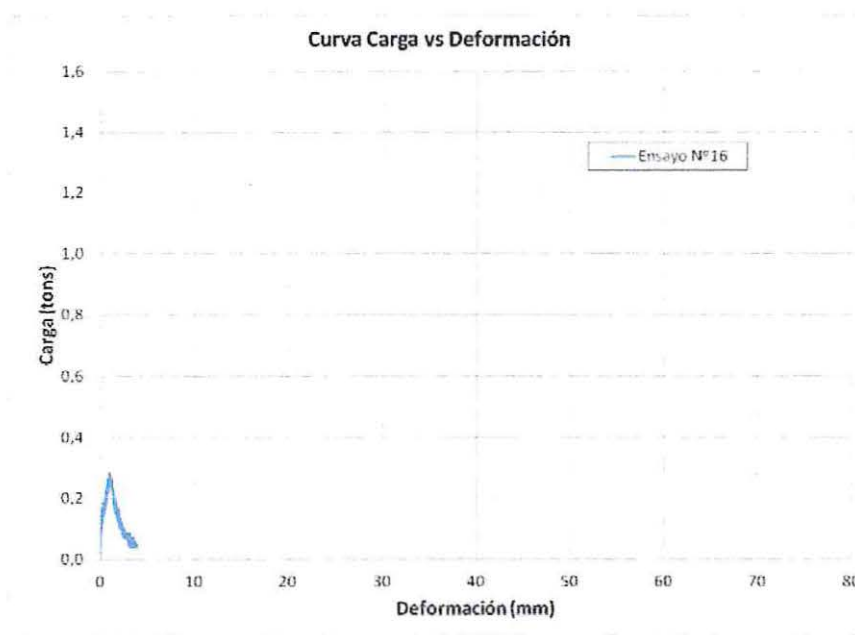


Gráfico 4.15 Disco DESCARTADO

- Ensayo 17: Disco con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Al desmoldar el disco se separan las capas de mortero pobre, por la poca y casi nada adherencia que hubo entre el geotextil y el mortero. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico.

- Ensayo 18: Disco con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Al desmoldar el disco se separan las capas de mortero pobre, por la poca y casi nada adherencia que hubo entre el geotextil y el mortero. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico.

e) Dosificación N°5

Tabla 4.5 Dosificación 5

Cemento	16	kg
Arena fina	59	kg
Agua	8	Lt
Aditivo (Viscocrete 5100)	0,16	kg
Razón (a/c)	0,5	
Razón (Ar/c)	3,68	

- Ensayo 19: Disco con refuerzo Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.

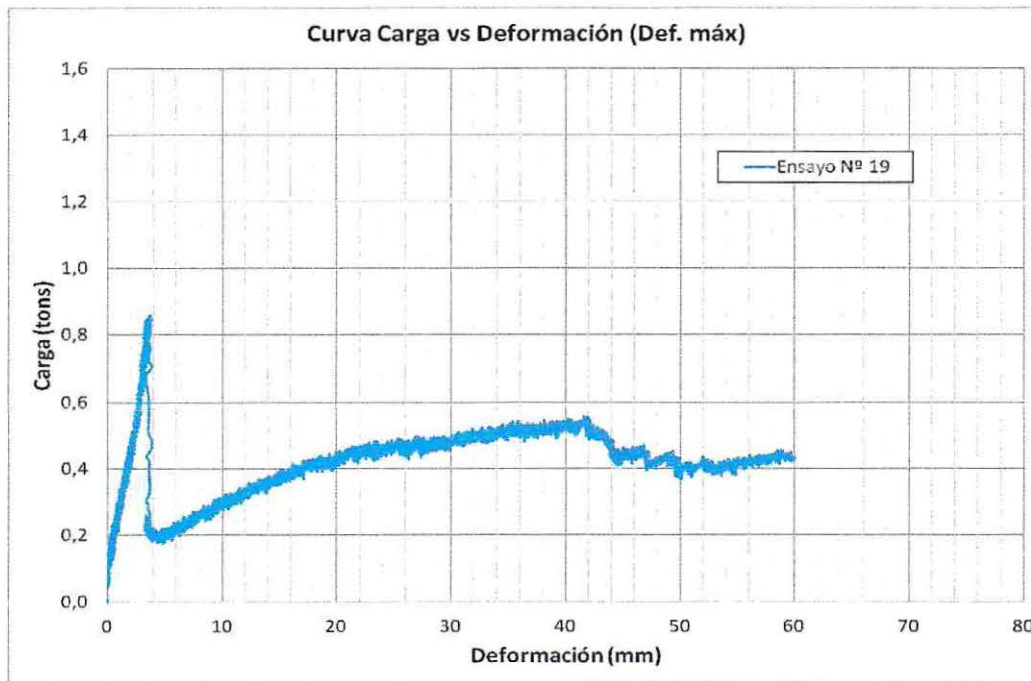


Gráfico 4.16 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.

- **Ensayo 20:** Disco con refuerzo Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.

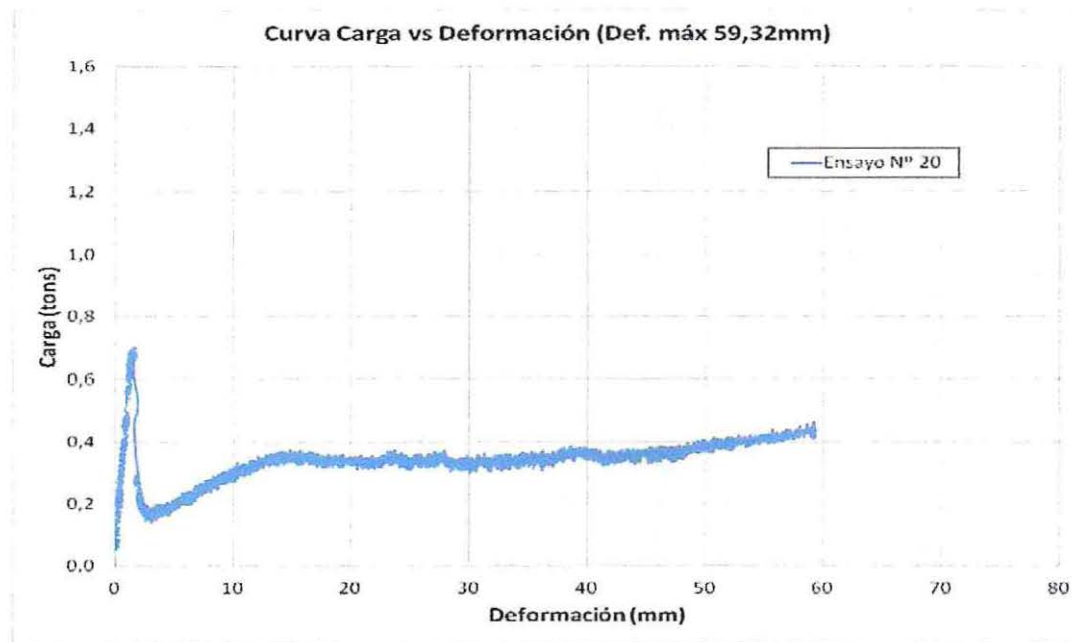


Gráfico 4.17 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.

- **Ensayo 21:** Disco con refuerzo Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.

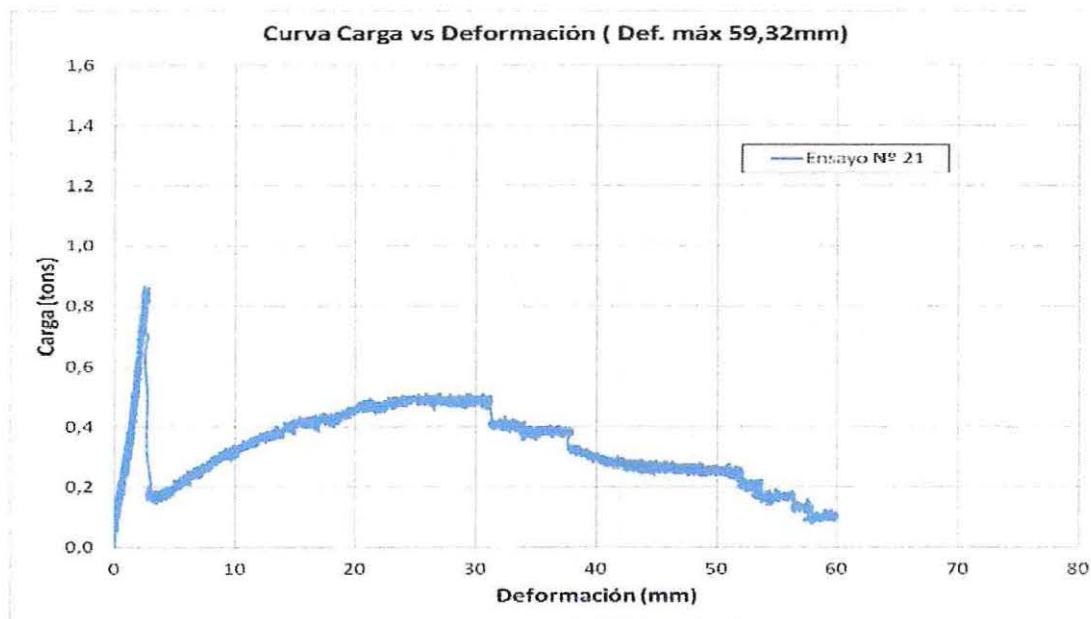


Gráfico 4.18 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 22: Disco con refuerzo Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.

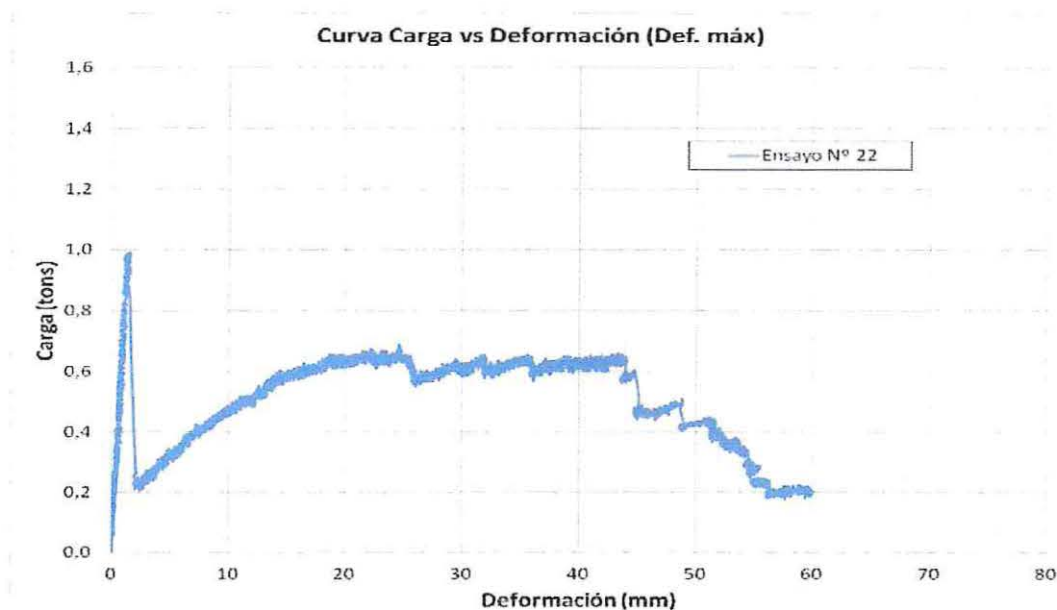


Gráfico 4.19 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 23: Disco con refuerzo Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.

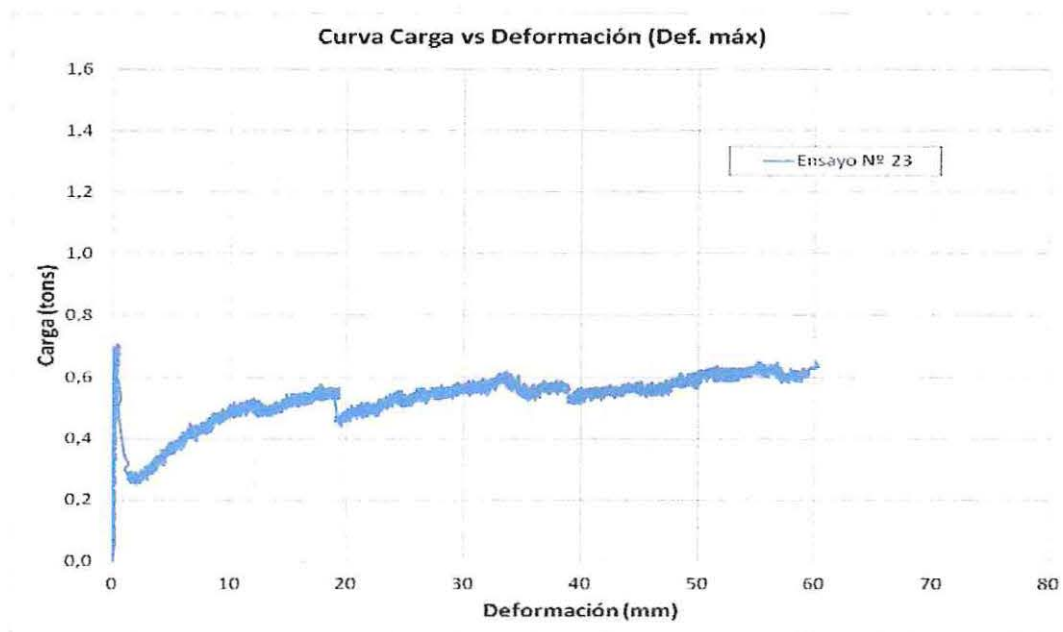


Gráfico 4.20 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 24: Disco con refuerzo Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.

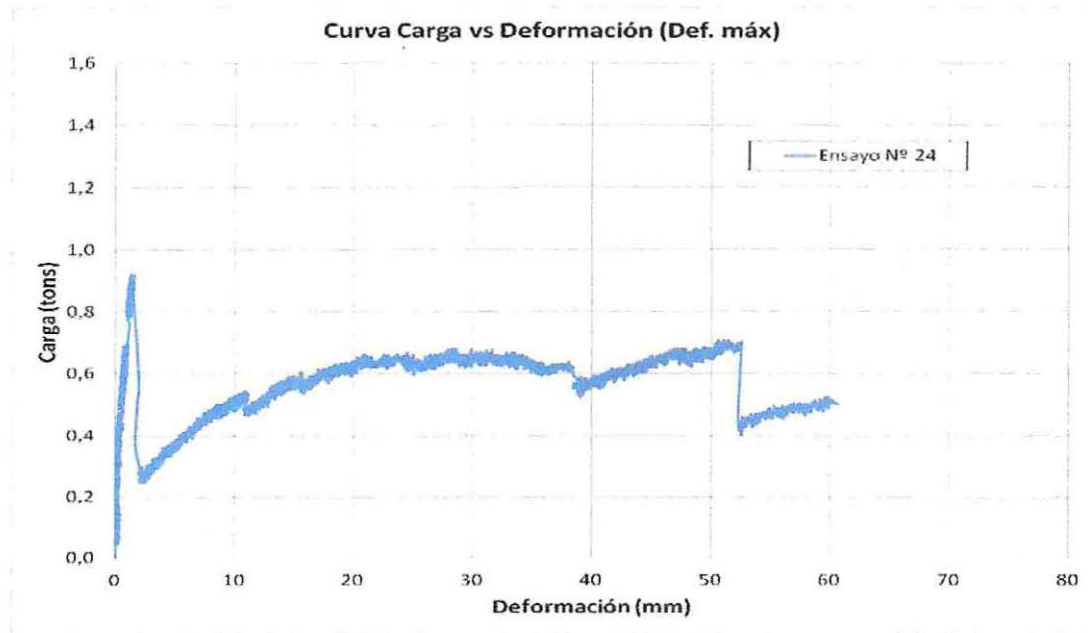


Gráfico 4.21 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 25: Disco con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.

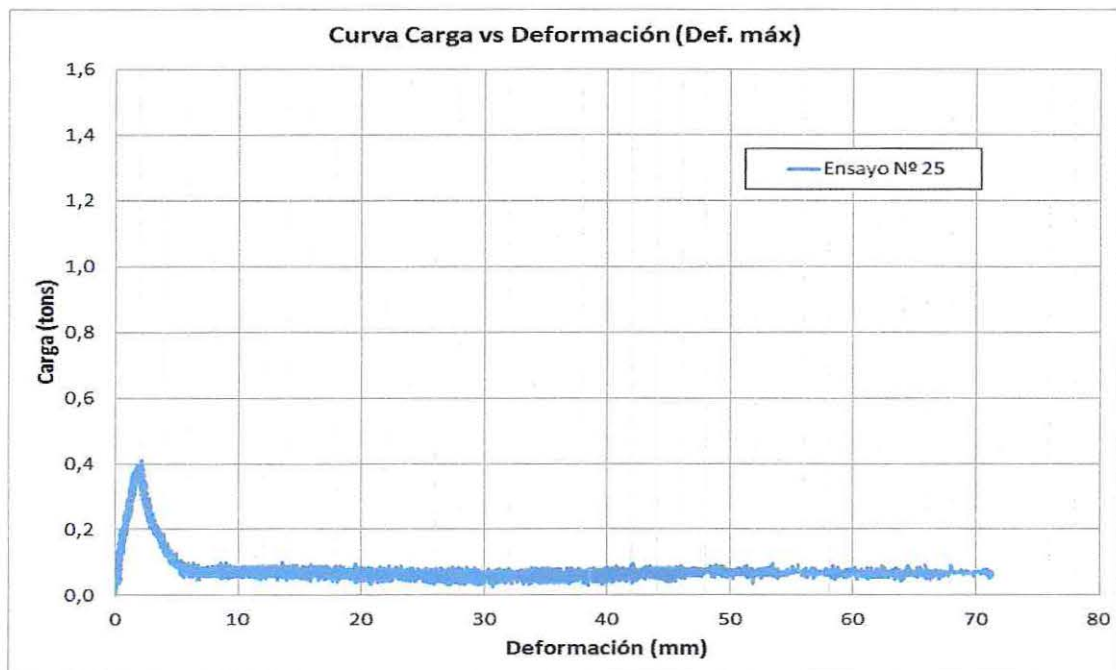


Gráfico 4.22 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 26: Disco con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.

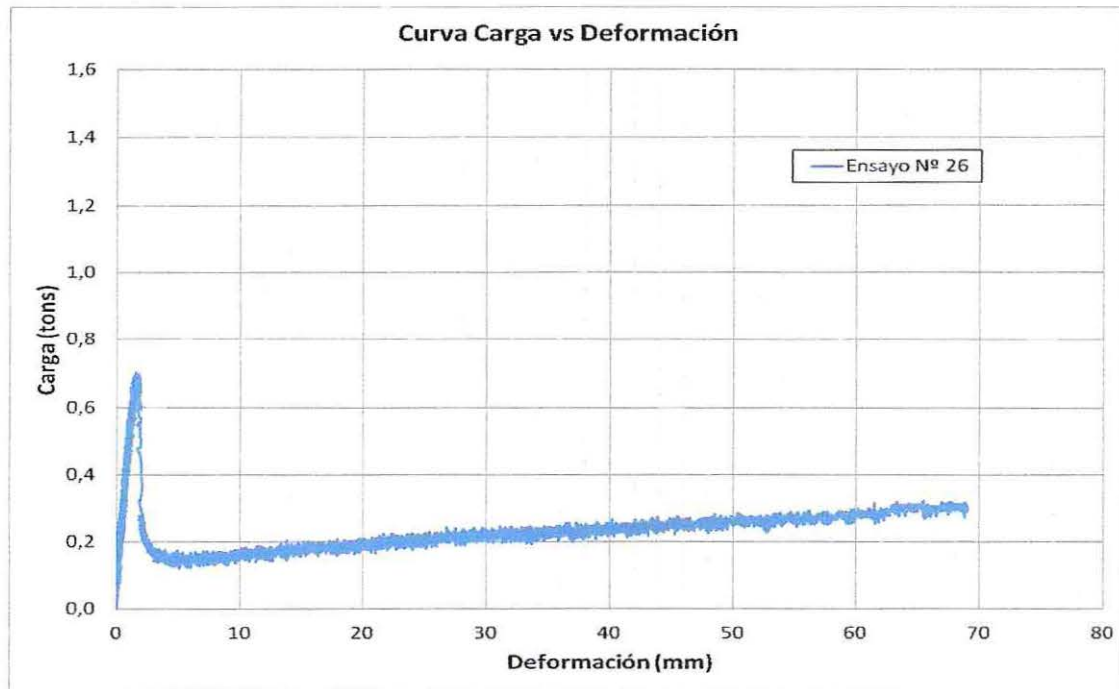


Gráfico 4.23 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 27: Disco con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Disco con una grieta pre existente que atraviesa diametralmente el disco. Debido a la fisura pre existente, se produjo una falla a lo largo del disco, no siendo esta óptima para hacer válido el ensayo. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico.

- Ensayo 28: Disco con refuerzo Geotextil Propex 601 a un medio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Al desmoldar el disco se separan las capas de mortero, por la poca y casi nada adherencia que hubo entre el geotextil y el mortero. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico.

- Ensayo 29: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

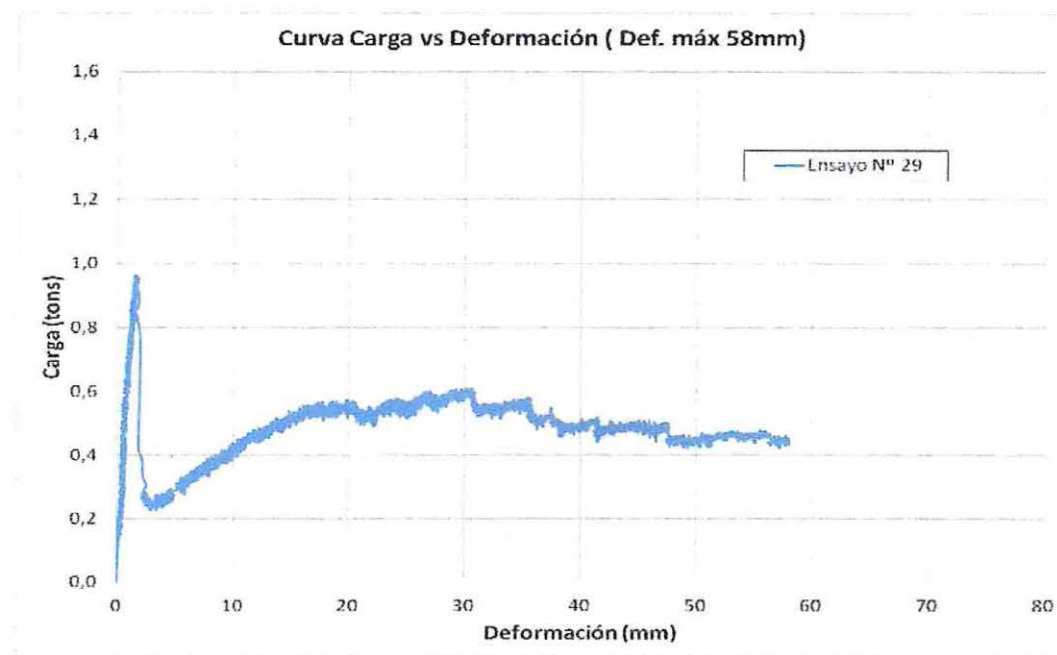


Gráfico 4.24 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 30: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

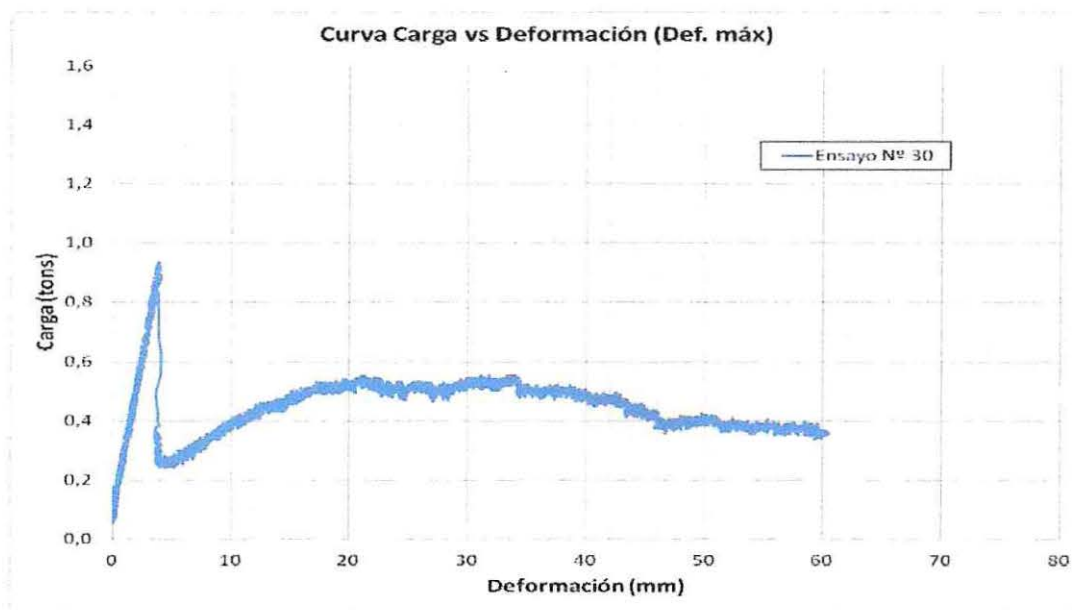
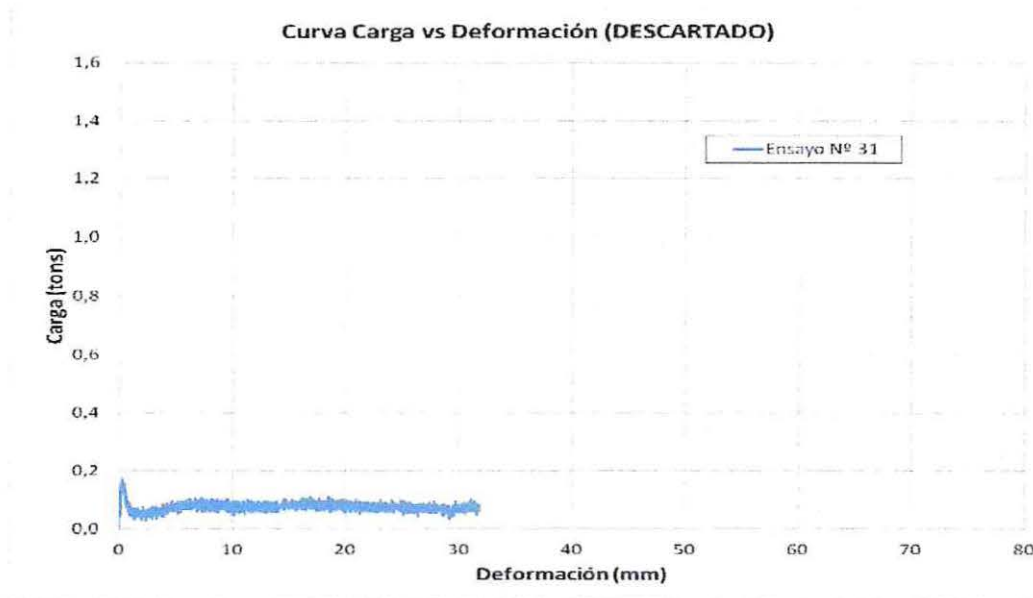


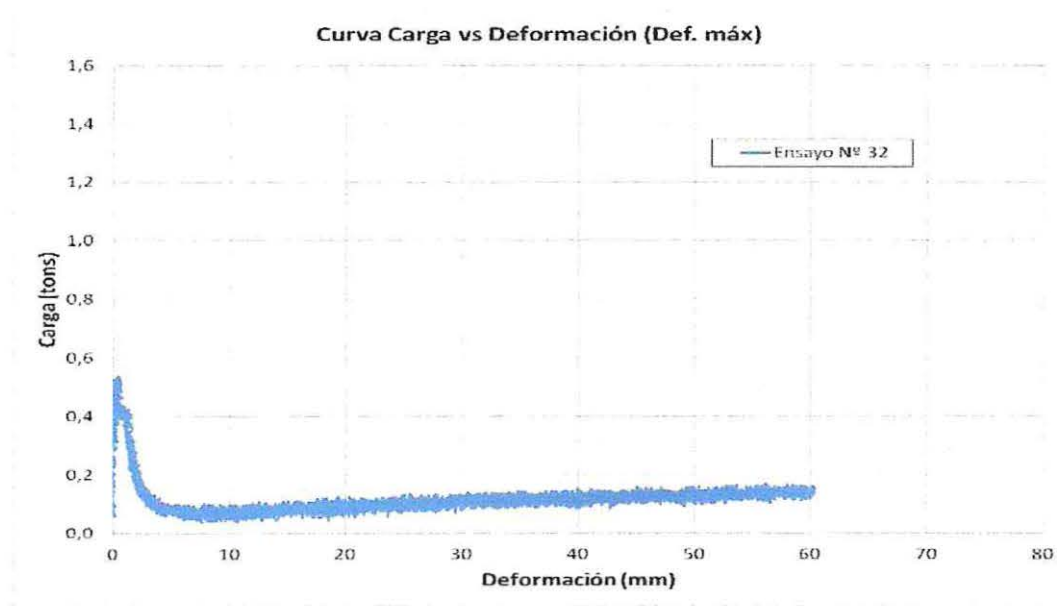
Gráfico 4.25 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 31: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco. (DESCARTADO)

Se desprende un cuarto de la parte inferior del disco, impidiendo poder continuar con el ensayo. Disco solo alcanza 30mm de deformación, por lo tanto se descarta el ensayo.



- Ensayo 32: Disco con refuerzo Geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco.



- Ensayo 33: Disco con refuerzo Geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco.

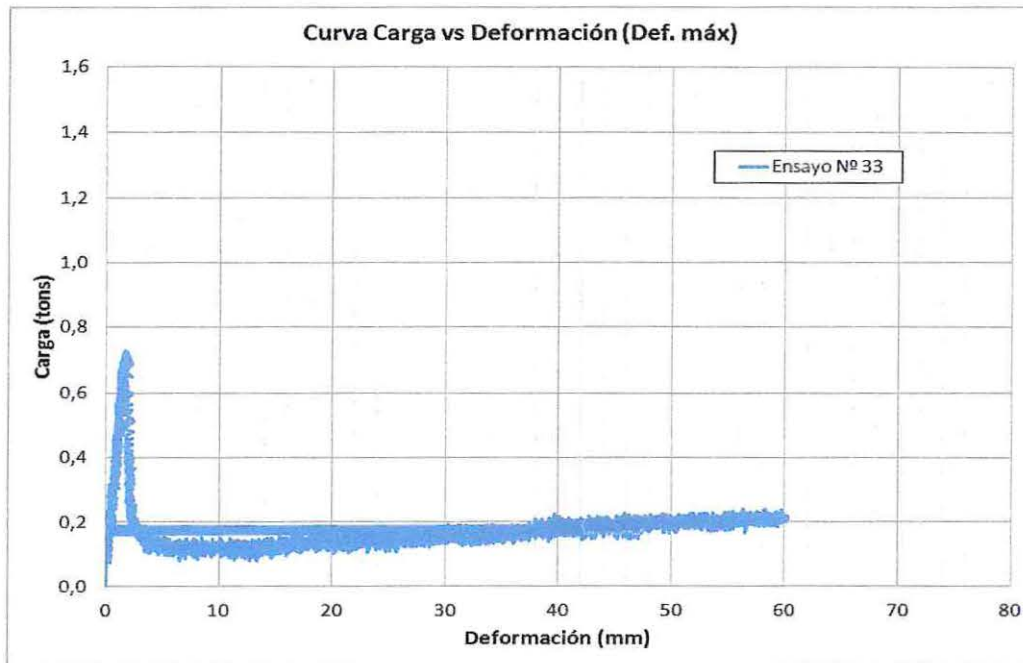


Gráfico 4.28 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco.

- Ensayo 34: Disco con refuerzo Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.

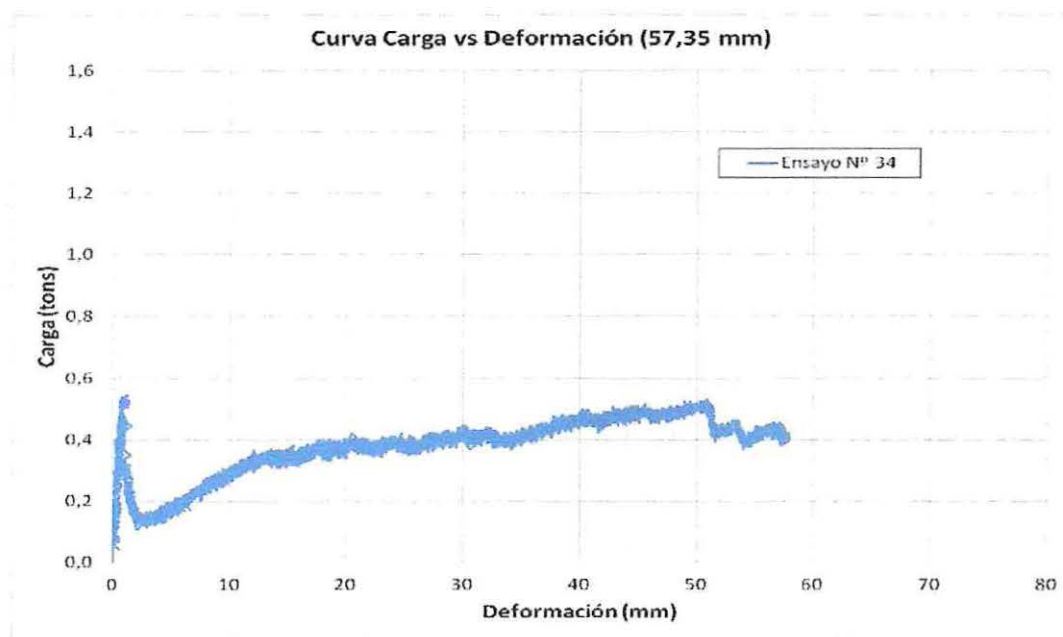


Gráfico 4.29 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.

- Ensayo 35: Disco con refuerzo Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.

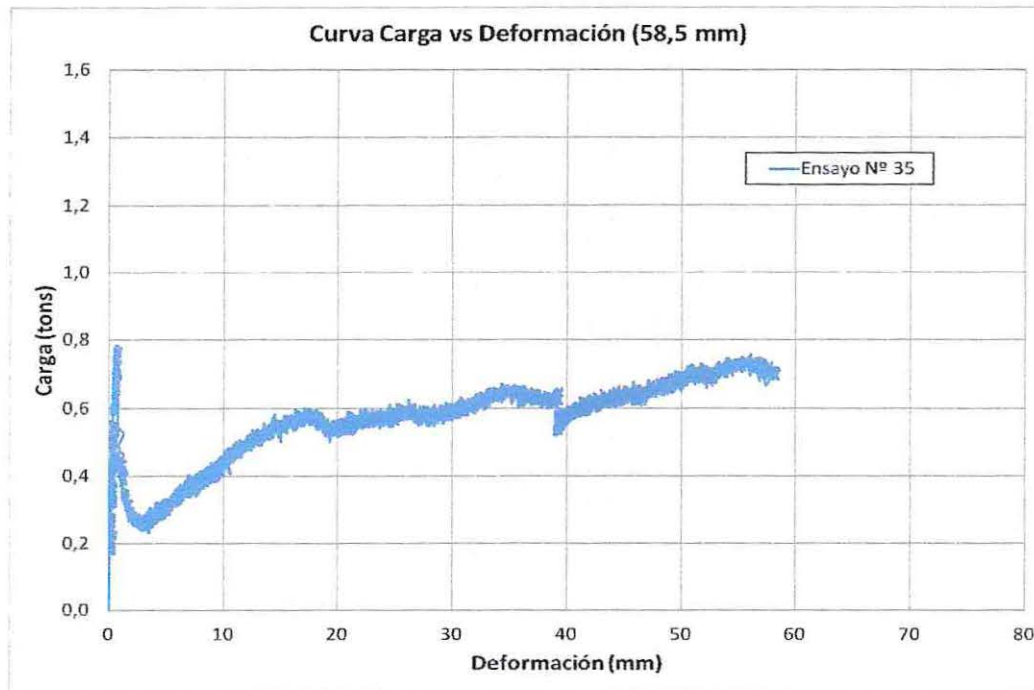


Gráfico 4.30 Relación entre Carga y Deformación de Disco reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.

- Ensayo 36: Disco sin Refuerzo.

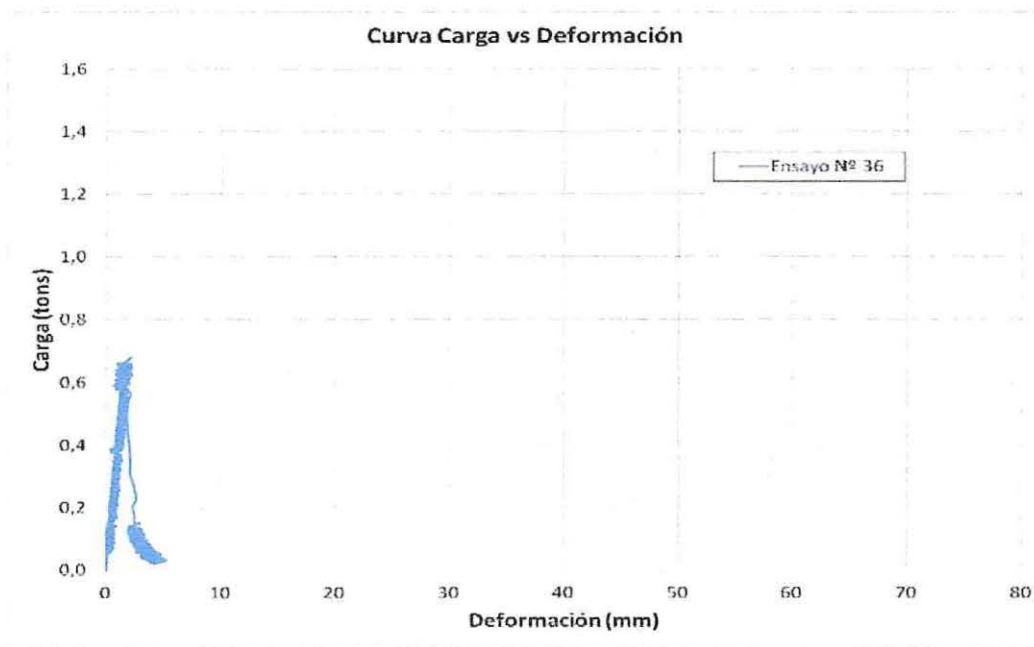


Gráfico 4.31 Disco sin Refuerzo.

4.2 Análisis de Resultados.

En este acápite se presentan los resultados de los ensayos a compresión del mortero en uso para esta investigación y los resultados de los ensayos a flexión simple del mortero proyectado con y sin refuerzo. La cantidad de probetas empleadas es de 2 cilindros y 36 discos.

Los resultados se organizarán en: gráficos carga –deformación de cada geosintético en estudio según la dosificación del mortero, tablas con detalles de los parámetros medidos en los especímenes, curvas que relacionan cargas y resistencias residuales con las deformaciones post agrietamiento y ancho de grieta.

Se adjunta en el Anexo 2, registro fotográfico que muestra las características observadas durante el desarrollo de los ensayos.

4.2.1 Ensayos de la resistencia a la compresión del mortero proyectado.

Los ensayos se realizaron a dos cilindros de diámetro 15 cm y altura de 30 cm siguiendo las especificaciones de la norma Nch 1037-1977. Se registraron los resultados de carga, con los cuales se procedió a calcular la resistencia a la compresión mediante la fórmula siguiente:

$$Rc = \frac{Pmax}{Area} = \frac{Pmax \cdot 4}{\pi d^2}$$

Dónde:

Pmáx: Carga máxima registrada del ensayo de compresión simple (kgf)

d: Diámetro del cilindro (cm).

La resistencia a la compresión que tiene el mortero proyectado en uso es de 4,5 MPA. En el Anexo 2 se observa el registro fotográfico del ensayo.

4.2.2 Ensayos de la resistencia a flexión del mortero proyectado con y sin refuerzo.

Los gráficos vistos en el acápite 4.1, reflejan los resultados brutos de cada disco ensayado a flexión. Obtenidas estas curvas se procede a corregir la carga máxima de flexión en el primer agrietamiento y la resistencia residual post agrietamiento de cada disco de mortero proyectado con y sin refuerzo de geosintético, para así obtener una mejor relación entre el incremento de la capacidad de absorción de energía y deformación por cada disco ensayado. La corrección de estos parámetros depende de las variaciones en la geometría y deformación central específica que tendrá el disco.

Tomando la curva carga vs deformación obtenida de los registros de cada ensayo, se procede a calcular la energía absorbida de estos hasta una deformación específica, estimando el área bajo la curva de cada disco. Esta área se estimó mediante el método de los trapecios, método numérico para calcular aproximadamente el valor de la integral definida.

El rendimiento de los discos se puede medir de dos maneras: por su capacidad de carga en el primer agrietamiento y sus cargas residuales; y mediante la absorción de energía del conjunto mortero + geosintético. Para el presente trabajo de título las deformaciones centrales específicas que se evaluarán son 5, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 mm de las cuales se dará mayor énfasis a la deformación de 5, 25 y 40 mm, ya que estas son las deformaciones que habitualmente se ocupan en la práctica para el diseño de soportes.

Los resultados de los 36 discos ensayados con y sin refuerzo de geosintéticos se muestran en las tablas y gráficos siguientes, donde se analiza su capacidad de carga, absorción de energía y ancho de grietas para distintos niveles de deformación.

a) Dosificación N° 1

Los resultados de la primera carga máxima de flexión, ancho de grieta y la absorción de energía de los discos, uno reforzado con Geogrilla (Biaxial Geogrid Type 2) y otro sin refuerzo, a una deflexión de 40 mm se encuentran en la Tabla 4.6. Las especificaciones técnicas del refuerzo usado en este ensayo se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 4.6- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 1 y 2.

ANÁLISIS 2 MUESTRAS BIAXIAL GEOGRID TYPE 2 + SIN REFUERZO 21 días de curado		BIAXIAL GEOGRID TYPE 2			SIN REFUERZO
Carga peak (kN)		2,98			14,27
Deformación Peak (mm)		1,03			2,81
Energía Corregida (J) 40 mm		76,9			24,42
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	DSR: FALLA FRAGIL APP 3 mm DE DEFORMACIÓN	
0	0	0	0		
5	1,83	2	7,76		
10	1,95	5,1	16,13		
20	1,97	7,5	34,69		
30	2,07	8,6	54,07		
40	2,37	12	75,24		
50	2,52	13,5	99,33		
60	2,83	22,8	124,17		

La duración del ensayo del disco reforzado con geogrilla Type 2 fue de aproximadamente 18 minutos. La curva carga-deformación que se muestra en el Gráfico 4.1, muestra la elevación de la carga a un valor máximo de 2,98 kN (0,298 Tons) con una deformación de 1mm, para luego caer a un 60% de su carga máxima en donde segundos después empieza a trabajar el refuerzo retomando carga hasta casi su máxima capacidad dentro de los 5 y 60 mm de deformación.

El disco sin refuerzo, como se observa en el gráfico 4.2, no posee ductilidad después de su carga *peak*. Este colapsa a una deformación aproximada de 3mm, produciéndose una falla frágil.

En el gráfico 4.32 se superponen los ensayos con y sin refuerzo de la dosificación 1. Se observa que la resistencia *peak* del disco con refuerzo alcanza apenas un 20 % de la resistencia del disco sin refuerzo. Este

comportamiento inesperado se debe a grietas preexistentes en el disco al momento de ensayarlo, las cuales conllevan a perder resistencia antes del agrietamiento. Por lo tanto el Ensayo N° 1 no serían totalmente representativos los resultados del ensayo.

La relación entre la absorción de energía y deformación de los discos ensayados bajo la dosificación 1 se ve en el grafico 4.33, este destaca el aumento en un 300 % de la resistencia residual del disco reforzado con geogrilla en comparación con el disco sin refuerzo.



Gráfico 4.32 Comparación Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 y Disco sin Refuerzo hasta 40 mm de deformación.

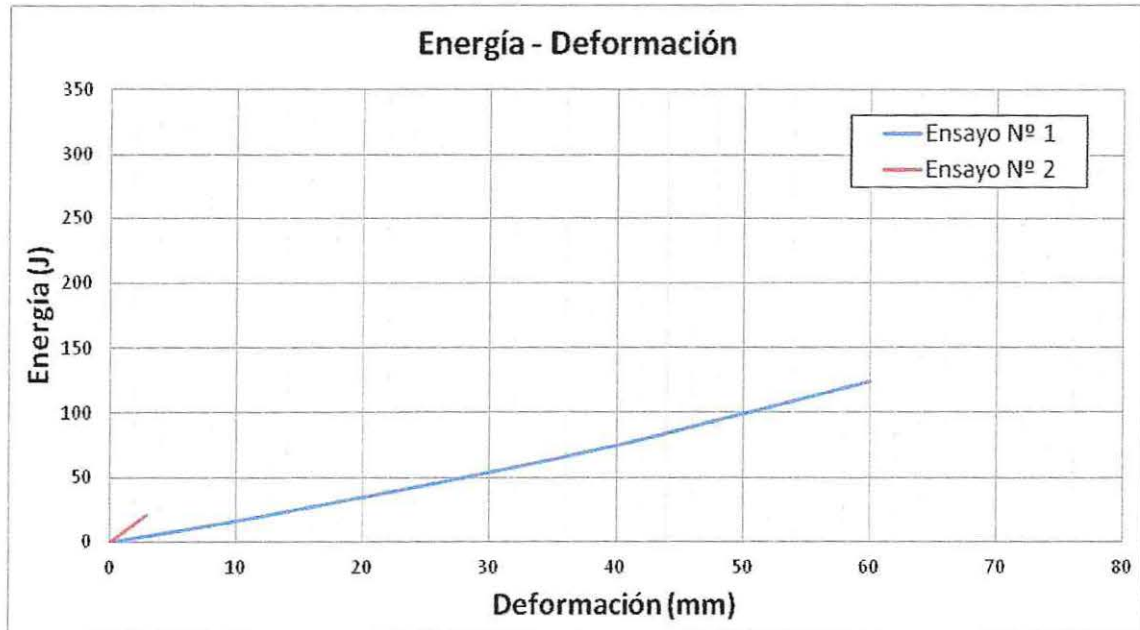


Gráfico 4.33 comparación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 1 y 2 hasta deformación máxima.

Para el análisis de las grietas del mortero reforzado, se relaciona el ancho de grieta con la capacidad de carga, deformación y resistencia residual que el conjunto podría resistir. El ancho de grieta fue medido en el borde del disco (punto A de la Fig. 4.1), tomando como registro la grieta más ancha que se podía observar.



Figura 4.1- Punto de medición de la grieta en el disco

En el caso del ensayo de mortero proyectado reforzado con la geogrilla Type 2, las grietas alcanzaron un ancho máximo de 23 mm a medida que aumentaba su resistencia residual es decir su capacidad de absorber energía. Se encuentra un registro fotográfico en el Anexo 2.



Gráfico 4.34 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo Nº 1 hasta deformación máxima.

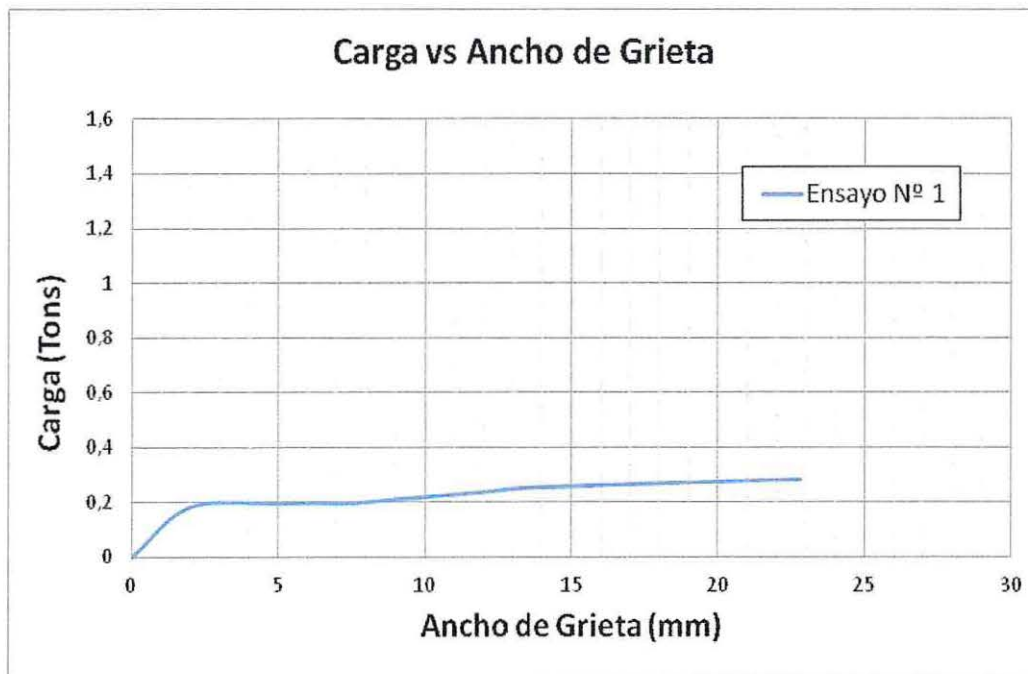


Gráfico 4.35 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo Nº 1 hasta deformación máxima.

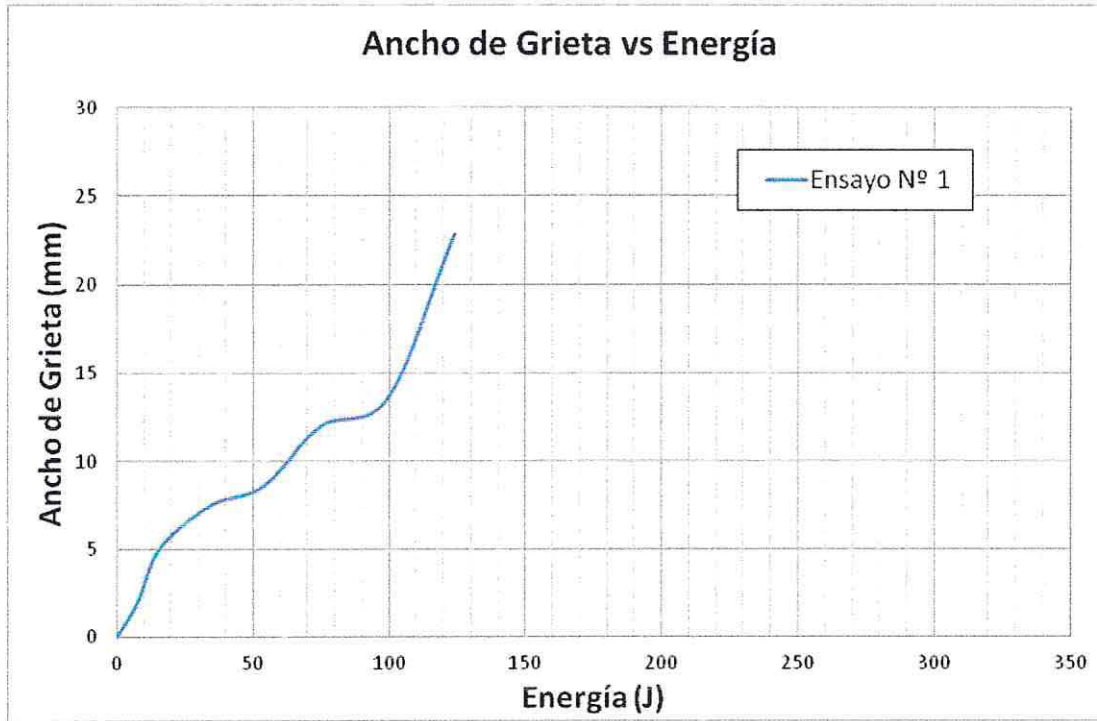


Gráfico 4.36 Relación entre Ancho de Grieta y Resistencia Residual del Ensayo N° 1 hasta deformación máxima.

b) Dosificación N° 2

Tabla 4.7- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 3 y 4.

ANALISIS 2 MUESTRAS						
BIAXIAL GEOGRID TYPE 2 A UN MEDIO Y A UN TERCIO DE H.						
21 días de curado						
BIAXIAL GEOGRID Type2 (UN MEDIO)			BIAXIAL GEOGRID Type 2 (UN TERCIO)			
Carga peak (kN)			14,04		11,76	
Deformación Peak (mm)			2,16		1,22	
Energía Corregida (J) 40 mm			205,21		183,83	
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0	0	0	0
5	3,16	0,5	25,88	4,42	1,6	22,8
10	4,89	1,5	47,12	6,36	4,8	47,45
20	6,2	5	107,51	6,62	8,4	111,73
30	5,1	7	163,9	3,1	11,2	158,5
40	2,61	10,6	205,95	1,31	14,2	181,5
50	1,03	12,5	220,1	0,37	17,5	191,8
60	0,93	13,8	228,72	0,33	23	196,6

Para la dosificación 2 se analizaron 2 discos reforzados con geosintético Biaxial Geogrid Type 2. Para esta dosificación se colocó en un ensayo el refuerzo a un medio de la altura del disco (H) y el otro a un tercio de la altura del disco.

La comparación entre las curvas carga-deformación de cada disco (véase gráfico 4.37), no tiene grandes diferencias más que el desplazamiento en el tiempo, como se ve en las gráficas 0.1 y 0.2 del Anexo 1.

Los resultados de los ensayos se muestran uniformes con un aumento notable en la carga máxima de flexión y una resistencia residual relativamente parecidas entre ambos ensayos.

Se observa que después de la carga *peak* ambos discos se comportan plásticamente, llegando a un punto en que la resistencia residual decae constantemente hasta una deformación máxima de 60mm (véase gráficos 4.3 y 4.4)

La energía absorbida aumenta constantemente a medida que se le permite más deformación a la estructura de soporte (véase gráfico 4.38). El disco con el refuerzo colocado a un medio de H es capaz de absorber aproximadamente 205 (J) a una deformación de 40 mm de la estructura lo que es un alrededor de un 10 % más que el disco con el refuerzo a un tercio de su altura.

La medición del ancho de grieta se mide en el mismo lugar en todos los ensayos (véase Fig. 4.1). Como se muestra en los gráficos 4.39, 4.40, 4.41 y también en la tabla 4.7, las grietas del disco con el refuerzo a un tercio de su altura se dilataron más que las del disco con el refuerzo a un medio de la altura del disco (H).



Gráfico 4.37 Comparación Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 (1/2H) y Disco reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 (1/3H) hasta 40 mm de deformación.



Gráfico 4.38 Comparación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 3 y 4 hasta deformación máxima.

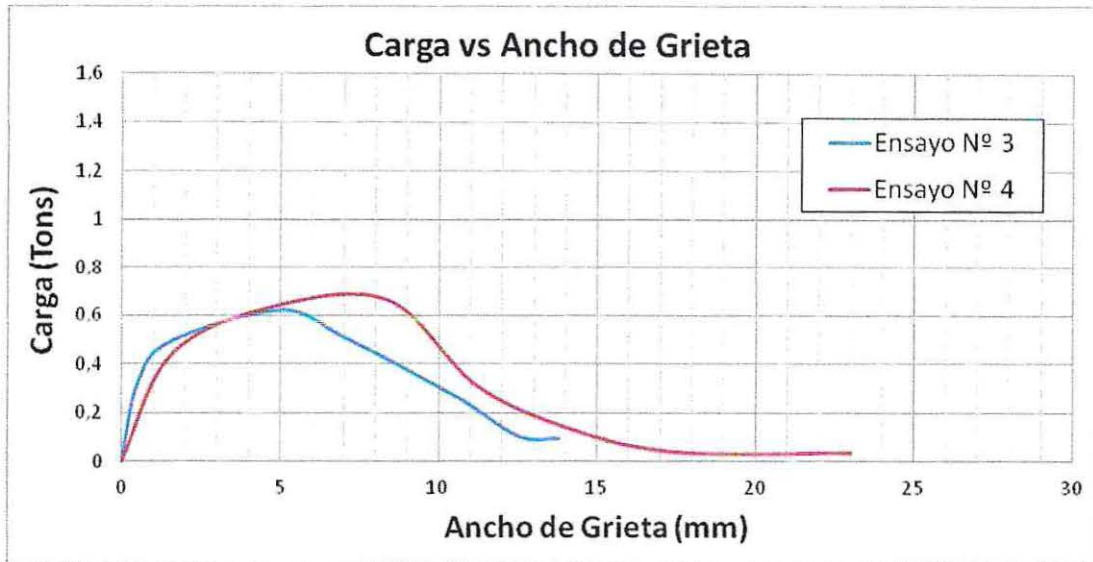


Gráfico 4.39- Relación entre Ancho de Grieta y Carga de los Ensayo N° 3 y 4 hasta deformación máxima.



Gráfico 4.40- Relación entre Ancho de Grieta y Deformación de los Ensayo N° 3 y 4 hasta deformación máxima.

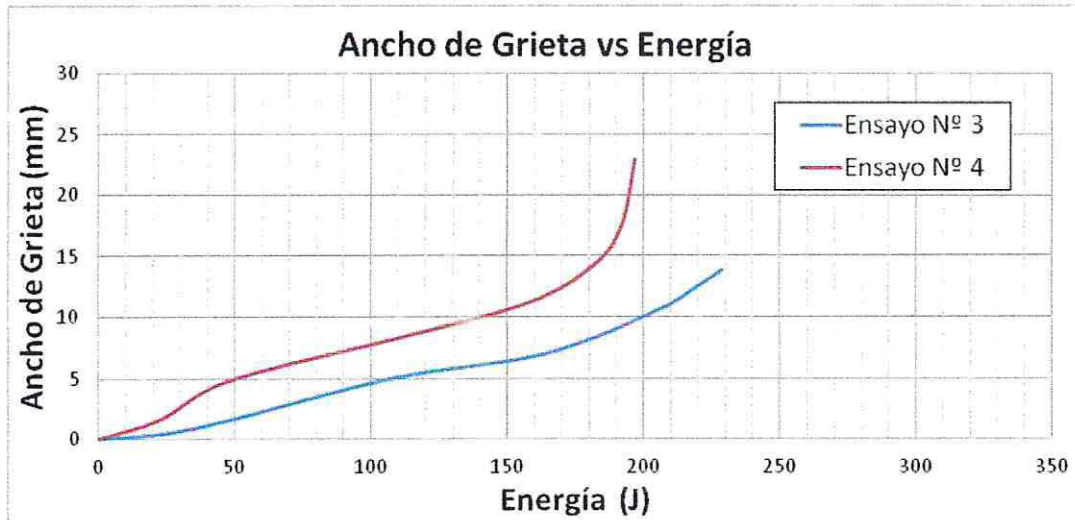


Gráfico 4.41- Relación entre Ancho de Grieta y Resistencia residual de los Ensayo N° 3 y 4 hasta deformación máxima.

c) Dosificación N° 3

Tabla 4.8- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 5 y 6.

ANÁLISIS 2 MUESTRAS								
PROPEX 601 UN MEDIO + PROPEX 601 UN TERCIO								
21 días de curado								
			PROPEX 601 (UN MEDIO)		PROPEX 601 (UN TERCIO)			
Carga peak (kN)			10,4		10,83			
Deformación Peak (mm)			1,97		1,45			
Energía Corregida (J) 40 mm			103,5		163,7			
Deformación (mm)			Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0			0	0	0	0	0	0
5			2,7	2	20,7	3,14	2,8	20,92
10			2,52	4,9	33,7	3,51	5,3	38,31
20			2,43	6,6	57,4	4,28	6	75,96
30			2,18	8,8	79,94	4,53	7,2	120,1
40			2,22	12	102,2	4,15	10,3	164,2
50			2,26	16,2	123,94	3,66	14,5	203,13
60			2,38	18,5	147,7	2,71	18,7	235,45

Los ensayos de los discos ilustrados en el gráfico 4.42 y en la tabla 4.8, muestran que las cargas máximas a flexión de cada disco son similares ya que ambas alcanzan un pico entre 1 y 2 mm de deformación. Después del primer agrietamiento la carga baja rápidamente un 75% de su carga máxima, dando lugar a que el refuerzo empiece actuar proporcionándole ductilidad al mortero proyectado. El disco reforzado con geotextil Propex 601 colocado a un tercio de la altura vuelve gradualmente a tomar carga la cual aumenta solo un 20% de su carga máxima hasta aproximadamente 30 mm de deformación, en donde luego empieza a reducir la carga rápidamente hasta los 60 mm de deformación con la capacidad de resistir solo el 25% de la carga máxima (véase Gráfico 4.6).

El disco con el refuerzo colocado a un medio de su altura, luego de su primer agrietamiento, el conjunto resiste cada vez menos carga de flexión llegando, al igual que el disco en comparación, a un 25% de su carga máxima a flexión dentro de los 5 y 60 mm de deformación.

Luego en las curvas energía- deformación (véase gráfico 4.43) se observa que el disco de mortero proyectado con el refuerzo a un tercio de su altura tiene mayor capacidad de absorción de energía que el disco con el refuerzo a un medio.

En los gráficos 4.44, 4.45 y 4.46 se observa que el ancho de grieta entre los discos es muy similar, aunque el disco con el refuerzo a un tercio tiene una capacidad de energía más alta que el disco con el refuerzo a un medio produciéndose los mismos anchos de grietas.



Gráfico 4.42 Comparación Disco reforzado con Geotextil Propex 601 (1/2H) y Disco reforzado con Geotextil Propex 601 (1/3H) hasta 40 mm de deformación.

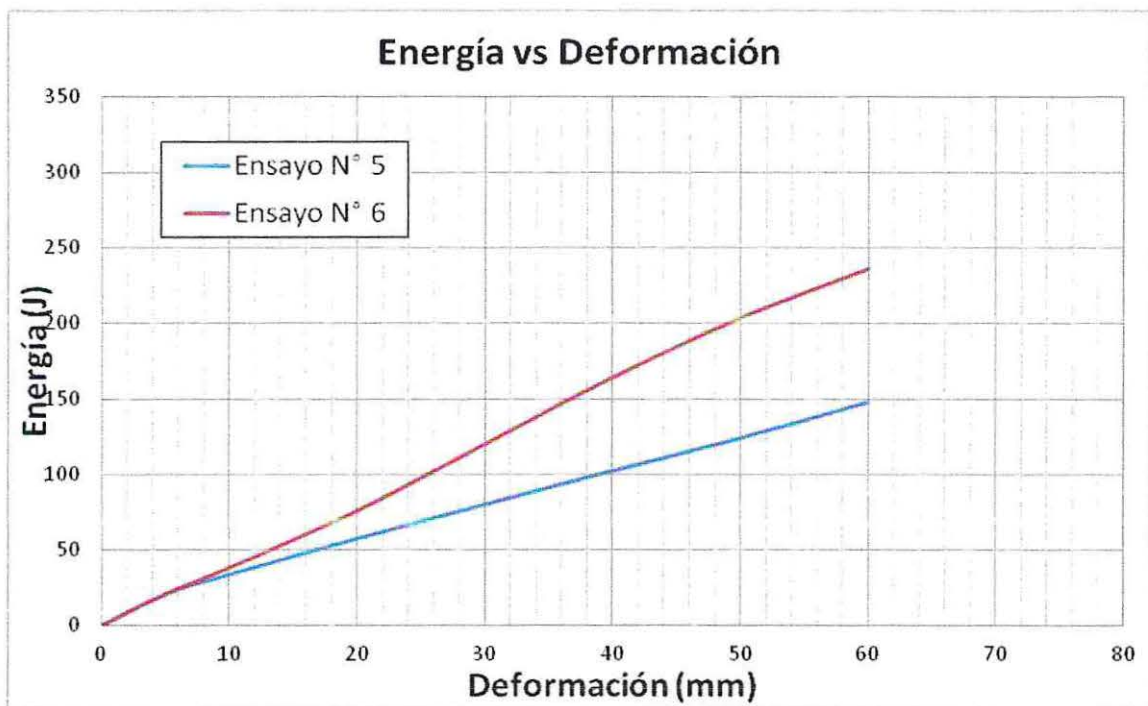


Gráfico 4.43 Comparación de las curvas de Absorción de Energía vs Deformación de los Ensayos N° 5 y 6 hasta deformación máxima.

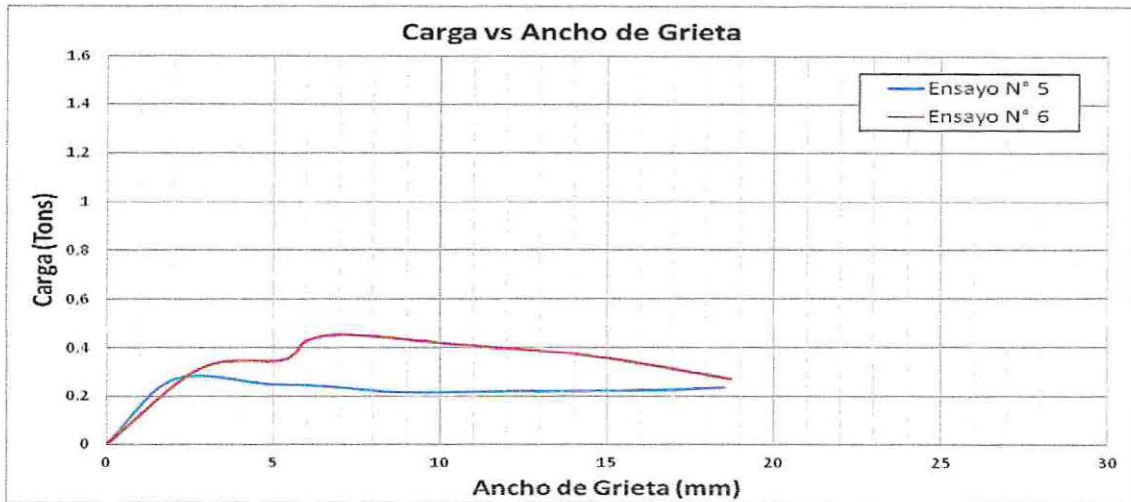


Gráfico 4.44- Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 5 y 6 hasta deformación máxima.



Gráfico 4.45- Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 5 y 6 hasta deformación máxima.

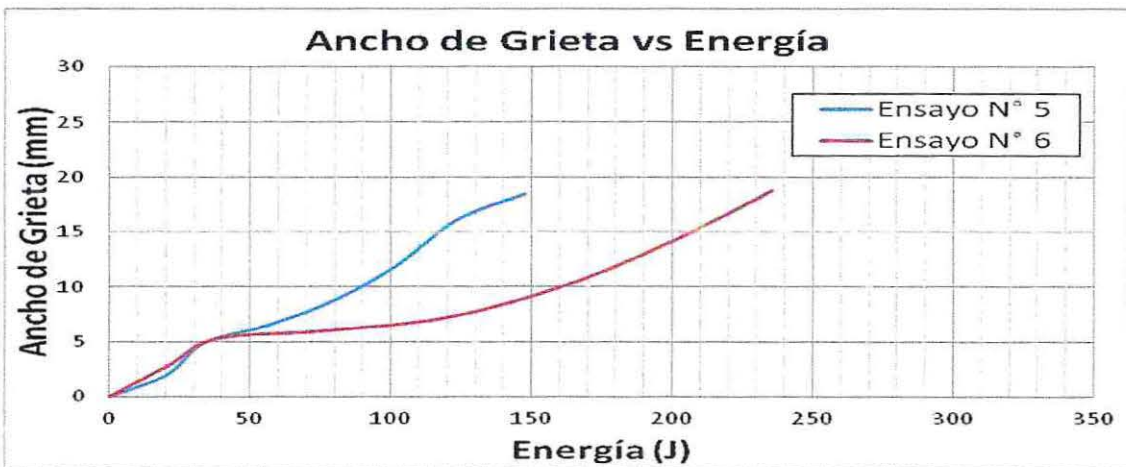


Gráfico 4.46- Relación entre Ancho de Grieta y Resistencia residual del Ensayo N° 5 y 6 hasta deformación máxima.

e) Dosificación N° 4

Para esta dosificación se llevaron a cabo 12 ensayos. Los discos fueron reforzados con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco (3), Biaxial Geogrid Type 2 a un tercio de la altura del disco (3), Geotextil Propex 351 a una medio de la altura del disco (3) y se ensayaron discos sin refuerzo (3). El número de muestras realizadas se indica entre paréntesis.

- **Discos sin refuerzo.**

Las curvas Carga-Deformación del gráfico 4.47, muestran los ensayos realizados a los discos sin refuerzo, las cuales son muy similares entre sí. Como se observa en el gráfico 4.48 la carga máxima promedio alcanzada por estos ensayos fue de 3,4 KN (0,34 Ton) a una deformación de aproximadamente 1mm (véase tabla 4.10), la cual por la dosificación utilizada es de muy baja resistencia. La energía absorbida promedio de estos ensayos es de 3,5 Joules.

Tabla 4.9- Resultados de los valores de Carga Máxima (kN) y Absorción de Energía (J) de Discos sin Refuerzo de Dosificación 4.

Resultados de 3 muestras Sin refuerzo 21 días de curado		Disco Sin Refuerzo (Ensayo N° 7)			Disco Sin Refuerzo (Ensayo N° 8)			Disco Sin Refuerzo (Ensayo N° 9)		
Carga peak (kN)		3,15			2,93			3,27		
Deformación Peak (mm)		0,84			0,63			0,91		
Energía Corregida (J) 3 mm		3,03			3,04			3,59		
Deformación (mm)		Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
3		0,13	0	3,04	0,18	0	3,4	0,51	0	3,59

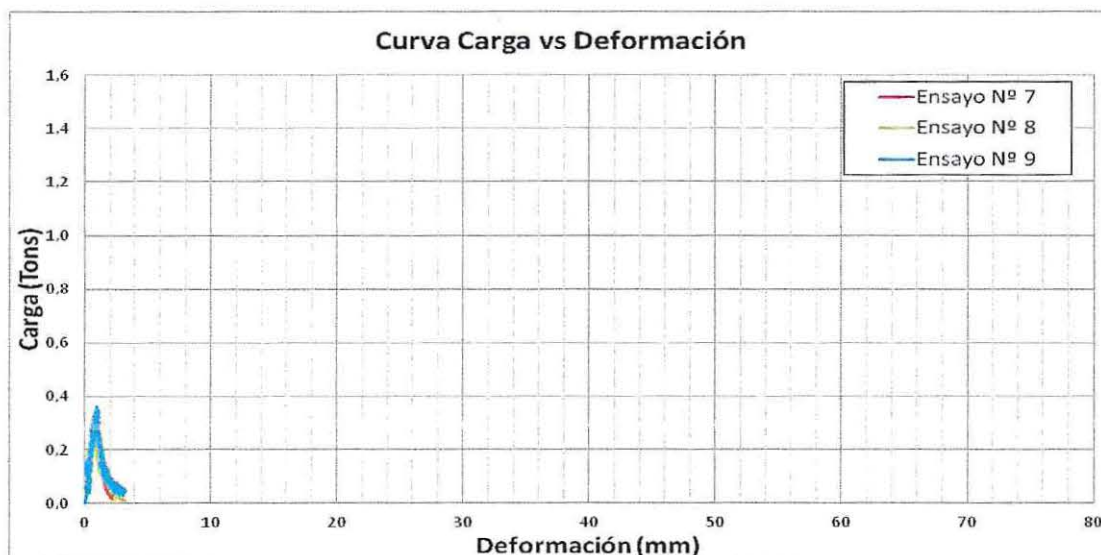


Gráfico 4.47 Relación Carga – Deformación de 3 discos sin refuerzo.

Tabla 4.10- Resultados de los valores promedio de Carga Máxima (kN) y Absorción de Energía (J) de 3 discos sin Refuerzo de Dosificación 4.

Promedio de 3 muestras Sin refuerzo 21 días de curado		
Carga peak (kN)	3,4	
Deformación Peak (mm)	0,65	
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)
Disco se rompe aproximadamente a los 3,0mm		
Energía absorbida promedio de los discos 3,5 (J).		



Gráfico 4.48 Relación Carga – Deformación promedio de los 3 discos sin Refuerzo.

- **Discos reforzados con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.**

Como puede verse en el gráfico 4.49, las cargas máximas de los tres discos reforzados con la misma geogrilla son similares, alcanzando una carga máxima promedio de 4,0 kN (0,4 Ton) a una deformación de aproximadamente 1mm (véase Tabla 4.11). Luego retoma el 50% de su carga máxima entre los 3 y 40 mm. La resistencia residual proporcionada por el refuerzo de geogrilla a los 40 mm de deformación alcanza un promedio de 70,3 Joules (véase gráfico 4.51).

La deformación promedio alcanzada por estos discos de mortero pobre proyectado es de 40 mm de deformación máxima (véase Ensayos 10,11 y 12).

La incidencia del refuerzo en el mortero proyectado, se observa en el aumento de la resistencia residual del conjunto. En este caso al comparar la energía absorbida por el disco sin refuerzo con la energía absorbida del disco reforzado con geogrilla biaxial geogrid type 2, se observa que esta aumenta en un 2000%.

La relación entre el ancho de grieta que sufre la matriz con respecto a la carga, la deformación y la energía absorbida que sufre el conjunto se puede ver en los gráficos 4.52, 4.53 y 4.54, los cuales se analizaron hasta los 40 mm, ya que una de las muestras tuvo esa deformación máxima. Los resultados nos indican que este conjunto llega a tener un ancho de grieta de aproximadamente 9 mm (véase Tabla 4.12). En el Anexo 2 se observa un registro fotográfico de las grietas sufridas por el conjunto.

Tabla 4.11 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 10,11 y12.

Resultados de 3 muestras									
BI. GEOMALLA. TYPE 2 UN MEDIO									
21 días de curado									
	BIAXILA GEOGRID T2 (Ensayo N° 10)			BIAXILA GEOGRID T2 (Ensayo N° 11)			BIAXILA GEOGRID T2 (Ensayo N° 12)		
Carga peak (kN)	4,0			3,8			4,0		
Deformación Peak (mm)	1,2			1,4			0,7		
Energía Corregida (J) 40 mm	52,0			67,9			91,1		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	1,2	3,0	8,6	1,2	2,0	8,8	1,5	2,0	9,6
10	1,6	5,1	15,0	1,4	2,7	15,1	2,0	3,0	17,8
20	1,3	6,3	26,9	1,9	3,4	31,2	2,5	5,0	38,0
30	1,3	7,6	38,9	2,0	9,0	50,5	2,9	6,0	63,0
40	1,2	8,6	51,7	0,9	9,8	71,0	2,9	8,3	90,0
50	1,2	12,0	62,9	*	*	*	2,1	14,0	114,5
60	1,2	16,0	74,8	*	*	*	*	*	*

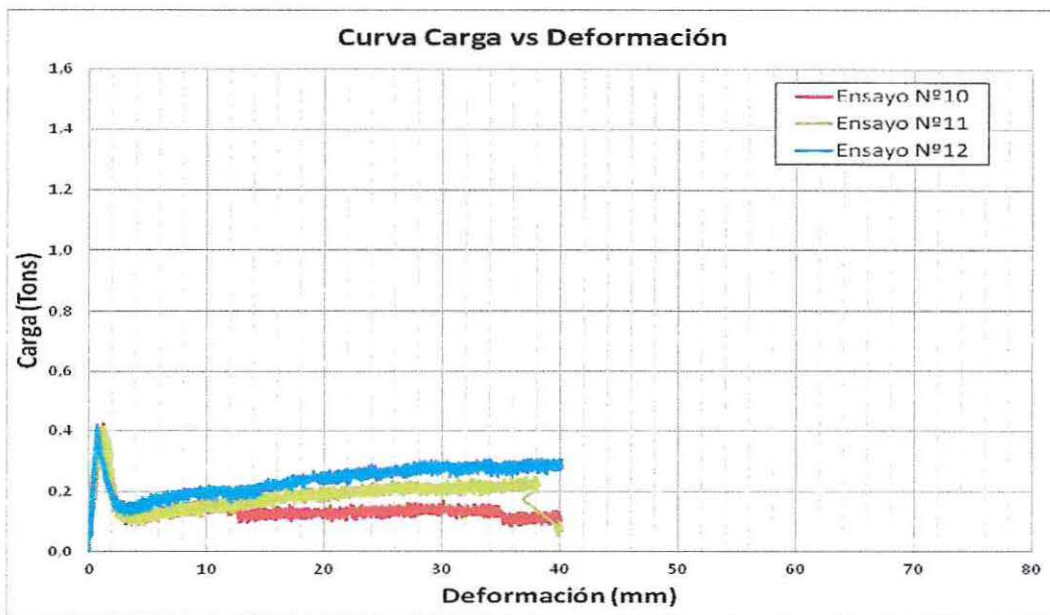


Gráfico 4.49- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 con Dosificación 4 hasta 40 mm de deformación.

Tabla 4.12- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 10,11 y12.

Promedio de 3 muestras BIAXIAL GEOGRID TYPE 2 UN MEDIO 21 días de curado			
Carga peak (kN)	4,0		
Deformación Peak (mm)	1,1		
Energia Corregida (J) 40mm	70,3		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0,0	0,0	0,0
5	1,3	2,3	9,0
10	1,7	3,6	16,0
20	1,9	4,9	32,1
30	2,1	7,5	50,8
40	1,6	8,9	70,9
50	*	*	*
60	*	*	*

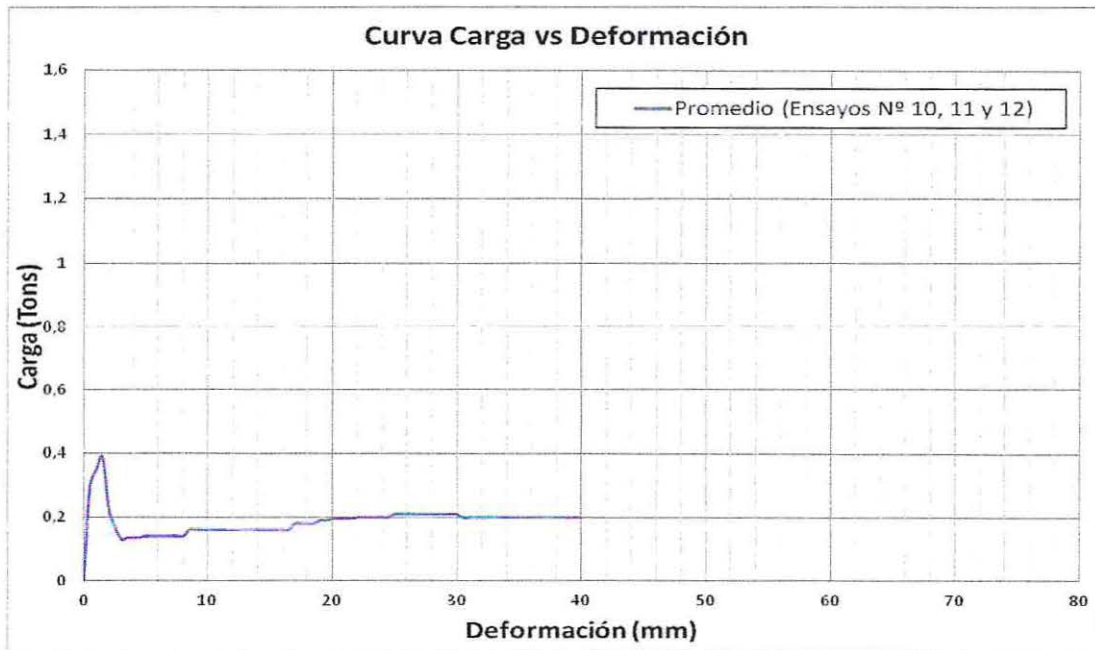


Gráfico 4.50- Relación Carga- Deformación del promedio de los resultados de los discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 con Dosificación 4 hasta 40 mm de deformación.

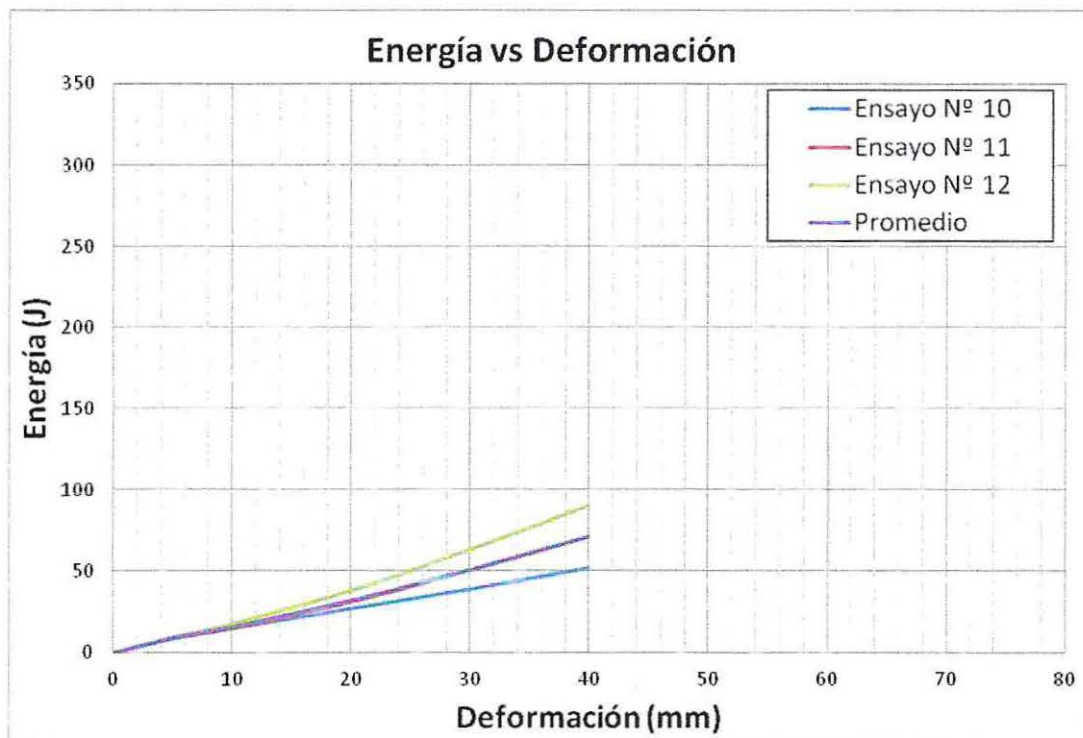


Gráfico 4.51 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.

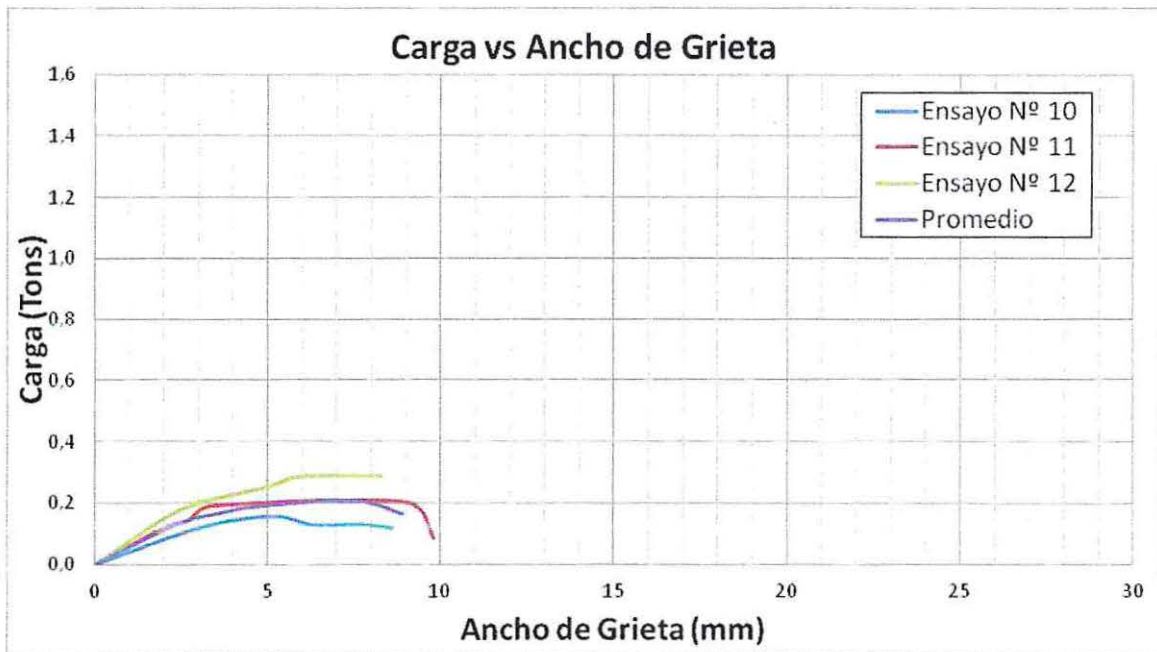


Gráfico 4.52 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.

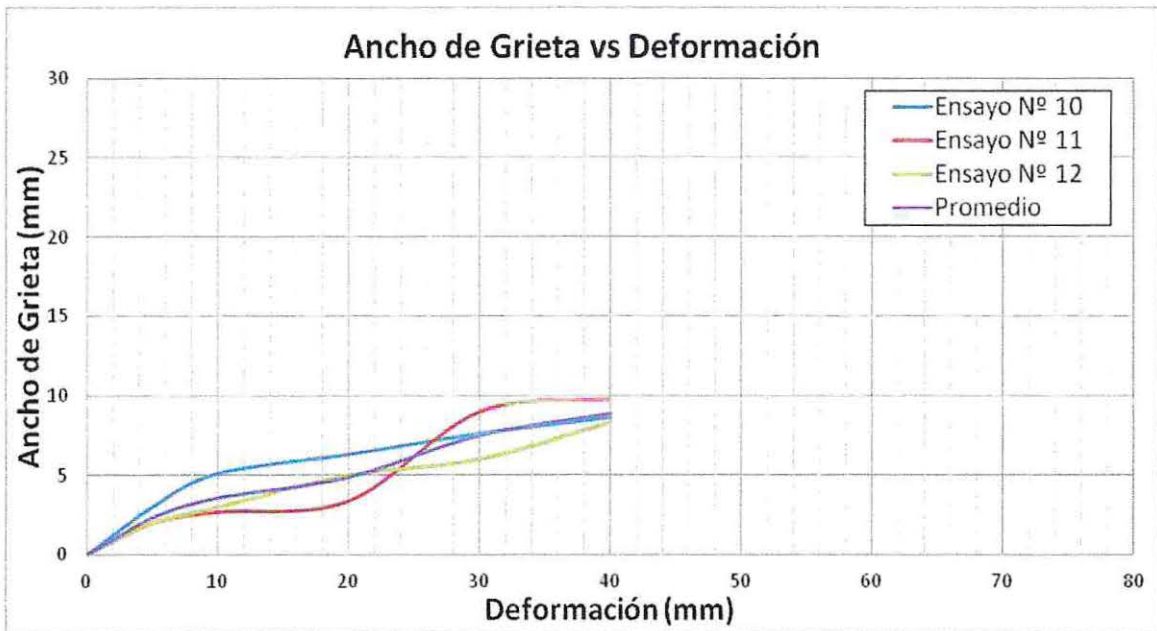


Gráfico 4.53 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.

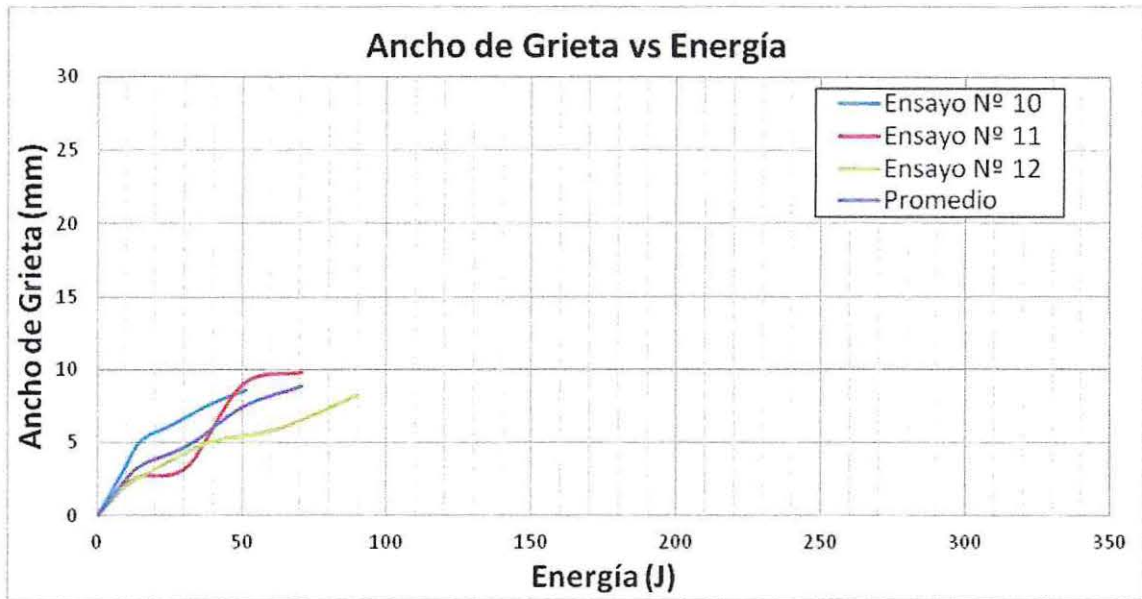


Gráfico 4.54 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 10, 11, 12 y Promedio hasta 40 mm de deformación.

f) Dosificación N° 5

- **Discos reforzados con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.**

Los resultados de los tres paneles redondos reforzados con la geogrilla de la referencia se ilustran en las Tablas 4.13 y 4.14, mientras que en los gráficos 4.55 y 4.56 se muestra el análisis de los resultados hasta los 40mm de deformación. En la tabla 4.14 se observan resultados promedios de la carga máxima, la deformación del primer agrietamiento, la resistencia residual y el ancho de las grietas, obtenidas a partir de los tres paneles redondos ensayados a los 21 días de curado.

La curva promedio Carga- Deformación de los ensayos N° 19,20 y 21 se ilustra en el gráfico 4.56. El primer agrietamiento se produce a una carga de flexión máxima de 7,4 KN (0,74 Tons) dentro de los 2mm de deformación, y después de este primer agrietamiento un gran porcentaje de carga se pierde. Debido a la acción de la geogrilla, el conjunto comienza a resistir mas carga.

La resistencia residual aumenta a medida que el conjunto se deforma, llegando a 140 Joules para deformaciones de 40 mm (véase Tabla 4.14 y gráfico 4.56)

Con una carga cada vez mayor comienza el proceso de agrietamiento en la matriz, el cual llega a 19 mm (véase Tabla 4.14).

Tabla 4.13 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 19,20 y 21.

Registro de 3 muestras E'GRID BIAxIAL 20x20											
21 días de curado											
Disco Biaxial E'grid 2020 (Ensayo N°19)			Disco Biaxial E'grid 2020 (Ensayo N°20)			Disco Biaxial E'grid 2020 (Ensayo N°21)					
Carga peak Corregida(kN)			7,67			6,38			8,12		
Deformación Peak (mm)			2,18			1,52			1,93		
Energía Corregida (J) 40 mm			152,92			118,2			147,67		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	2,06	0,5	17,65	1,98	2,5	11,99	2,04	0,8	14,54		
10	2,9	2	35,8	2,94	3,3	23,08	3,14	2	26,93		
20	4,48	5,1	88,6	3,41	9,4	53,79	4,57	6	64,6		
30	4,74	8,7	147,2	3,23	12,3	84,5	4,94	9,2	110,66		
40	5,16	12,8	206,5	3,65	13,7	116,9	3	12	147,67		
50	3,85	15,5	258,7	3,88	17,2	150,6	2,66	19,1	173,21		
60	4,31	16,3	287,8	4,25	20	187,23	1,02	20,7	190,4		

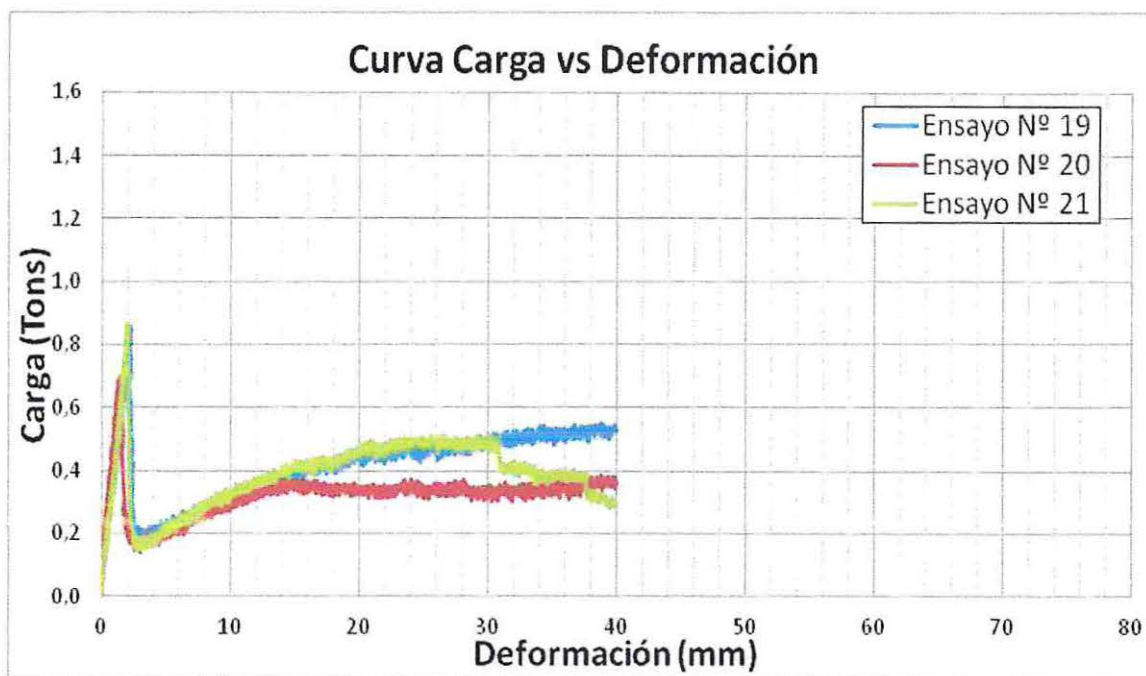


Gráfico 4.55- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.

Tabla 4.14- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 19,20 y 21.

Promedio de 3 muestras E'GRID BIAxIAL 20X20 21 días de curado			
Carga peak (kN)	7,39		
Deformación Peak (mm)	1,88		
Energía Corregida (J) 40 mm	139,60		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0,00	0,00	0,00
5	2,03	1,27	14,73
10	2,99	2,43	28,60
20	4,15	6,83	69,00
30	4,30	10,07	114,12
40	3,94	12,83	157,02
50	3,46	17,27	194,17
60	3,19	19,00	221,81



Gráfico 4.56- Relación Carga- Deformación del promedio de los resultados de los discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.

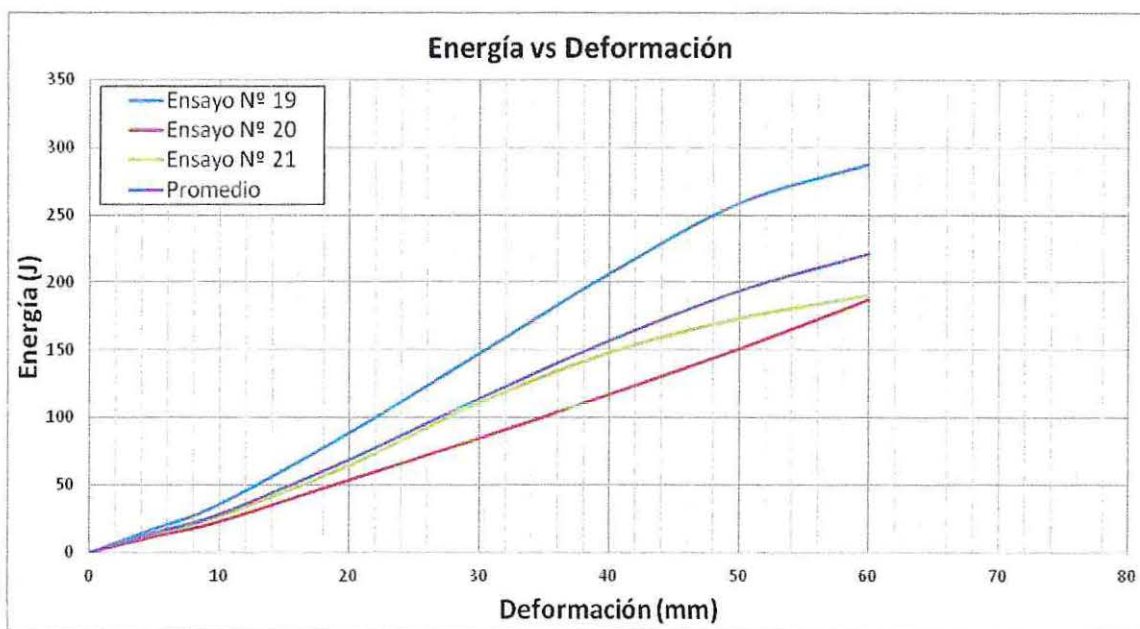


Gráfico 4.57 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.

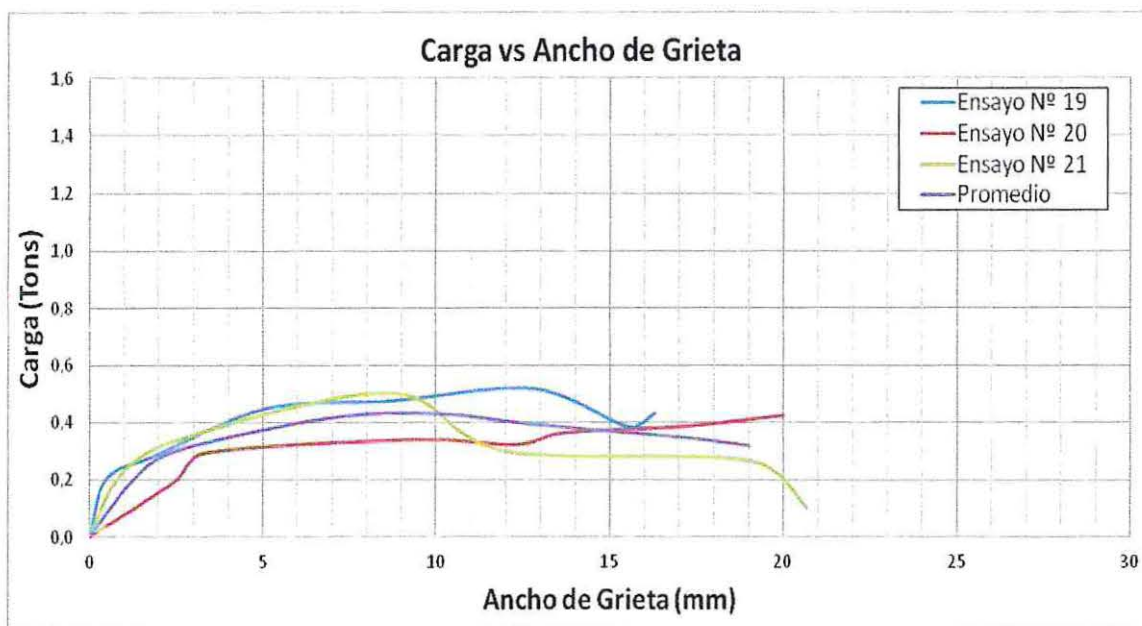


Gráfico 4.58 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.

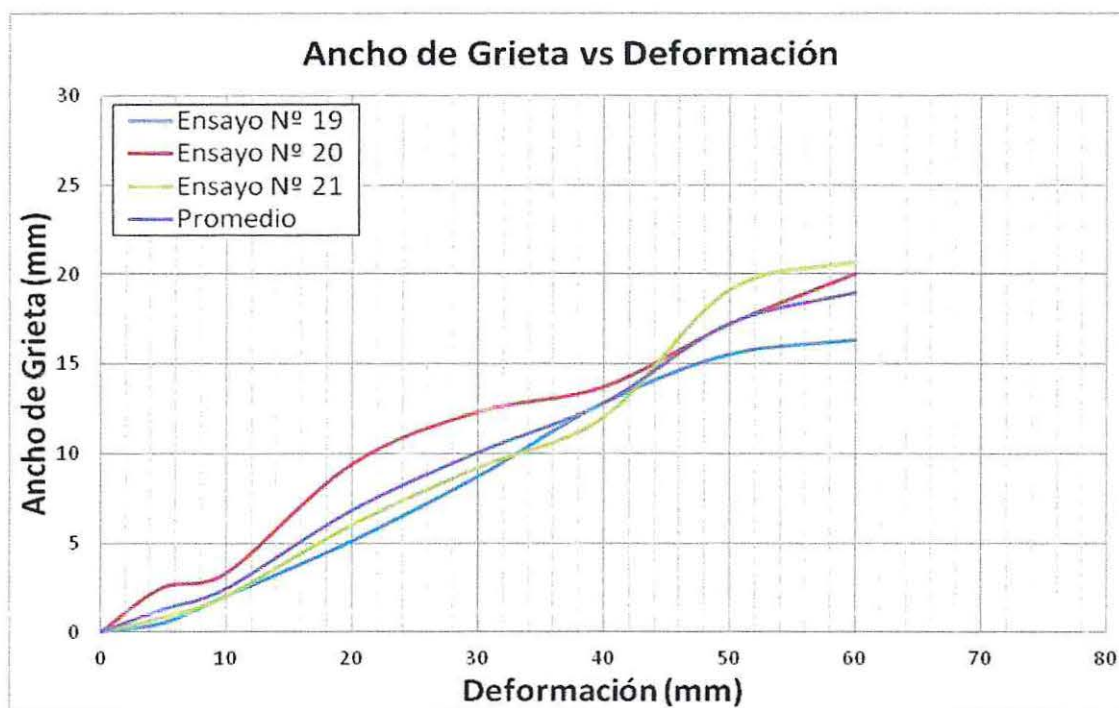


Gráfico 4.59 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.

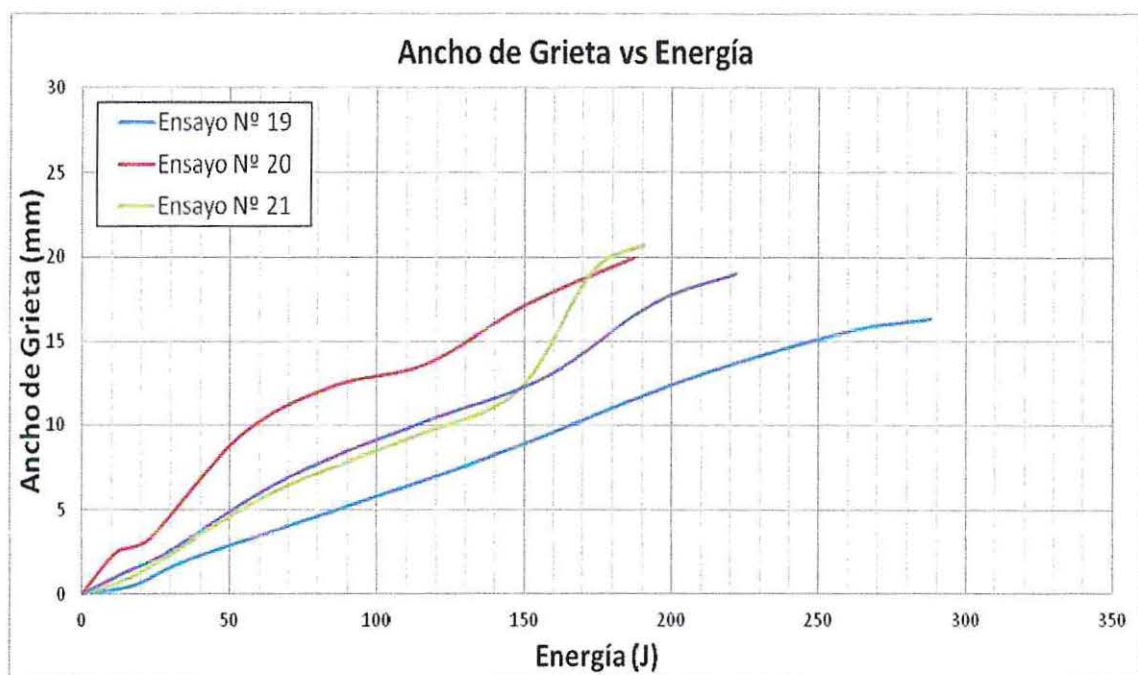


Gráfico 4.60 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 19, 20, 21 y Promedio hasta deformación máxima.

- **Discos reforzados con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.**

Los curvas Carga- Deformación del gráfico 4.61 se elevan dentro de una deformación de aproximadamente 1,5 mm a un máximo de 8,12 KN (0,8012 Tons) y luego cae rápidamente un 65 % dentro de 1,5 a 3 mm de deformación. El gráfico 4.62 y 4.63 muestra el comportamiento del mortero proyectado reforzado con Biaxial E'grid 3030 hasta una deformación específica de 40mm.

Al igual que los otros ensayos, la Tabla 4.15 nos da a conocer los resultados de la carga máxima a flexión, deformación del primer agrietamiento, el comportamiento post agrietamiento (Energía absorbida) y el ancho de las grietas que se producen en el hormigón.

La resistencia residual a los 40 mm es similar entre los tres discos ensayados, por ende se saca un promedio (véase tabla 4.16), el cual es de 202,1 (J).

Las grietas aumentan constantemente llegando a un ancho máximo de 19 mm aproximadamente.

Tabla 4.15 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 22,23 y 24.

Registro de 3 muestras E'GRID BIAxIAL 30X30									
21 días de curado									
Disco Biaxial E'grid 3030 (Ensayo N°22)			Disco Biaxial E'grid 3030 (Ensayo N°23)			Disco Biaxial E'grid 3030 (Ensayo N°24)			
Carga peak Corregida(kN)			9,17			6,50			8,70
Deformación Peak (mm)			1,42			0,98			1,61
Energía Corregida (J) 40 mm			206,32			185,32			214,60
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,18	1,20	17,65	3,71	1,00	15,67	3,63	1,00	20,34
10	4,73	2,60	35,80	4,91	3,50	35,81	5,12	2,30	41,60
20	6,32	7,10	88,60	4,74	6,20	82,50	6,22	6,70	95,30
30	6,12	11,70	147,20	5,68	8,70	131,50	6,44	9,60	156,90
40	6,31	15,80	206,50	5,46	14,00	184,26	5,68	14,40	216,64
50	4,30	19,00	258,70	6,07	16,10	238,00	6,76	18,00	277,12
60	2,07	20,60	287,80	6,32	16,80	296,95	5,10	20,00	329,02

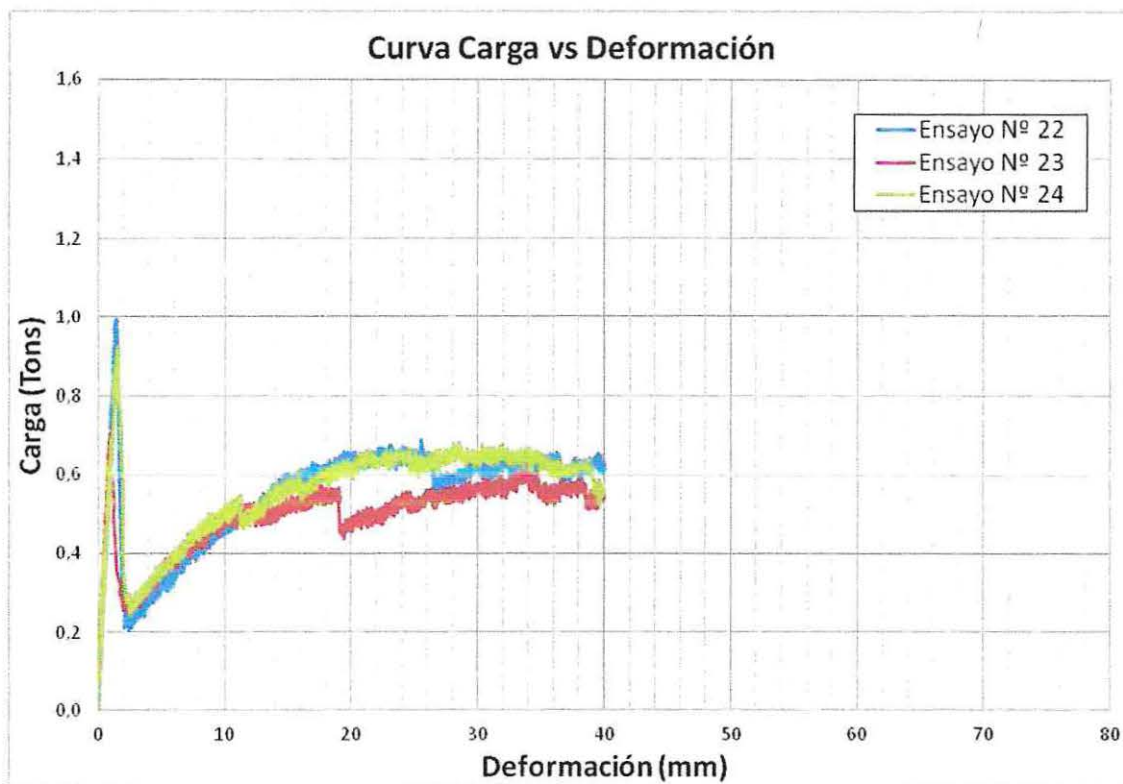


Gráfico 4.61- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial E'grid 3030 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.

Tabla 4.16- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 22,23 y 24

Promedio de 3 muestras			
E'GRID BIAxIAL 3030			
21 días de curado			
Carga peak (kN)	8,12		
Deformación Peak (mm)	1,34		
Energía Corregida (J) 40 mm	202,08		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0,00	0,00	0,00
5	3,51	1,07	17,89
10	4,92	2,80	37,74
20	5,76	6,67	88,80
30	6,08	10,00	145,20
40	5,82	14,73	202,47
50	5,71	17,70	257,94
60	4,50	19,13	304,59

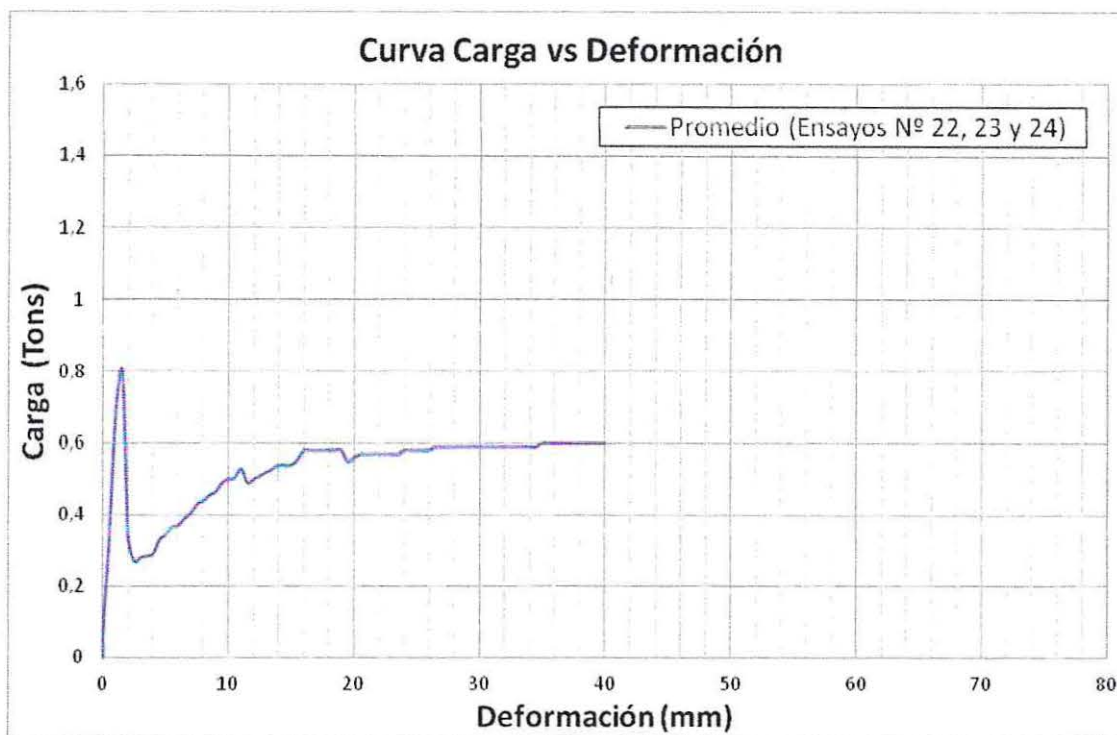


Gráfico 4.62 Relación Carga- Deformación del promedio de los resultados de los discos con refuerzo Biaxial E'grid 3030 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.

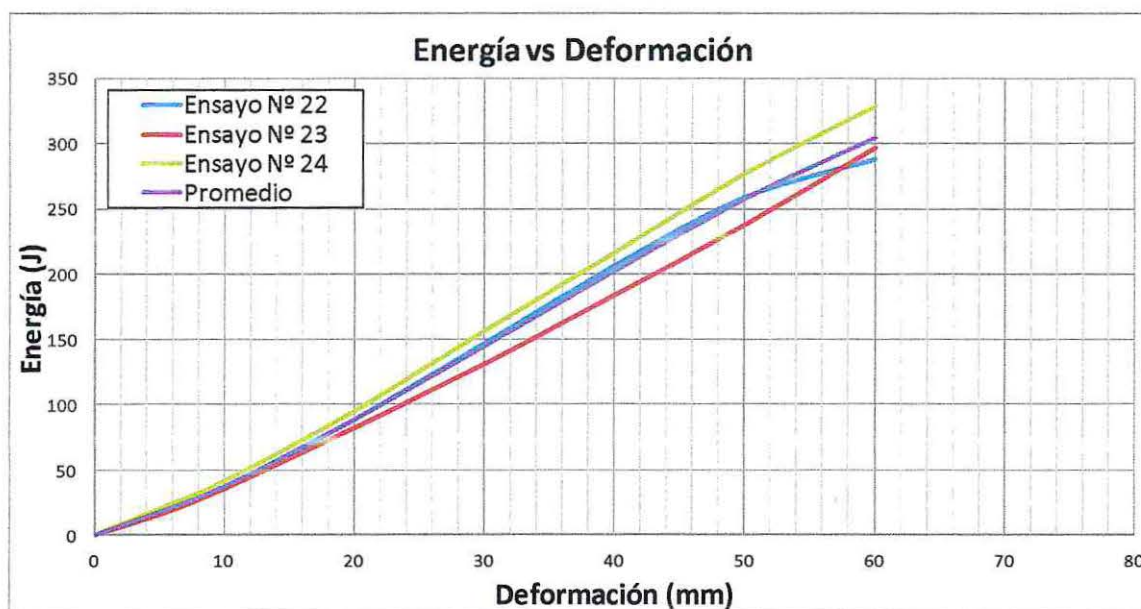


Gráfico 4.63 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.

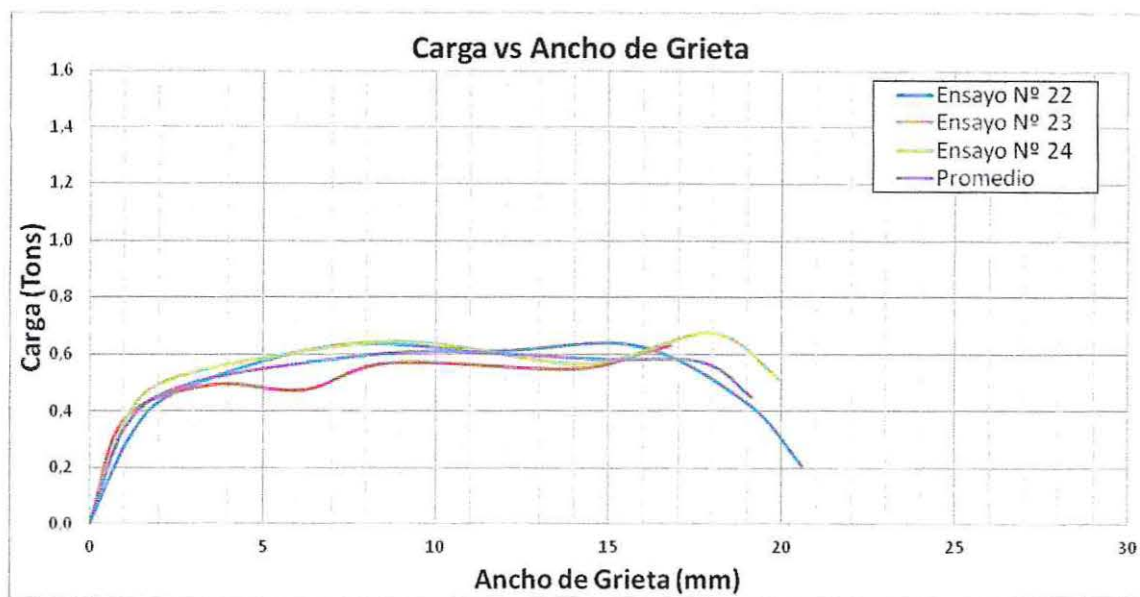


Gráfico 4.64 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.

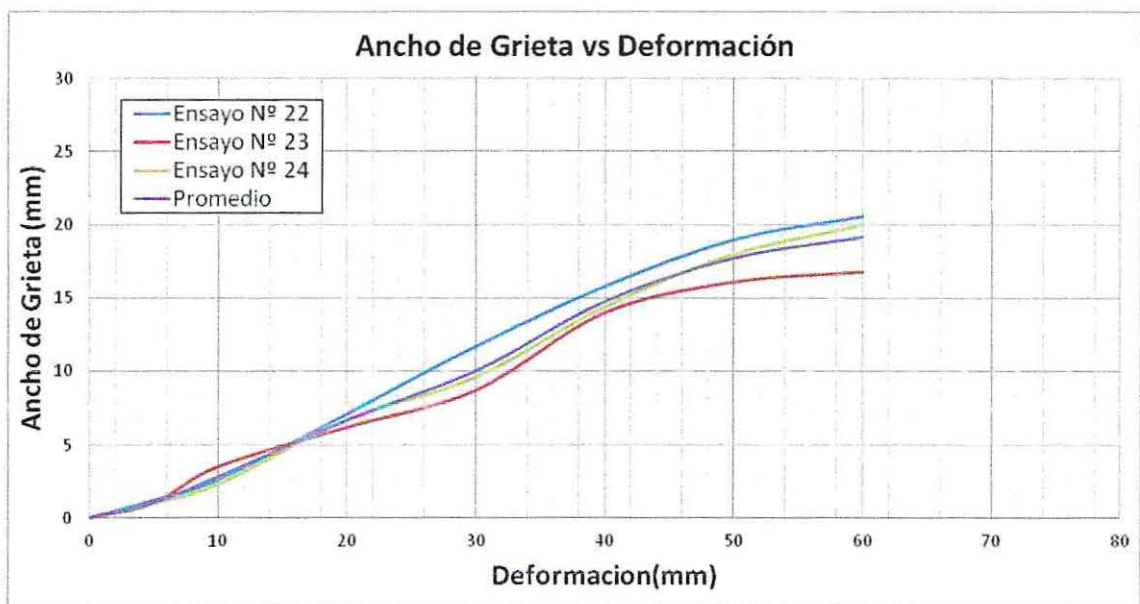


Gráfico 4.65 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.

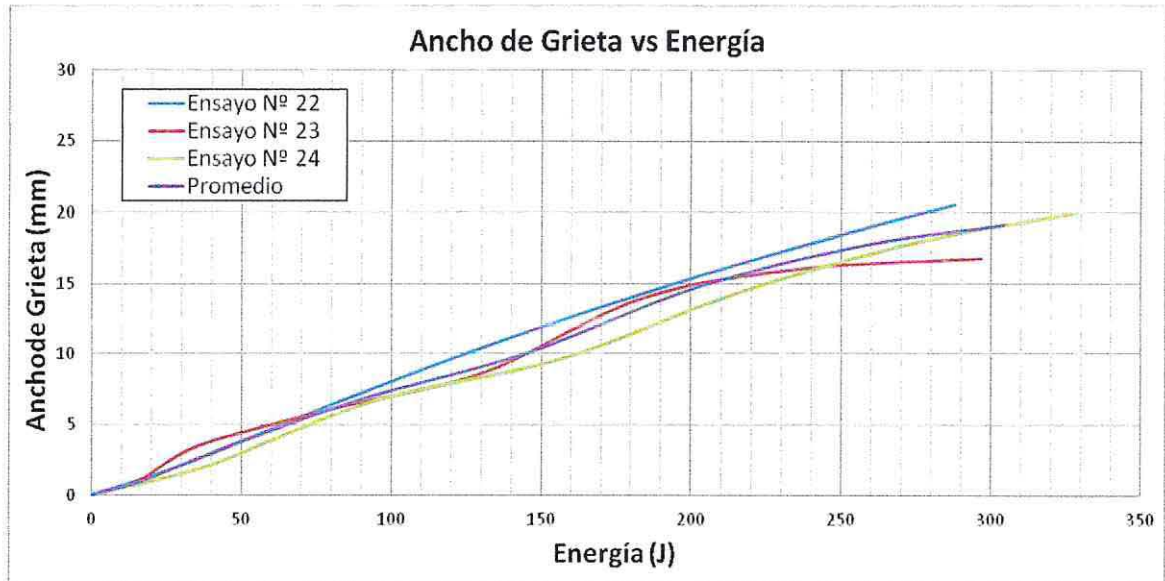


Gráfico 4.66 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 22, 23, 24 y Promedio hasta deformación máxima.

- **Discos reforzados con Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.**

Para el análisis del refuerzo de geotextil Propex 351 en la dosificación 5 de mortero proyectado, se confeccionaron tres muestras de las cuales una no tuvo los resultados óptimos (grieta diametral).

El gráfico 4.67 para los dos discos reforzados con geotextil propex 351 muestra una gran similitud entre los ensayos, por lo tanto se saca un promedio de las dos curvas carga-deformación. Esta curva nos muestra que el conjunto tiene la capacidad de resistir aproximadamente 5 kN (0,5 Tons) de carga máxima de flexión entre los 1 y 2 mm de deformación.

La energía absorbida promedio a los 40 mm de deformación fue de tan solo 54 (J) (véase Tabla 4.18).

Las grietas observadas en el mortero son propias a las producidas por flexión, apreciándose aberturas promedio de 15 mm con profundidades de la longitud del radio del disco. En los gráficos 4.69, 4.70 y 471 se aprecian la evolución de las grietas dependiendo de la carga, deformación y energía que puede soportar el conjunto.

Tabla 4.17 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 25 y 26.

Registro de 3 muestras PROPEX 351						
21 días de curado						
Disco Geotextil Propex 351 (Ensayo N° 25)			Disco Geotextil Propex 351 (Ensayo N° 26)			
Carga peak Corregida(kN)			3,91		6,57	
Deformación Peak (mm)			1,56		1,54	
Energía Corregida (J) 40 mm			30,35		77,88	
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0	0	0	0
5	1,02	3	9,99	1,51	1	12,78
10	0,73	4	13,44	1,61	2	20,04
20	0,59	6	19,5	1,86	6	36,7
30	0,54	7,5	24,7	2,14	9,7	55,9
40	0,6	8	29,4	2,42	12,3	77,36
50	0,72	10	35,6	2,56	16	101,1
60	0,7	12	42,6	2,77	18,4	127,24

Tabla 4.18- Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 25 y 26.

Promedio de 2 muestras PROPEX 351 21 días de curado			
Carga peak (kN)		5,24	
Deformación Peak (mm)		1,55	
Energía Corregida (J) 40 mm		54,12	
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0
5	1,265	2	11,385
10	1,17	3	16,74
20	1,225	6	28,1
30	1,34	8,6	40,3
40	1,51	10,15	53,38
50	1,64	13	68,35
60	1,735	15,2	84,92

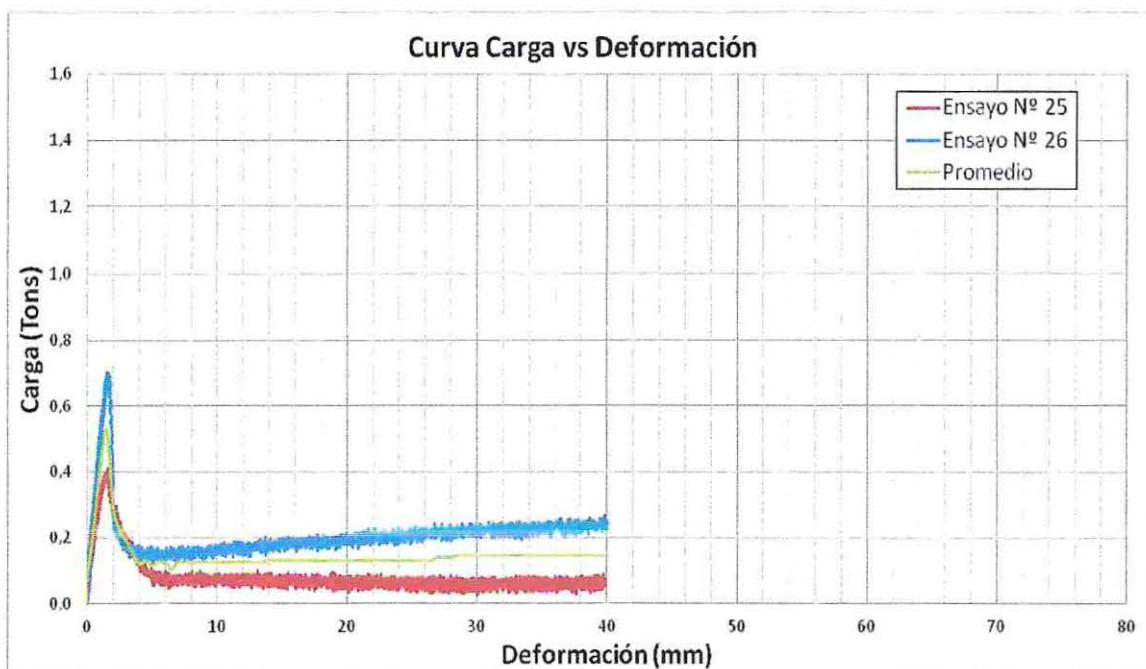


Gráfico 4.67- Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Geotextil Propex 351 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.

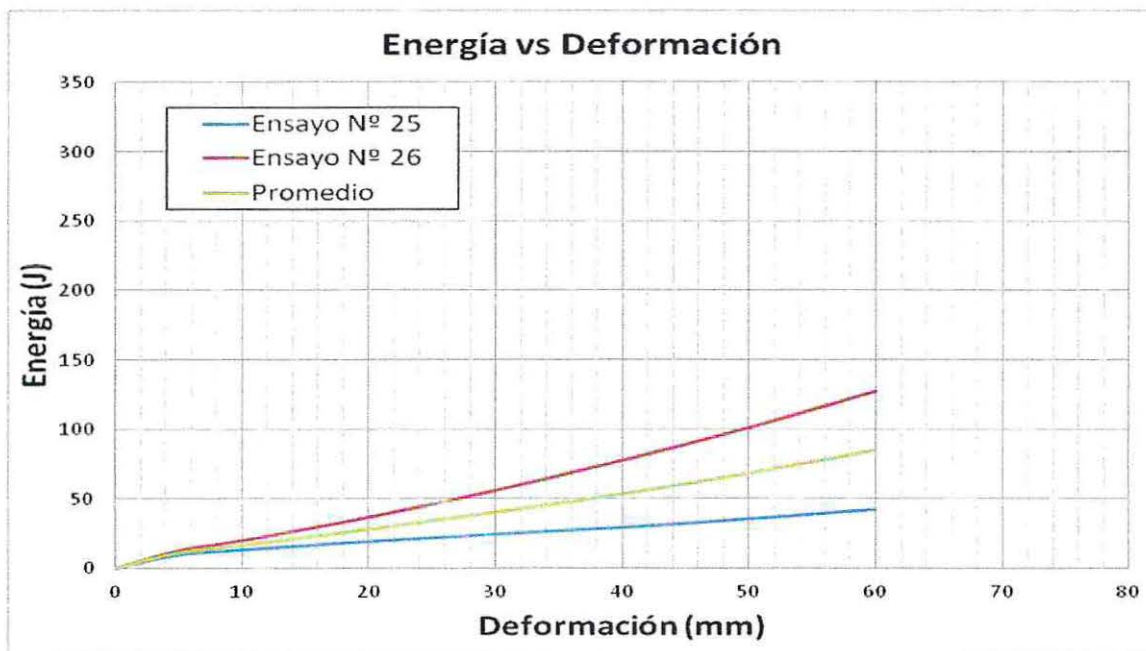


Gráfico 4.68 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.

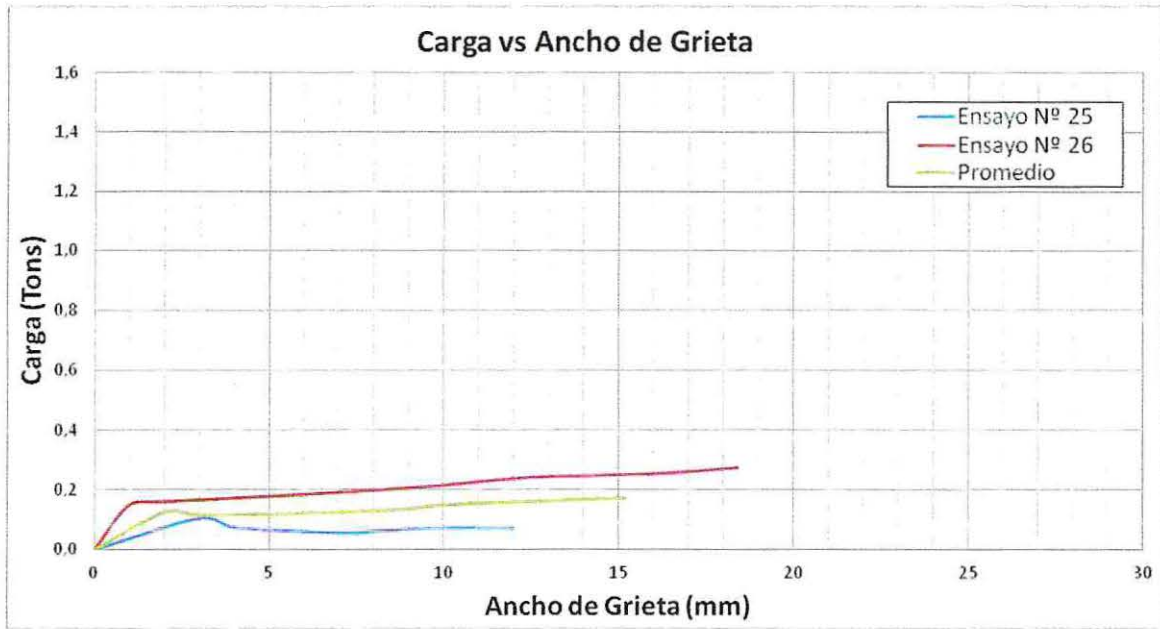


Gráfico 4.69 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.



Gráfico 4.70 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.

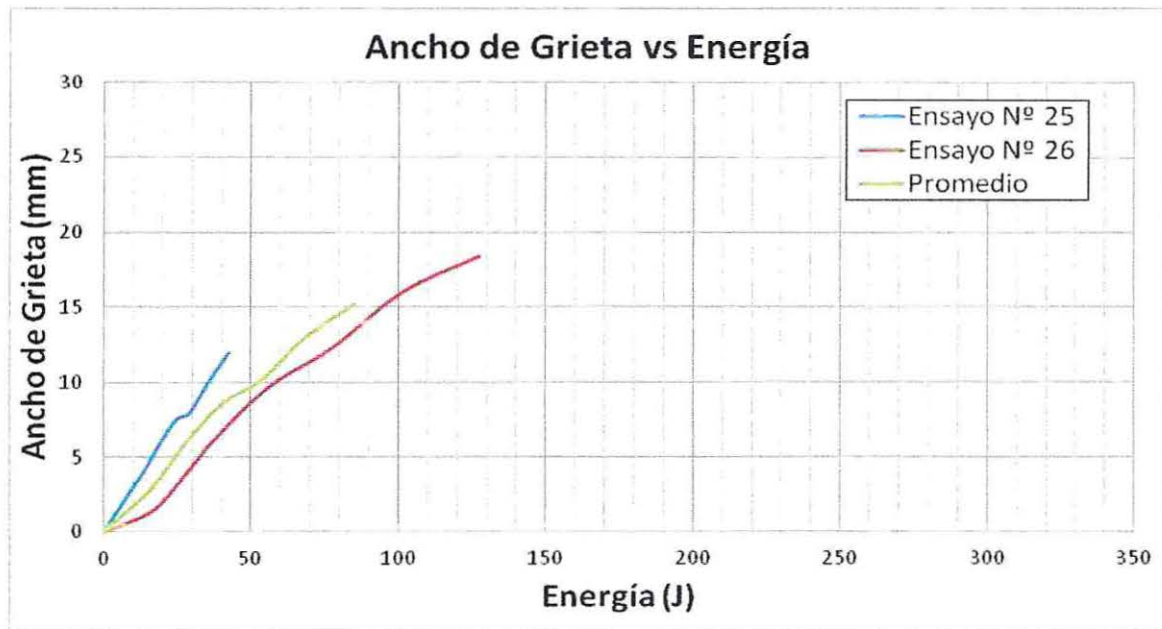


Gráfico 4.71 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 25, 26 y Promedio hasta deformación máxima.

- Discos reforzados con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.

Las curvas carga-deformación del gráfico 4.72, como resultado de los ensayos N° 29 y 30, muestran que el conjunto tiene una capacidad de resistir una carga máxima a flexión de aproximadamente 8,9 KN (0,890 Tons), alrededor de los 2mm de deformación. La carga decae un 70% en donde comienza a actuar el refuerzo en prueba, lo cual hace recuperar la carga en un 40% manteniéndose relativamente constante.

Su resistencia residual promedio a los 40 mm de deformación es de 181 Joules, presenciando grietas con una dilatación de 1cm (véase Tabla 4.19 y 4.20).

Las grietas aumentan constantemente su ancho dependiendo de la deformación, carga y energía absorbida que el conjunto pueda resistir, llegando a un ancho de las grietas de aproximadamente 18 mm en una deformación de 60 mm (véase gráficos 4.74, 4.75 y 4.76)

Tabla 4.19 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 29 y 30.

Registro de 3 muestras BIAXIAL GEOGRID TYPE 2 21 días de curado						
Disco Biaxial Geogrid T 2 (Ensayo N° 29)			Disco Biaxial Geogrid T 2 (Ensayo N° 30)			
Carga peak Corregida(kN)	8,87			8,86		
Deformación Peak (mm)	1,5			2,23		
Energía Corregida (J) 40 mm	183,81			179,36		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0	0	0	0
5	2,75	0,80	18,16	2,65	1,00	20,31
10	4,12	2,00	34,42	3,78	2,60	35,55
20	5,52	5,00	81,20	5,23	5,00	80,67
30	5,87	9,70	132,20	5,22	8,60	130,19
40	4,94	10,80	182,70	4,82	10,08	179,64
50	4,51	13,50	228,83	4,02	13,20	221,90
60	4,41	17,00	263,06	3,57	18,00	259,22

Tabla 4.20 Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 29 y 30.

Promedio de 2 muestras BIAXIAL GEOGRID TYPE 2 21 días de curado			
Carga peak (kN)	8,87		
Deformación Peak (mm)	1,87		
Energía (J)	181,59		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0
5	2,70	0,90	19,24
10	3,95	2,30	34,99
20	5,38	5,00	80,94
30	5,55	9,15	131,20
40	4,88	10,44	181,17
50	4,27	13,35	225,37
60	3,99	17,50	261,14

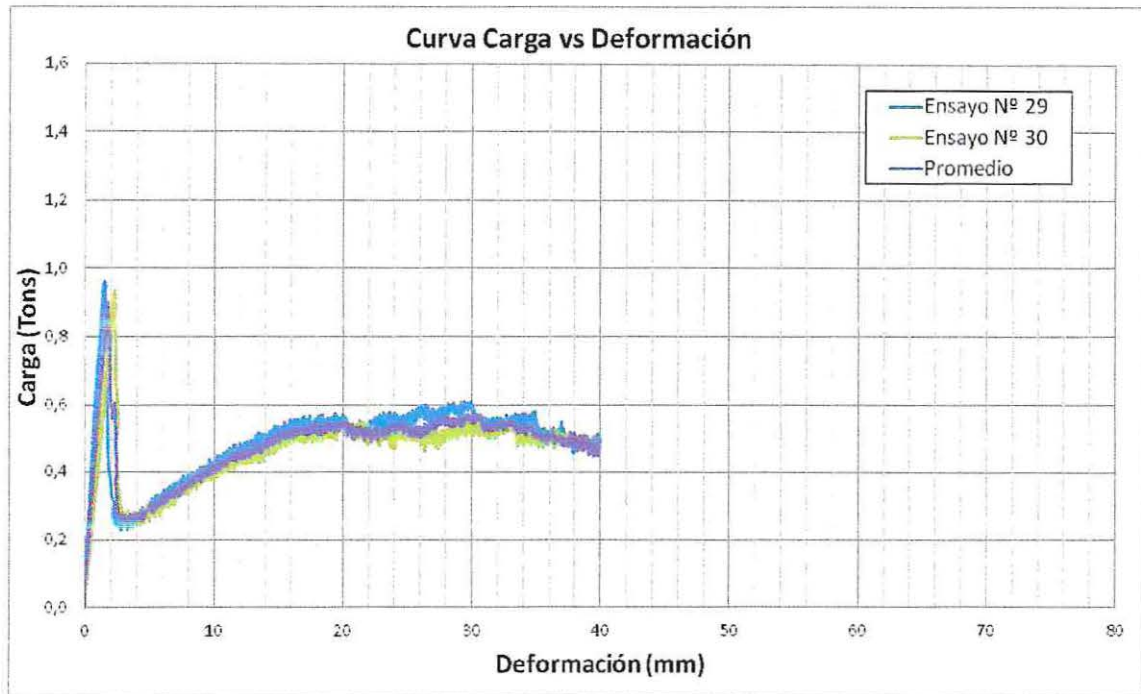


Gráfico 4.72 Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.

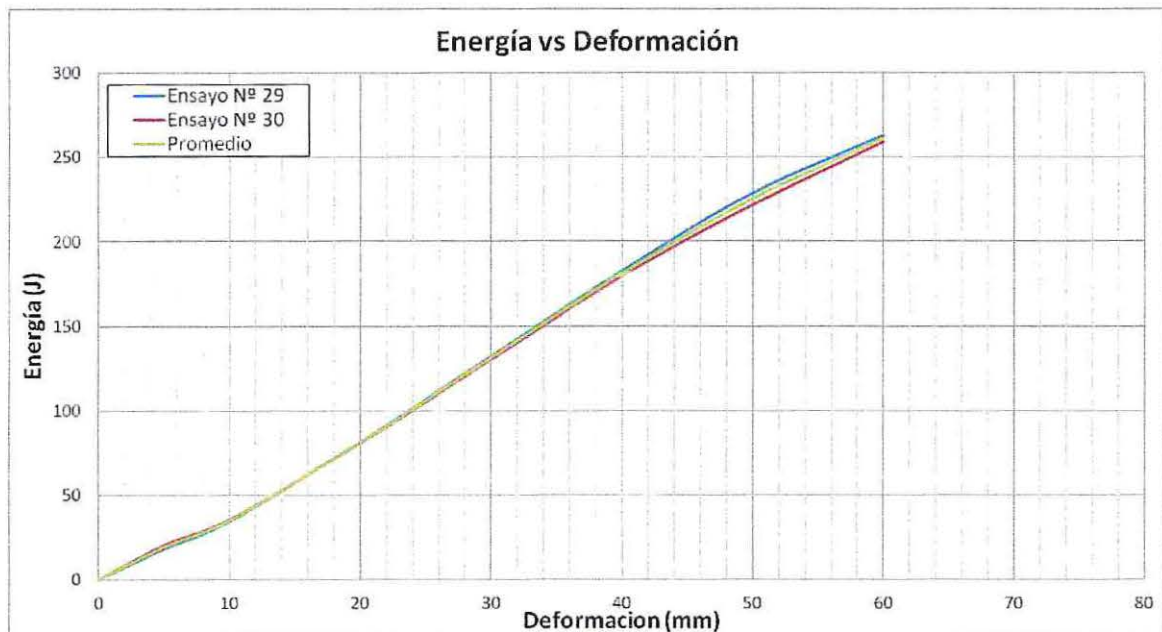


Gráfico 4.73 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.

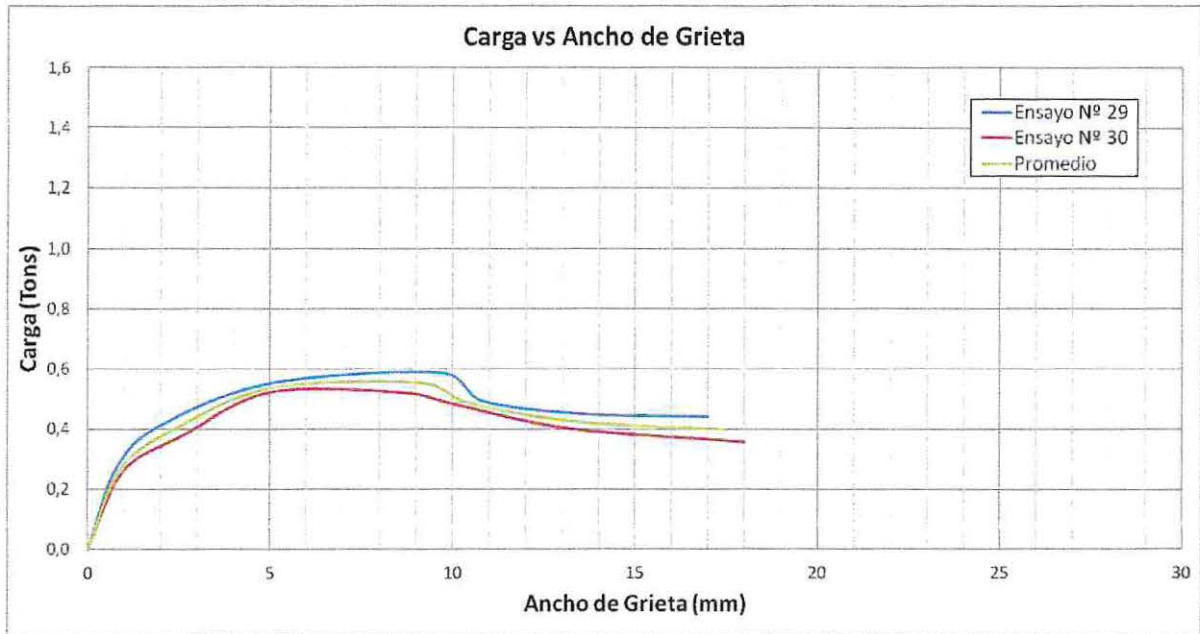


Gráfico 4.74 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.

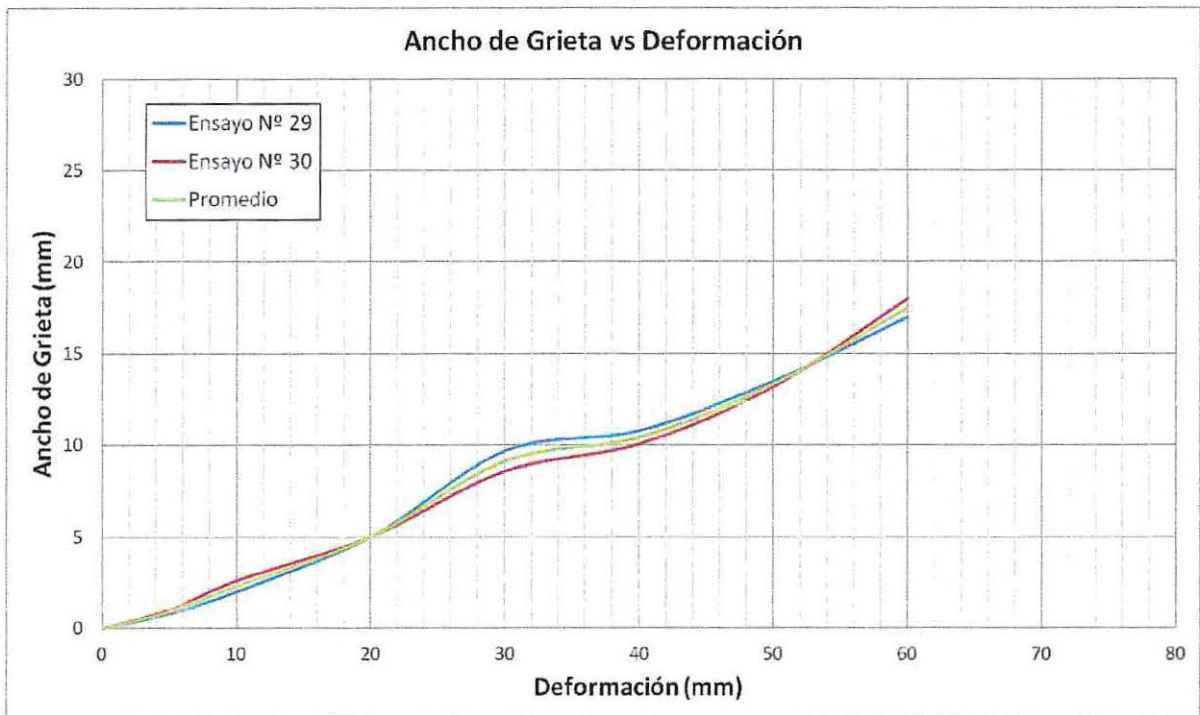


Gráfico 4.75 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.

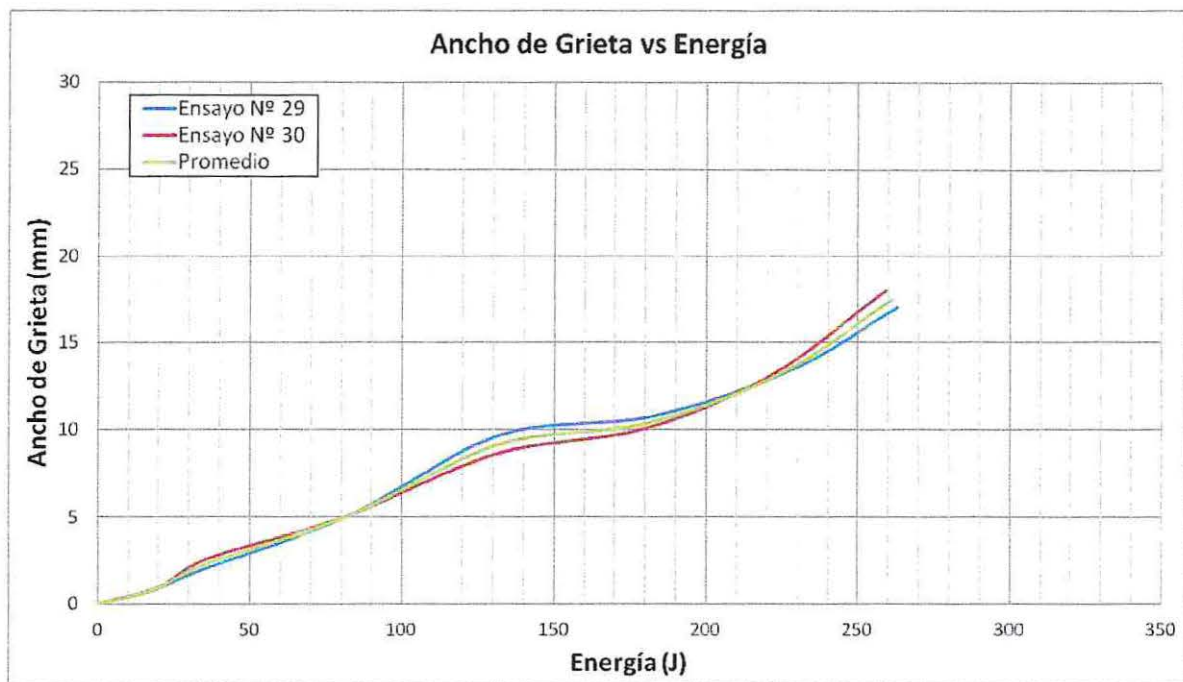


Gráfico 4.76 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo Nº 29, 30 y Promedio hasta deformación máxima.

- **Discos reforzados con Geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco.**

La Tabla 4.21 muestra los resultados de los dos discos ensayados con geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco. Estos son similares, por lo tanto se obtuvo un promedio para estimar la incidencia del geotextil en el disco de hormigón proyectado (véase Tabla 4.22).

El gráfico 4.77 presenta las curvas carga-deformación de cada ensayo y el promedio de estos. En este se puede observar que la energía absorbida por el conjunto es baja, alcanzando solo a 51,60 Joules a los 40 mm de deformación con un ancho de las grietas de aproximadamente 12mm.

Los gráficos 4.79, 4.80 y 4.81 ilustran las curvas ancho de grieta dependiendo de la carga, deformación y energía. El ancho de grieta en la deformación máxima que sufrió el conjunto es de aproximadamente 18 mm (véase Tabla 4.22)

Tabla 4.21 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 32 y 33

Registro de 2 muestras PROPEX 401						
21 días de curado	Disco Geotextil Propex 401 (Ensayo N°32)			Disco Geotextil Propex 401 (Ensayo N°33)		
Carga peak Corregida(kN)	5,12			7,00		
Deformación Peak (mm)	0,69			1,32		
Energía Corregida (J) 40 mm	42,64			60,55		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0	0	0	0
5	0,77	2,80	10,62	1,33	2,80	13,21
10	0,65	3,80	14,22	1,2	4,80	18,65
20	0,77	6,10	22,7	1,33	7,80	28,64
30	0,92	9,40	32,5	1,6	9,70	42,17
40	1,18	12,00	42,42	1,75	11,00	58,57
50	1,36	14,50	54,8	1,9	15,20	70,64
60	1,51	18,00	67,51	2,17	18,40	89,78

Tabla 4.22 Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 32 y 33.

Promedio de 2 muestras PROPEX 401 21 días de curado			
Carga peak (kN)	6,06		
Deformación Peak (mm)	1,01		
Energía Corregida (J) 40 mm	51,60		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0
5	1,05	2,80	11,92
10	0,93	4,30	16,44
20	1,05	6,95	25,67
30	1,26	9,55	37,34
40	1,47	11,50	50,50
50	1,63	14,85	62,72
60	1,84	18,20	78,65

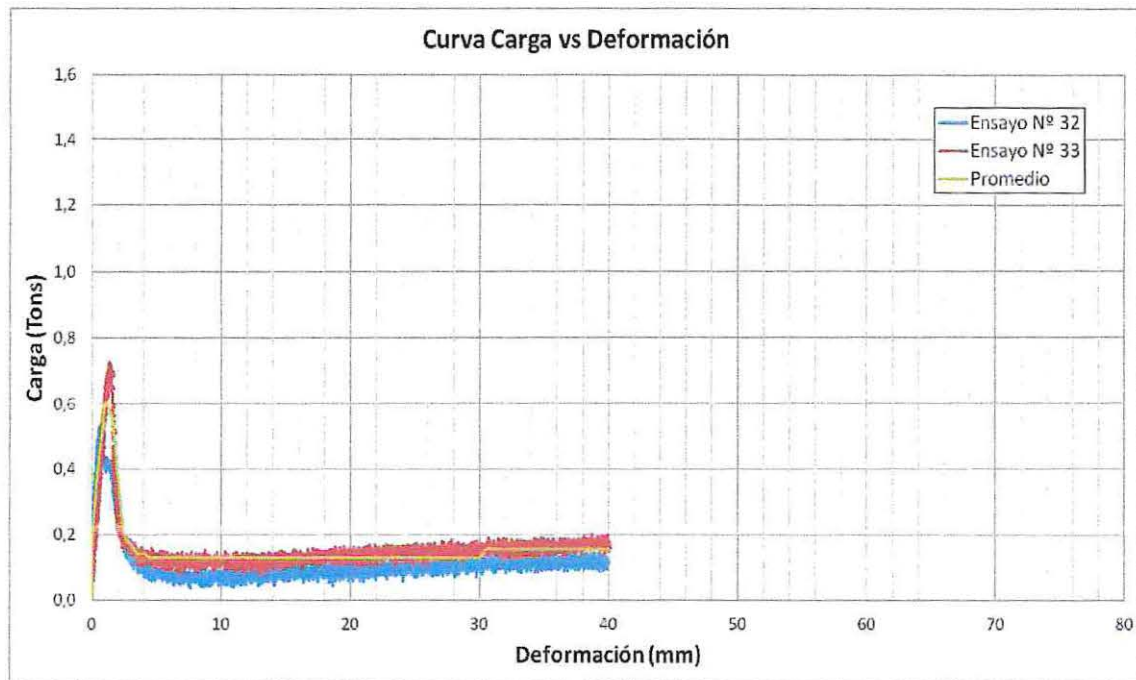


Gráfico 4.77 Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Geotextil Propex 401 con Dosificación 5.

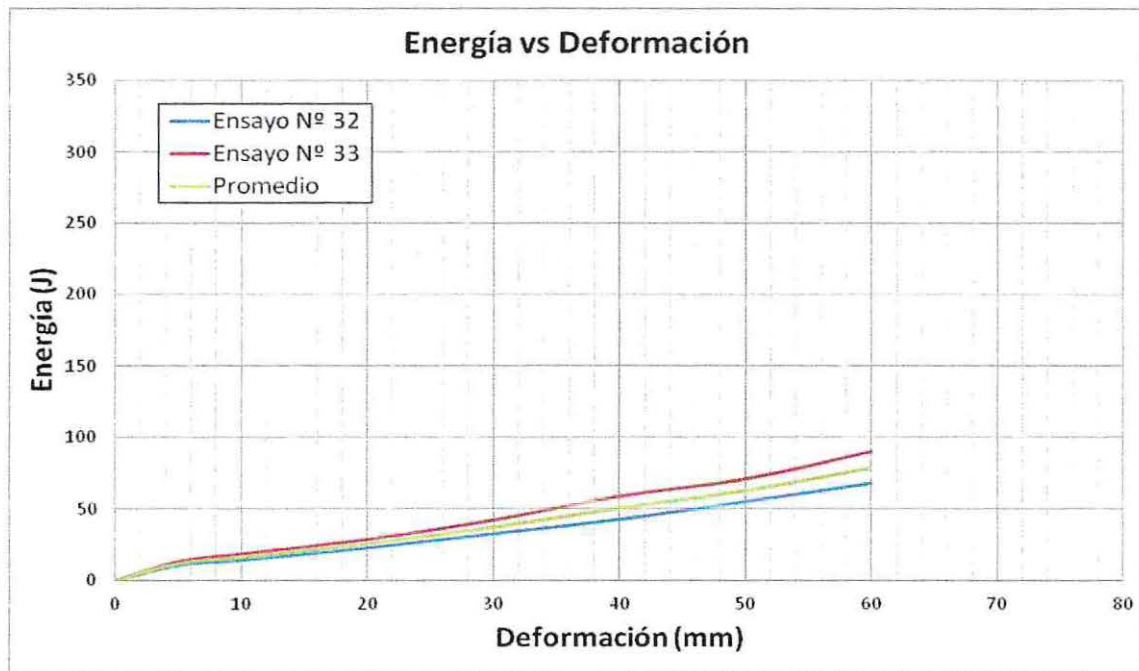


Gráfico 4.78 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos Nº 32, 33 y Promedio.

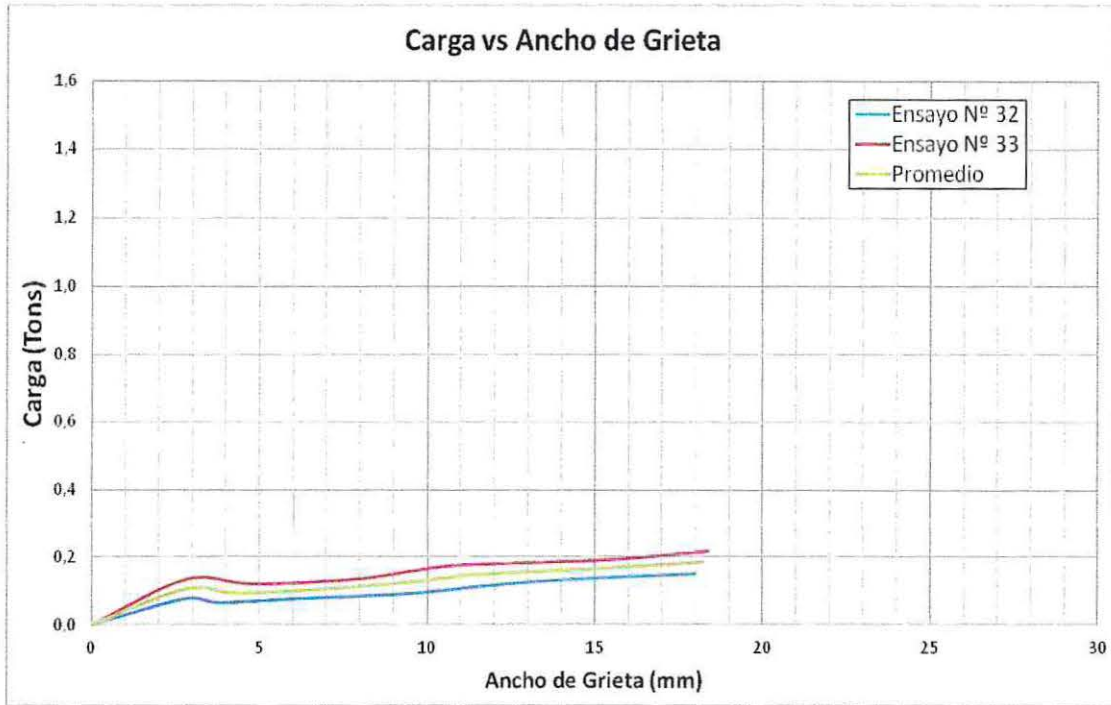


Gráfico 4.79 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo Nº 32, 33 y Promedio hasta deformación máxima.

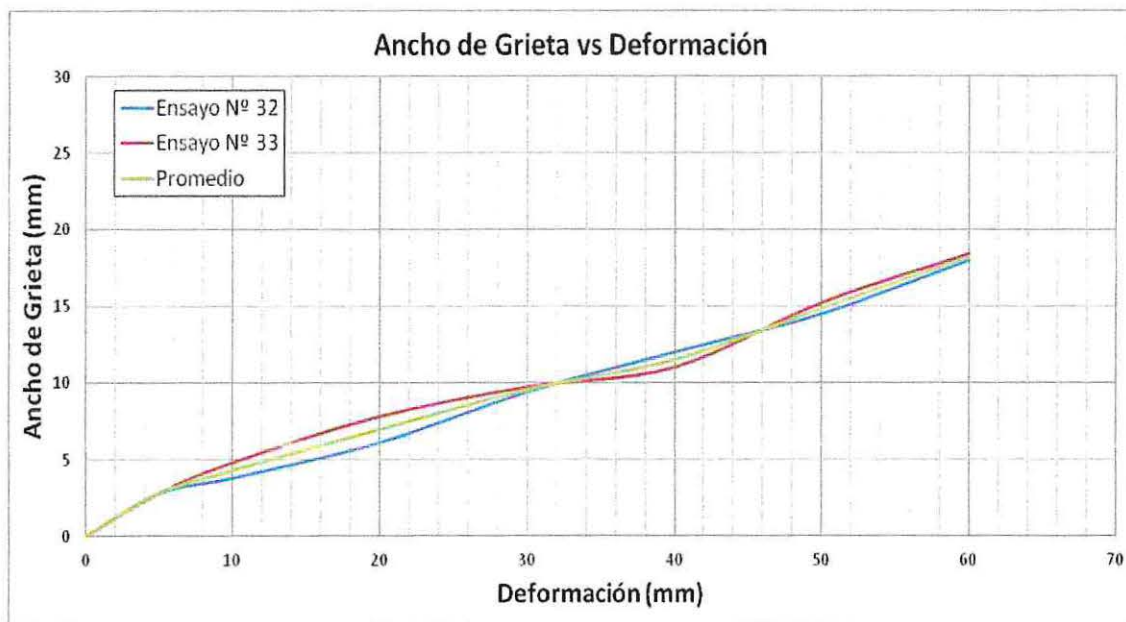


Gráfico 4.80 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo Nº 32, 33 y Promedio hasta deformación máxima.

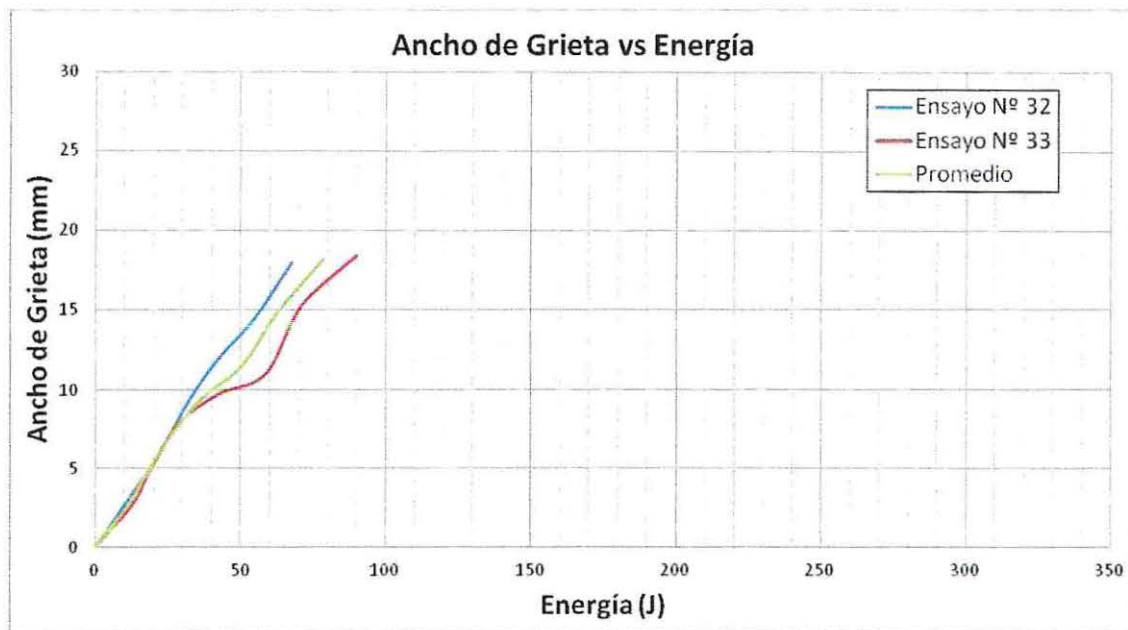


Gráfico 4.81- Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 32, 33 y Promedio hasta deformación máxima.

- **Discos reforzados con Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.**

La Tabla 4.23 muestra los resultados de la incidencia del refuerzo de geogrilla Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco, posición en la cual se supone habrían más esfuerzos de tracción.

En el gráfico 4.82 se observa la curva promedio carga – deformación de las dos muestras ensayadas. Se aprecia que después del primer agrietamiento provocado con una carga máxima de 6,23 KN (0,623 Tons), el refuerzo toma gran parte de la resistencia post agrietamiento del conjunto, alcanzando una resistencia residual de 164, 5 Joules en los 40 mm de deformación.

Se observan grietas típicas del comportamiento de flexión, las cuales llegan a los 16 mm en la deformación máxima que sufre el conjunto.

Como en todos los ensayos, se analizó el ancho de la grieta del mortero dependiendo de la carga, deformación y energía absorbida por el disco de mortero proyectado reforzado con geogrilla.

Tabla 4.23 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 34 y 35.

Registro de 2 muestras E'GRID BIAxIAL 20X20						
21 días de curado	Disco Biaxial E'grid 2020 (Ensayo N°34)			Disco Biaxial E'grid 2020 (Ensayo N°35)		
Carga peak Corregida(kN)	5,22			7,24		
Deformación Peak (mm)	0,96			0,73		
Energía Corregida (J) 40 mm	131,87			197,08		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0	0	0	0	0	0
5	1,43	1,30	9,6	2,98	2,10	16,3
10	2,86	4,00	20,58	4,53	3,30	33,68
20	3,64	7,00	52,48	5,49	7,70	82,98
30	4,04	9,10	89,64	5,87	9,90	136,29
40	4,64	11,30	130,33	5,66	12,00	195,82
50	5,01	14,00	176,78	6,66	16,50	257,23
60	3,98	15,00	208,08	6,85	17,30	316,14

Tabla 4.24 Promedio de resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) y Ancho de Grieta (mm) a distintas capacidades de deformación de Ensayos N° 34 y 35.

Promedio de 2 muestras E'GRID BIAxIAL 20X20 21 días de curado			
Carga peak (kN)	6,23		
Deformación Peak (mm)	0,845		
Energía Corregida (J) 40 mm	164,475		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)
0	0,00	0,00	0,00
5	2,21	1,70	12,95
10	3,70	3,65	27,13
20	4,57	7,35	67,73
30	4,96	9,50	112,97
40	5,15	11,65	163,08
50	5,84	15,25	217,01
60	5,42	16,15	262,11

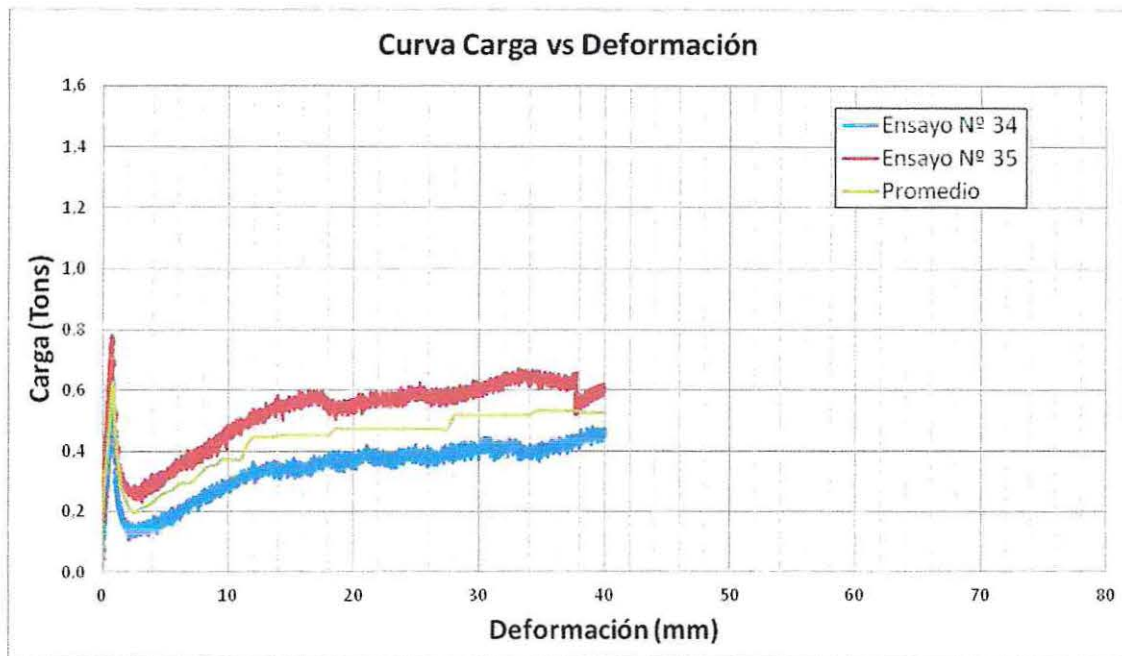


Gráfico 4.82 Relación Carga- Deformación de discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 con Dosificación 5 hasta 40 mm de deformación.

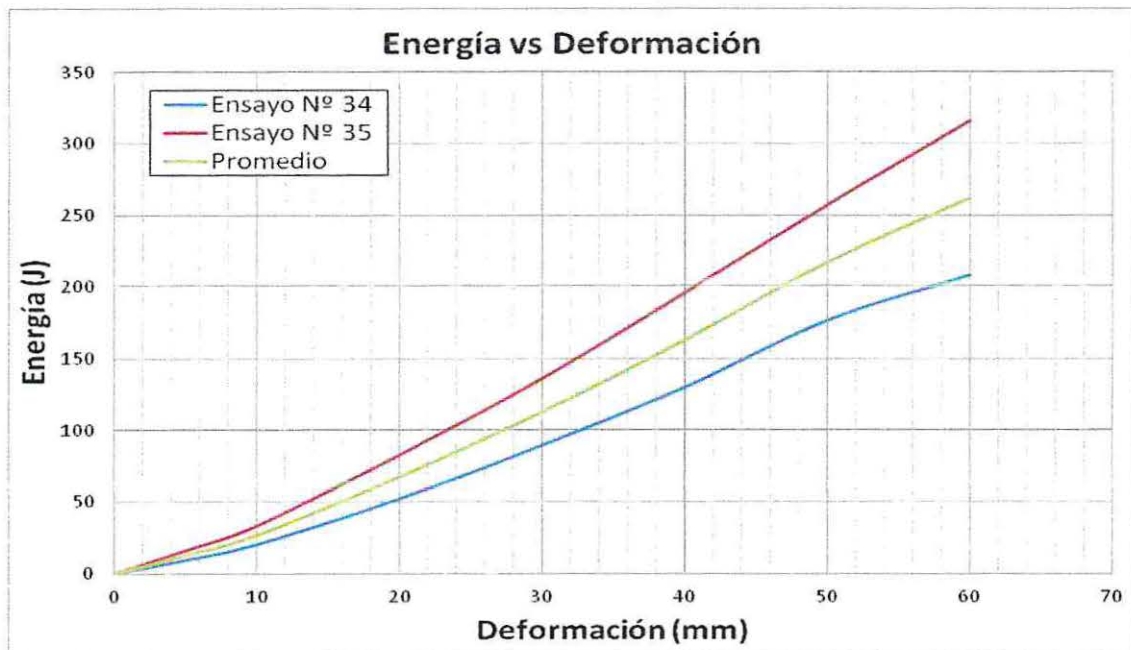


Gráfico 4.83 Relación de la Absorción de Energía vs Deformación Ensayos N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.

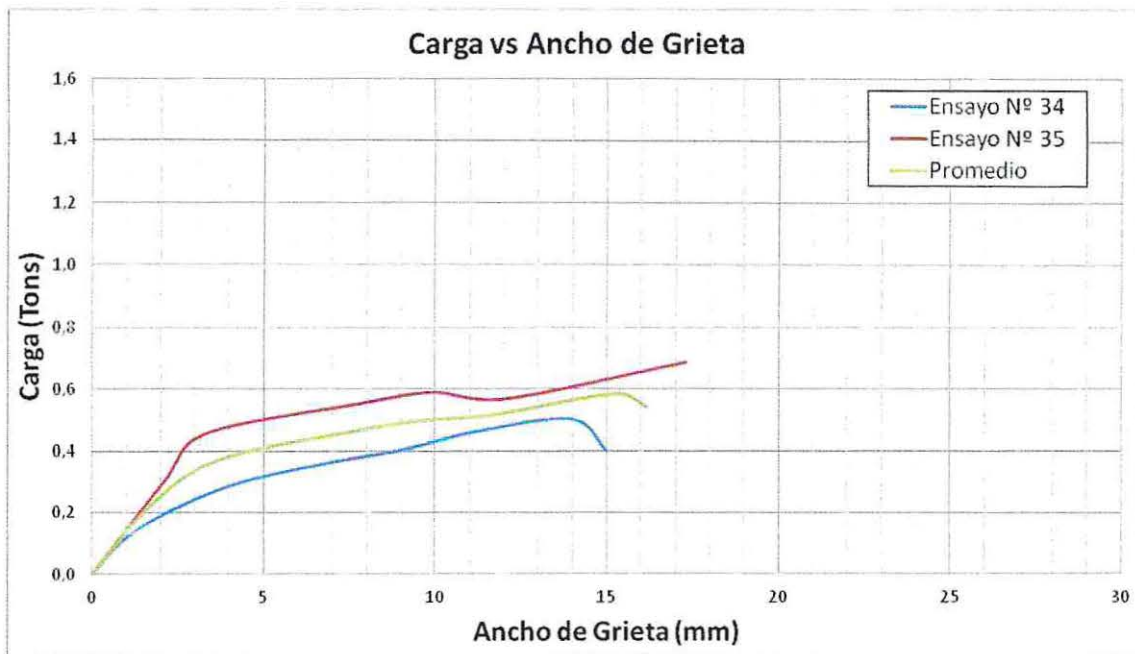


Gráfico 4.84 Relación entre Ancho de Grieta y Carga del Ensayo N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.

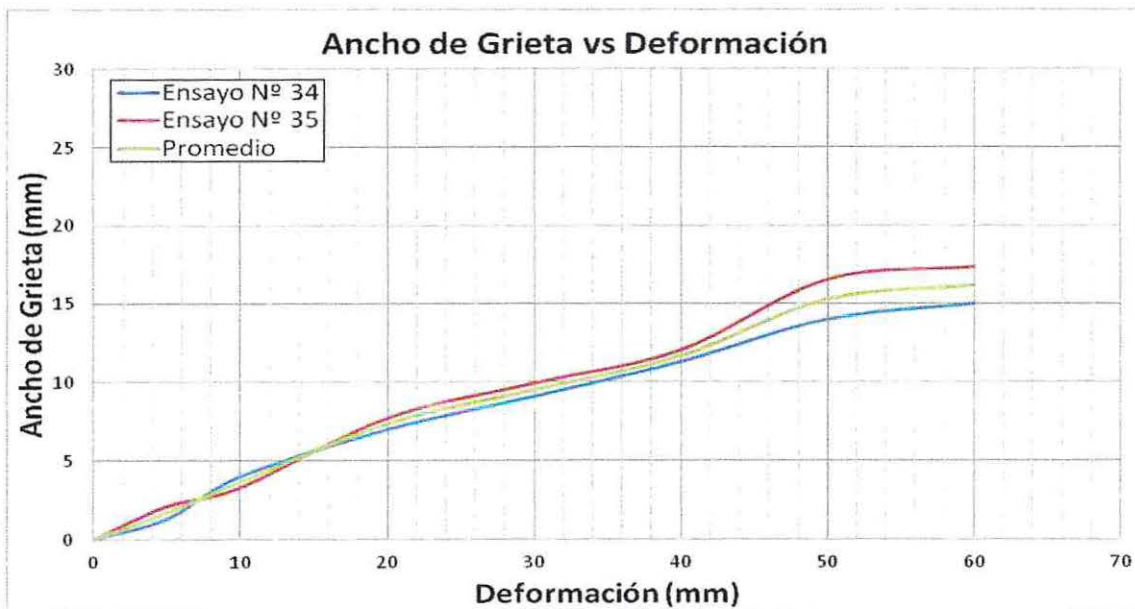


Gráfico 4.85 Relación entre Ancho de Grieta y Deformación del Ensayo N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.

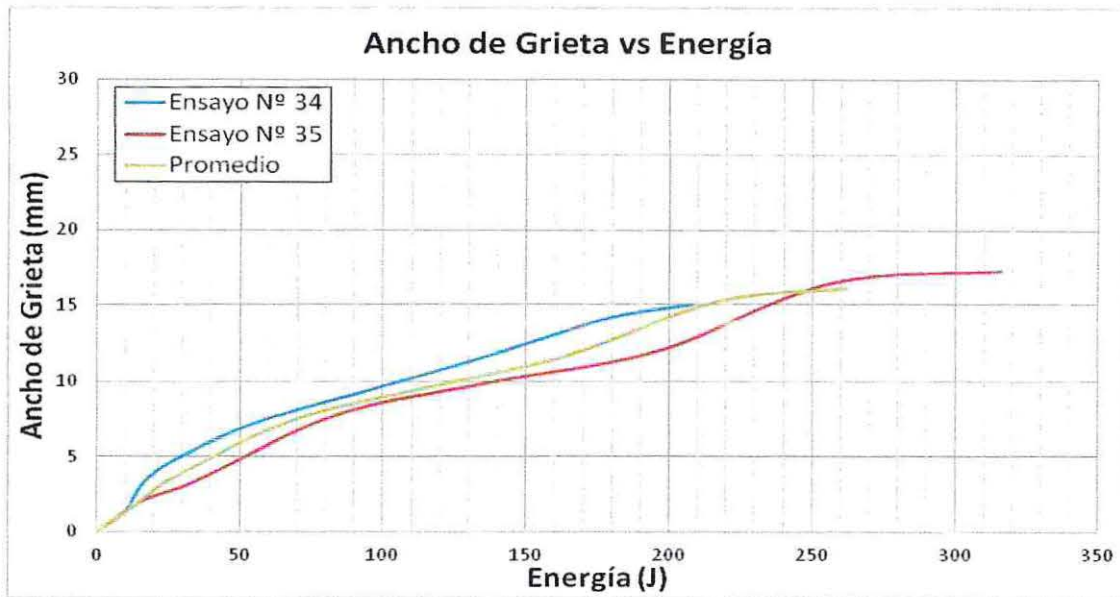


Gráfico 4.86 Relación entre Ancho de Grieta y Energía Absorbida del Ensayo N° 34, 35 y Promedio hasta deformación máxima.

- Disco sin refuerzo

Los resultados obtenidos para el ensayo sin refuerzo de la dosificación 5, se pueden observar en la tabla 4.25. El gráfico 4.87 se ilustra la curva carga- deformación del conjunto, la cual muestra la falla frágil que sufrió el disco alrededor de los 4,5 mm de deformación, resistiendo una carga máxima de flexión igual a 6,28 KN (0,628 Tons).

Tabla 4.25 Resultados de los valores de Carga Máxima (kN), Absorción de Energía (J) de Ensayos N° 36.

Resultados de 1 muestras Sin refuerzo 21 días de curado		Disco Sin Refuerzo (Ensayo N° 36)		
Carga peak (kN)		6,28		
Deformación Peak (mm)		1,55		
Energía Corregida (J) 4,5 mm		10,51		
Deformación (mm)	Carga (kN)	Ancho Grieta (mm)	E (J)	
0	0	0	0	
4,5	0,27	0	10,62	

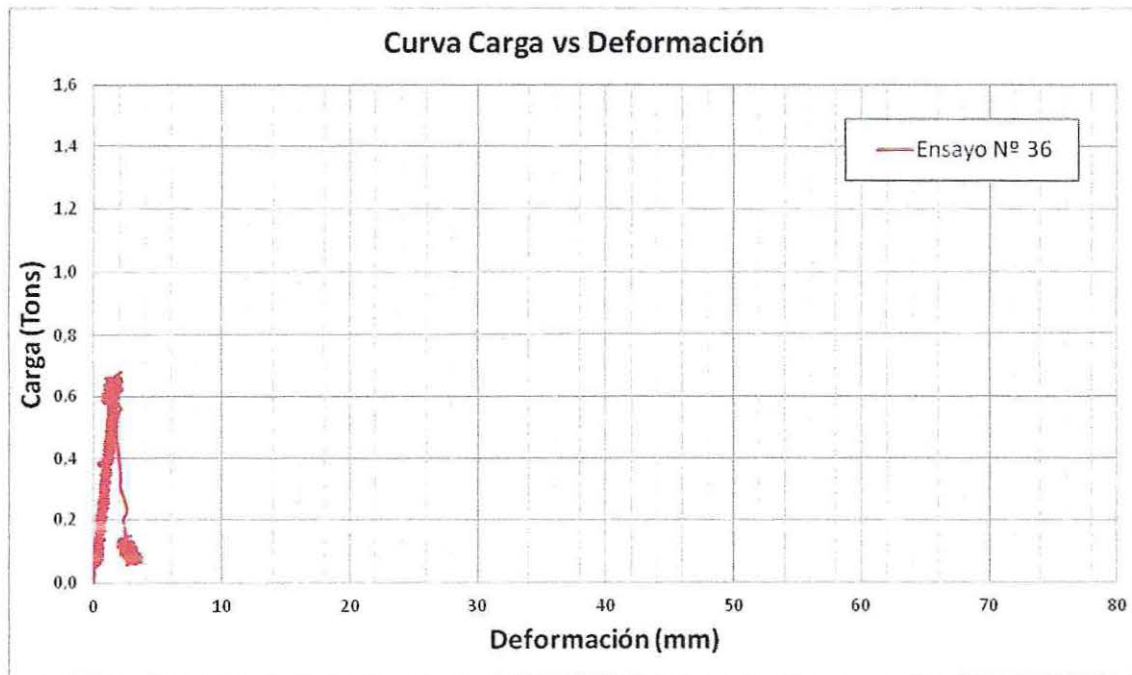


Gráfico 4.87 Relación Carga- Deformación de disco sin Refuerzo de Dosificación 5.

TABLA 4.27- RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS A FLEXION SIMPLE

Mortero Proyectado	Ensayo N°	Refuerzo					Resultados Ensayos a Flexión					
		Tipo	Espesor (mm)	Resistencia a la Tracción (KN/m)		Ubicación de refuerzo	Carga máxima promedio en el primer agrietamiento (KN)	Energía Absorbida promedio (J)			Ancho de Fisura promedio (mm)	
				Longitudinal	Transversal			5 mm	25 mm	40 mm	5 mm	40 mm
1 a/c= 0,5 Ar/c= 3,33	1	Biaxial Geogrid Type 2	1,27	19,2	28,8	a un medio de H	2,98	7,76	45,02	76,9	2	12
	2	Sin Refuerzo	*	*	*	*	14,27	24,42	24,42	24,42	*	*
2 a/c= 0,56 Ar/c= 3,38	3	Biaxial Geogrid Type 2	1,27	19,2	28,8	a un medio de H	14,04	25,88	136,81	205,21	0,5	10,6
	4	Biaxial Geogrid Type 2	1,27	19,2	28,8	a un tercio de H	11,76	22,8	139,5	183,83	1,6	14,2
3 a/c= 0,63 Ar/c= 3,12	5	Geotextil Propex 601 (200 g/m ²)	2	15	15	a un medio de H	10,4	20,07	68,5	103,5	2	12
	6	Geotextil Propex 601 (200 g/m ²)	2	15	15	a un tercio de H	10,83	20,92	97,38	163,7	2,8	10,3
4 a/c= 0,48 Ar/c= 3,63	7,8,9	Sin Refuerzo	*	*	*	*	3,4	3,5	3,5	3,5	*	*
	10,11,12	Biaxial Geogrid Type 2	1,27	19,2	28,8	a un medio de H	4	9	32,65	70,3	2,3	8,9
	13,14,15	Biaxial Geogrid Type 2	1,27	19,2	28,8	a un tercio de H	DESCARTADO					
	16,17,18	Geotextil Propex 351 (120 g/m ²)	1,2	8	8	a un medio de H	DESCARTADO					
	19,20,21	Biaxial E'grid 2020	2	20	20	a un medio de H	7,39	14,73	79,44	139,6	1,27	12,83
5 a/c= 0,5 Ar/c= 3,68	22,23,24	Biaxial E'grid 3030	2	30	30	a un medio de H	8,12	17,89	117,04	202,08	1,07	14,73
	25,26	Geotextil Propex 351 (120 g/m ²)	1,2	8	8	a un medio de H	5,24	11,39	34,5	54,12	2	10,15
	27	Geotextil Propex 351 (120 g/m ²)	1,2	8	8	a un medio de H	DESCARTADO					
	28	Geotextil Propex 601 (200 g/m ²)	2	15	15	a un tercio de H	DESCARTADO					
	29,30	Biaxial Geogrid Type 2	1,27	19,2	28,8	a un medio de H	8,87	19,24	105,33	181,59	0,9	10,44
	31	Biaxial Geogrid Type 2	1,27	19,2	28,8	a un medio de H	DESCARTADO					
	32,33	Geotextil Propex 401 (140 g/m ²)	1,6	9	9	a un medio de H	6,06	11,92	31,9	51,6	2,8	11,5
	34,35	Biaxial E'grid 2020	2	20	20	a un tercio de H	6,23	12,95	94,5	164,48	1,7	11,7
	36	Sin Refuerzo	*	*	*	*	6,28	10,51	10,51	10,51	*	*

(*) No aplica.

a/c Relación agua – cemento

Ar/c Relación árido –cemento

Como se observa en la tabla de resumen, la carga máxima de ruptura depende de la calidad (relación a/c y Ar/c) que tenga la mezcla de mortero proyectado y tiene una leve dependencia del tipo de refuerzo que este tenga. Comparando las geogrillas con los geotextiles, estos últimos tienen menor capacidad de carga máxima de agrietamiento que las geogrillas.

A continuación se presenta el aumento en porcentaje de la resistencia residual que el conjunto mortero proyectado + geosintético puede absorber:

- En la dosificación N° 1, se observa un aumento del 300% de la resistencia residual absorbida por el conjunto mortero proyectado reforzado con Biaxial Geogrid Type2 en comparación con mortero proyectado sin refuerzo.
- En la dosificación N°4, se observa un aumento del 2000% de la resistencia residual absorbida por el mortero reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 en comparación con mortero proyectado sin refuerzo.
- En la dosificación N°5, se observa un aumento del:
 - 1300% para el conjunto mortero proyectado reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.
 - 1900% para el conjunto mortero proyectado reforzado con Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.
 - 500% para el conjunto mortero proyectado reforzado con Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.
 - 1700% para el conjunto mortero proyectado reforzado con Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.
 - 490% para el conjunto mortero proyectado reforzado con Geotextil Propex 401 a un medio de la altura del disco.
 - 1560% para el conjunto mortero proyectado reforzado con Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.

En los casos con refuerzo de geotextil, se puede observar que es de gran importancia la adherencia que este tenga con el mortero proyectado ya que sin ella no existe la capacidad de resistir ningún tipo de esfuerzos. Esta adherencia se logra con un mortero proyectado fluido y un geotextil con un cierto grado de humedad. Entre los tipos de geotextiles ensayado, se observa que el geotextil de mayor gramaje, y colocado a un tercio de la altura del disco, tuvo un adecuado comportamiento y mayor resistencia residual que los demás. El ancho de grieta en estas probetas generalmente aumenta a medida que va resistiendo mas carga, aunque al llegar a su máxima deformación esta carga relativamente descende. El ancho de la grieta producida en la matriz disminuye si el geotextil está más cerca de la superficie traccionada.

Las características que se observan en las geogrillas como refuerzo de mortero proyectado son similares a la de los geotextiles, principalmente por la importancia que tiene la calidad de mortero tanto para la carga máxima de ruptura y la adherencia del refuerzo con este. Como se observa en la tabla, los distintos tipos de geogrillas biaxiales, varían en la dimensiones de sus aberturas, en el espesor y por ende en la resistencia a la tracción que estas aporten como refuerzo. Con la dosificación 5 es con la cual mas se confeccionaron discos con refuerzo de geogrilla, por lo cual se obtuvo más información uniforme para poder analizar y comparar.

En la comparación de los tres tipos de geogrillas, se puede ver que hay una diferencia del muy leve en la carga máxima entre ellas, siendo la geogrilla biaxial type 2 la que es capaz de resistir la carga de ruptura más alta. Sin embargo, la geogrilla biaxial e'grid 3030 tiene una mayor resistencia residual, es decir una mayor capacidad para absorber energía. El ancho de las grietas aumenta contantemente con el aumento de la deformación del material compuesto, llegando a producirse fisuras de hasta aproximadamente 15 mm a los 40 mm de deformación.

Además de estas observaciones, se puede decir que el geosintético como refuerzo de mortero proyectado aumenta indiscutiblemente la resistencia residual post agrietamiento que tiene el conjunto. Por lo tanto, pueden ser comparados con los refuerzos usados en la actualidad. En el acápite 2.1.8 del presente trabajo de título se comentan algunos estudios realizados a refuerzos como fibras de acero y polipropileno y mallas de acero. Los cuales nos dan a conocer que los geosintéticos en estudio son capaces de absorber energía en un porcentaje similar al que absorben los conjuntos de hormigón proyectado reforzados con fibras (acero y polipropileno) y mallas de acero.

Esta técnica de hormigón proyectado con geosintético esta mejor acomodada para túneles, ya que disminuye el tiempo de aplicación del refuerzo. También es posible y fácil de adaptar el diseño de revestimiento a las condiciones reales con respecto a la geometría y la geología.

5. Conclusiones

La tenacidad es la cantidad de energía que absorbe un material antes y después de fracturarse. Ductilidad y grandes grietas también son características importantes del mortero proyectado reforzado.

De acuerdo a lo desarrollado en los capítulos anteriores y en base a los objetivos planteados al inicio del estudio se presentan las siguientes conclusiones

1. Como conclusión principal se destaca que es viable ocupar geosintéticos como refuerzo de mortero proyectado, desde un punto de vista de la absorción de energía y la resistencia al agrietamiento, ya que presentan un comportamiento mecánico similar a los refuerzos utilizados actualmente (véase acápite 2.1.8 y 4.2).
2. Dentro de la serie de ensayos, se observó que los geosintéticos como promedio resistieron deformaciones solo hasta los 60 mm, sin embargo los geotextiles demostraron mayor capacidad de deformación en los ensayos pero absorbiendo mucho menos energía que las geogrillas.
3. Comparando las curvas carga-deformación entre las geogrillas y geotextiles, se concluye que las geogrillas tienen mayor capacidad de resistir cargas residuales, ya que en las curvas se observa un aumento constante en la carga junto con la deformación, mientras que los geotextiles tienen una mayor capacidad de deformación pero manteniendo la carga residual constante hasta los 40 mm de deformación.
4. La adición de geogrilla como refuerzo entrega mayor carga máxima y resistencia residual al mortero proyectado que los geotextiles.
5. Mediante los ensayos de discos con y sin refuerzo de la dosificación N°5, se concluye que la resistencia residual aumenta en un 2000% al adicionarle un refuerzo de geogrilla y aumenta en un 500 % si el refuerzo es de geotextil (véase acápite 4.2 del presente trabajo de título)
6. Comparando la ubicación del refuerzo en la altura del disco de los ensayos de la dosificación N°5, se concluye que introducir el geotextil a un tercio de la altura del disco desde la cara traccionada se obtiene una mayor resistencia a las deformaciones, ya que esta ubicación del refuerzo a un tercio limita más el ancho de las fisuras.
7. De los ensayos con geogrillas, se concluye que la carga *peak* alcanzada fue relativamente similar en todas las probetas, sin embargo en la capacidad de absorber energía se destacó la geogrilla Biaxial E'grid 3030, la cual llegó a 202,08 (J) a los 40 mm de deformación. De esto se concluye que cuanto más resistencia a la tracción tenga la geogrilla mejor se comportará como refuerzo.
8. La adición de geosintéticos permite al mortero proyectado continuar tomando carga después del post agrietamiento, es decir la habilidad de soportar mejor un ciclo de cargas repetitivas que el mortero proyectado simple.
9. El material del refuerzo determina el rango de aporte estructural en el hormigón. El material de los geosintéticos en estudio es polipropileno, el cual tiene un modulo de elasticidad por debajo del hormigón endurecido. Por eso se explica que los materiales que tienen bajo modulo de elasticidad necesitarán una gran deformación para lograr desarrollar una resistencia por lo menos equivalente a la del hormigón (como se sabe el hormigón es un material frágil por lo que no permite tales deformaciones). Por lo tanto, cuando el geosintético llega a una resistencia aceptable el mortero se encuentra bastante agrietado o casi colapsado.
10. Los resultados de los ensayos indican que la abertura de grietas que sufre la matriz durante su deformación varía con la capacidad del tipo de soporte que está en estudio. Esta información es útil para evaluar la resistencia residual del geosintético como refuerzo del hormigón proyectado en terreno. Por ejemplo, 15 mm de ancho de grieta se observarían en el conjunto y se sabría que el conjunto está resistiendo 8,12 KN (0,812 Tons) de carga residual a los 40 mm en la geogrilla Biaxial E'grid 3030.

Comparando el presente estudio con estudios realizados (véase acápite 2.1.8), podemos concluir lo siguiente:

11. Las geogrillas ensayadas con la dosificación 4 y 5 del presente estudio, alcanzan similar aumento de absorción de energía que los ensayos realizados por O. Cengiz, L. Turanli [12].
12. Mediante los resultados del estudio hecho por los autores LA Martin, JB Seymour, CC Clark, MA Stepan, RT Pakalnis, M Roworth, C Caceres [13], se puede concluir que las geogrillas podrían funcionar como soporte alternativo a fibras de acero y los geotextiles en reemplazo de las fibras de polipropileno.
13. Mediante la Tabla 4.27, podemos concluir que la geogrilla Biaxial Type 2 como refuerzo de un buen hormigón proyectado, podría alcanzar la capacidad de carga máxima que puede resistir una malla de acero soldada con diámetro 3mm de 4x2 ya que este tiene una capacidad de 1,9 Tons.
14. Dado que el trabajo en construcción con cualquier tipo de material implica no solo una evaluación técnica sino también económica, por lo que se investigaron precios en el mercado actual de los refuerzos en uso, para posteriormente comparar con los precios de cada geosintéticos en estudio. Simulando que se necesita 1 m² de refuerzo para un soporte de hormigón proyectado, mediante las tablas 2, 3 y 7, se concluye que el geosintético más caro (Biaxial E'grid 3030) sigue siendo más económico que la malla Acma y las fibras de acero y polipropileno.
15. Analizando los resultados de los ensayos en compresión se obtuvo que el mortero proyectado utilizado para la dosificación 5, tuvo un 10% de resistencia a la compresión que tiene normalmente un hormigón proyectado el cual está entre 20 – 45 MPA. Por lo tanto se concluye que utilizando un mortero de alta resistencia y con mejores propiedades de adherencia se podría obtener una mejor capacidad de carga tanto de ruptura como residual y por lo tanto la absorción de energía del refuerzo.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] Worldwide Sprayed Concrete: State-of-the-Art Report - Dr. Gustav Bracher, Sika Schweiz AG, STM, 2005
- [2] Nueva tecnología en refuerzo de túneles, *Revista Minería Chilena 2005*. Jaime Millares
- [3] EUROPEAN Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete. UK, 1996. 30p.
- [4] ACI Committee 506. ACI Manual of Concrete Practice – ACI-506.R-90 (Reapproved 1995) “Guide to shotcrete”, 2000.
- [5] Malmberg, B. “Shotcrete for rock support: a summary report on the state of the art in 15 countries”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 8 (4) (1993): 441-470.
- [6] ASTM C1550 - 12a Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)
- [7] CONCRETE Institute of Australia, prepared by Australian Shotcrete Society. Recommended Practice Shotcreting in Australia. 2nd Edition. Australia, 2010. 84p
- [8] EUROPEAN Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete, Execution of Spraying (revised version of Section 8). UK, 1999. 8p.
- [9] INSTITUTO Nacional de Normalización, INN (Chile). NCh1171/2.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica. Chile, 2001. 9 p.
- [10] EUROPEAN Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete, Checklist for Specifiers and Contractors. UK, 2002. 12p.
- [11] Melbye, T. “Shotcrete para soporte de rocas”. MBT International Underground Construction Group, 1994.
- [12] Comparative evaluation of steel mesh, steel fibre and high-performance polypropylene fibre reinforced shotcrete in panel test. O Cengiz, L Turanlı. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, METU, 06531 Ankara, Turkey.
- [13] An Analysis of Fiber-Reinforced Round Panel Strengths and Comparison to Wire Mesh Bag Strength. LA Martin, JB Seymour, CC Clark, MA Stepan, RT Pakalnis, M Roworth, C Caceres.
- [14] MASTERFIBER™ 50 PS Fibras de polipropileno para refuerzo de concreto y concreto proyectado.
- [15] Norma Chilena Oficial Nch 1037. Of97. Hormigón- Ensayo de compresión de probetas cubicas y cilíndricas.

- [16] The influence of Thickness on Performance of Fiber-Reinforced Concrete in a Round Determinate Panel Test. Estefan Bernard and Martin Pircher.
- [17] System ductility of long fibre reinforced shotcrete by H.A.D. Kirsten. Steffen Robertson and Kirsten.
- [18] Simplified Model for Post-Crack Behavior of Fiber Reinforced Shotcrete. M.Sc. Sami Virpio, Insinööri Oy.
- [19] Rock mass quality Q used in designing reinforced ribs of sprayed concrete and energy absorption. Eystein Grimstad, Kalpana Kankes, Rajinder Bhasin, Anette Wold Magnussen, and Amir Kaynia. Norwegian Geotechnical Institute, Norway.
- [20] Early strength performance of modern weak rock mass shotcrete mixes by C.C Clarck, M.A. Stepan, J.B. Seymour and L.A. Martin.
- [21] The use of a three-point support flexural test to predict the stiffness of anisotropic composite plates in bending. J.P. Nunes, A.S. Pouzada, C.A. Bernardo. Department of Polymer Engineering, Universidade do Minho, 4800-058 Guimaraes, Portugal.
- [22] Practical Soil Nail Wall Design and Constructability Issues, by Walter G. Kutschke, P.E. URS Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania.

ANEXO 1

Curva Desplazamiento vs Tiempo de cada ensayo.

➤ Dosificación N°1

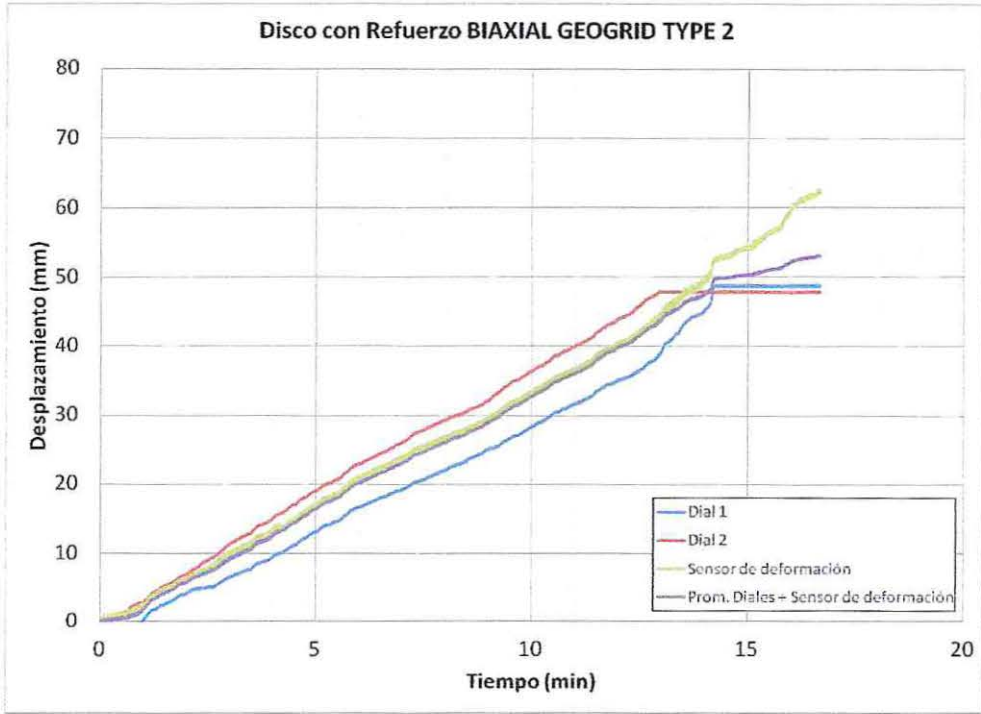


Gráfico 0.1 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAXIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°1).

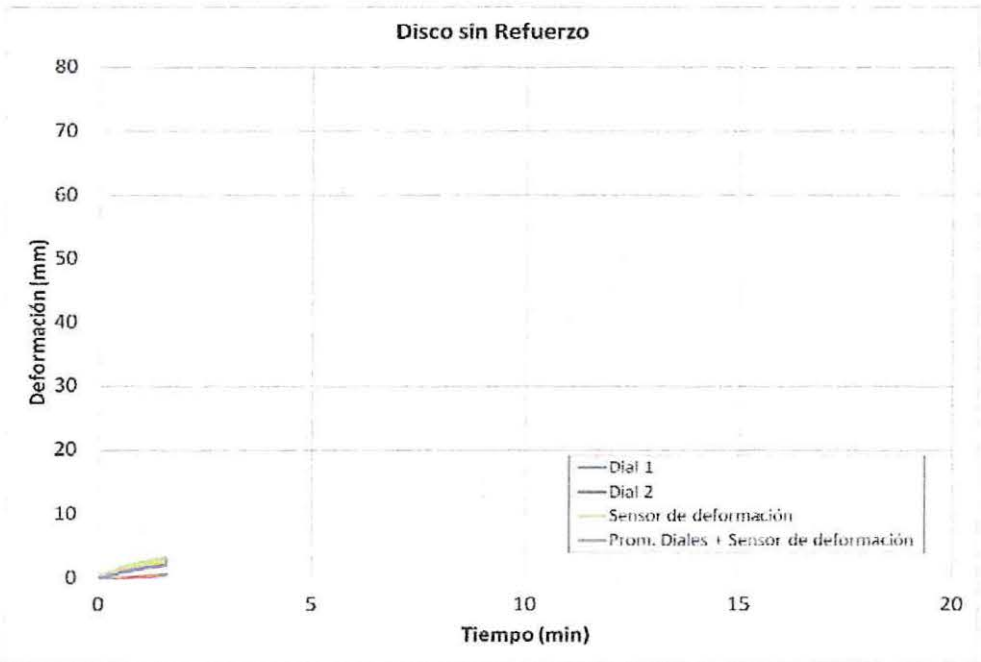


Gráfico 0.2 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 2).

➤ Dosificación N°2

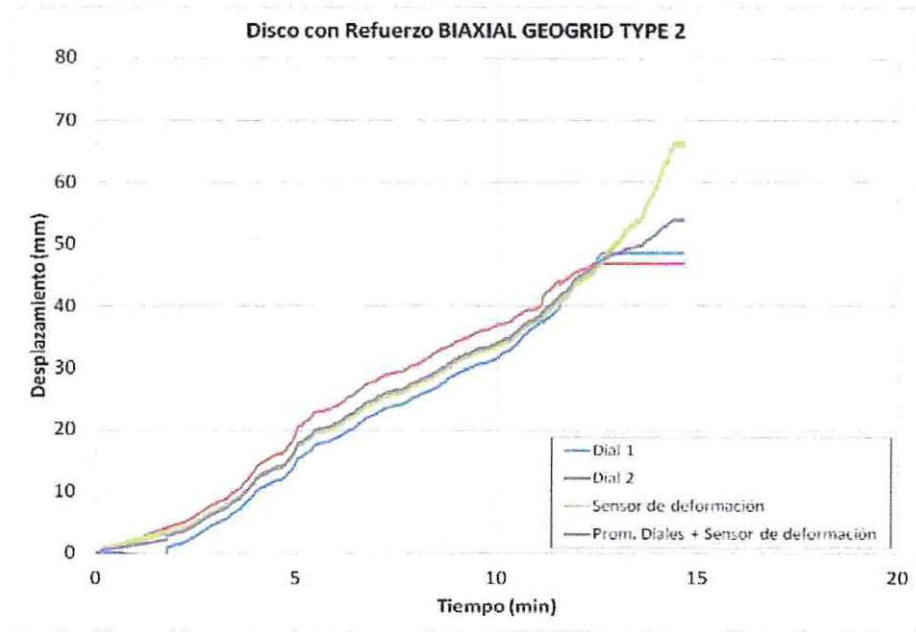


Gráfico 0.3 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo N°3).

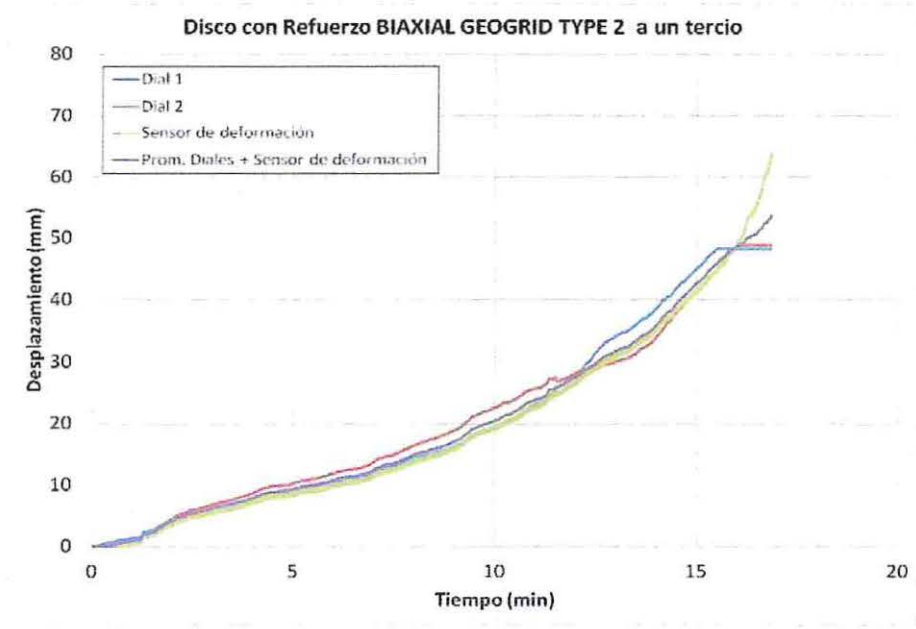


Gráfico 0.4 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un tercio de H (Ensayo N°4).

➤ Dosificación N°3

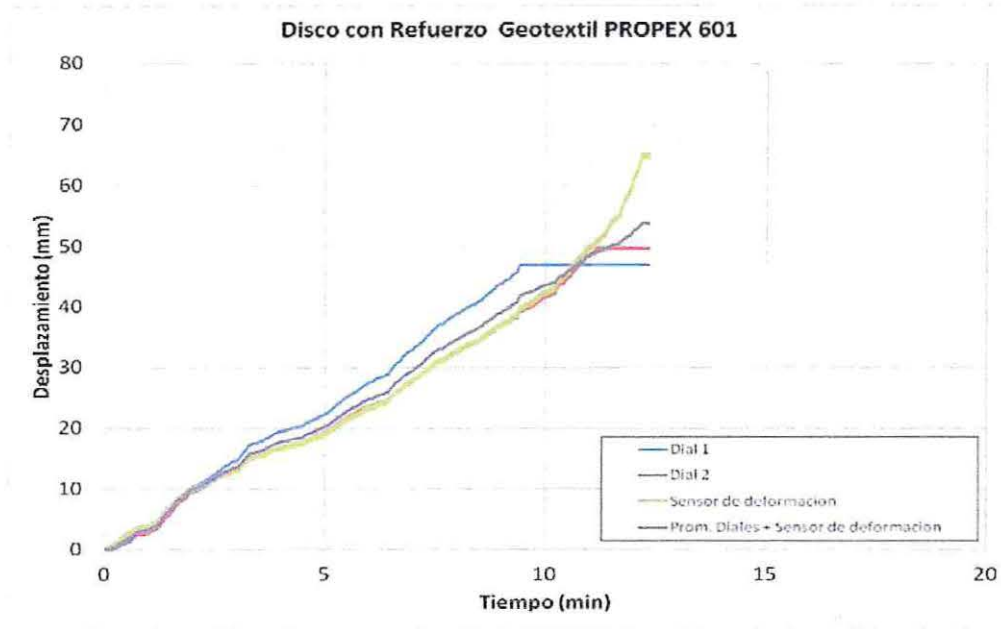


Gráfico 0.5 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 601 a un medio de H (Ensayo N°5).

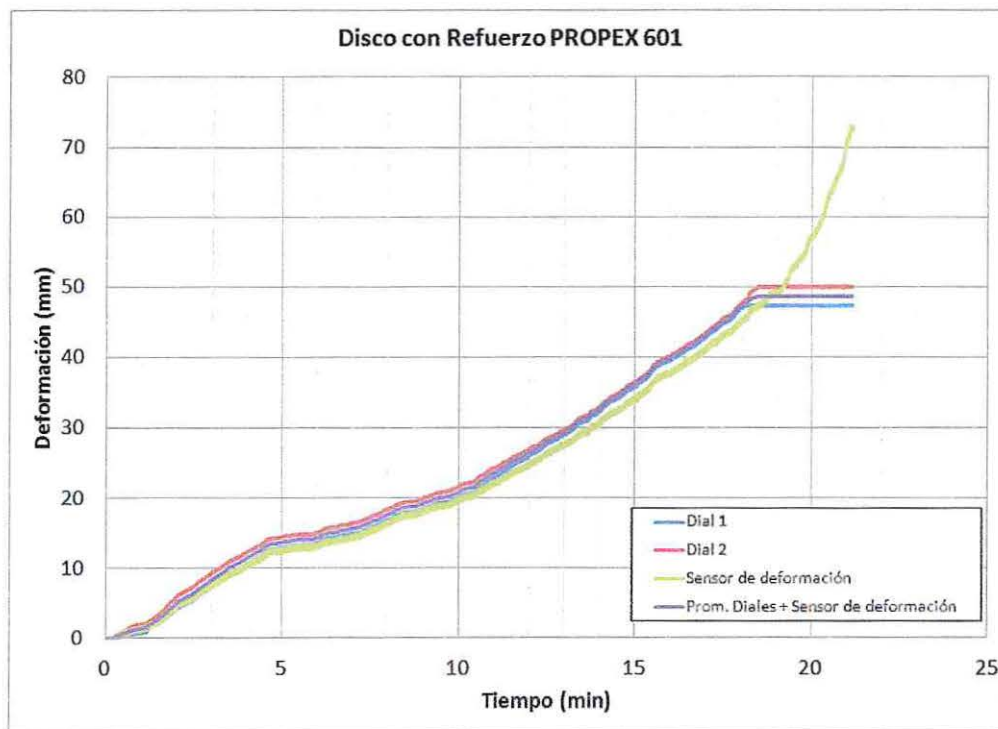


Gráfico 0.6 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 601 a un tercio de H (Ensayo N°6).

➤ Dosificación N°4

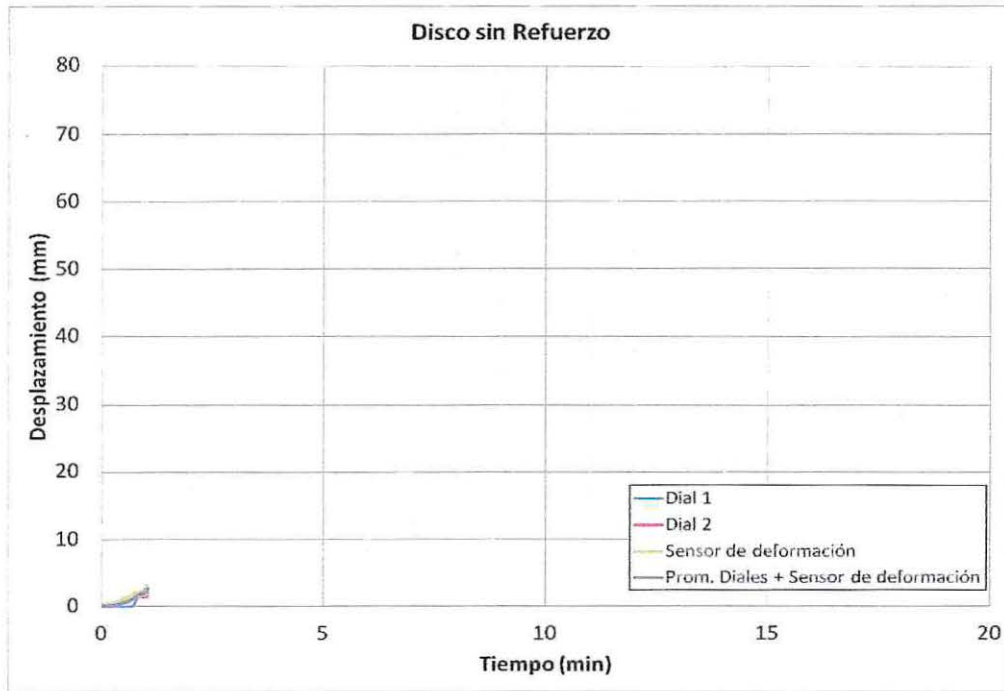


Gráfico 0.7 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 7).

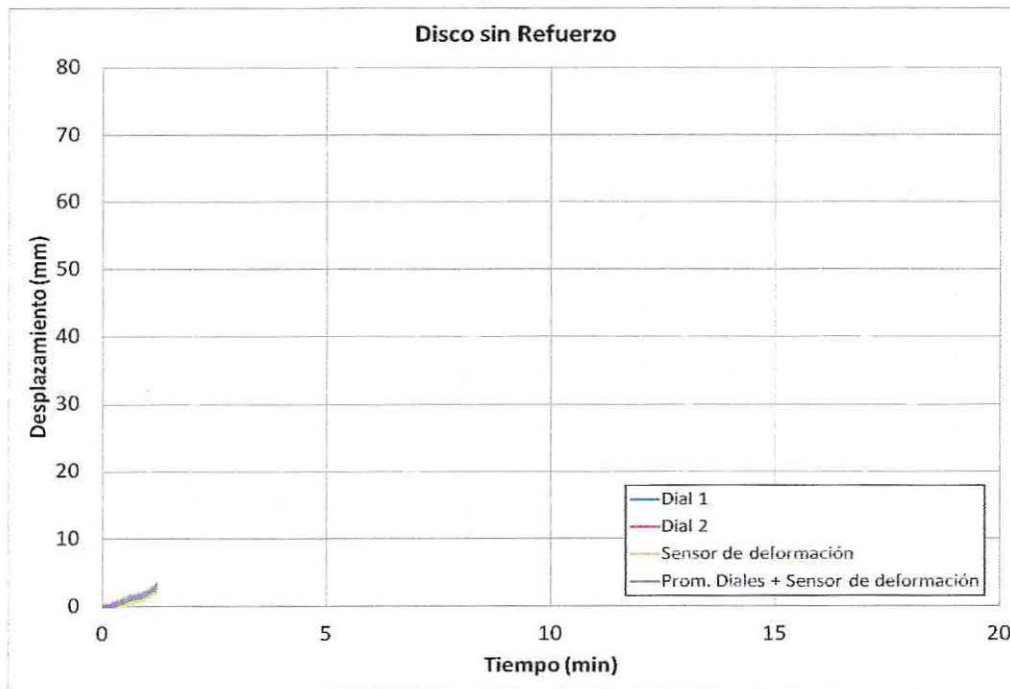


Gráfico 0.8 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 8).

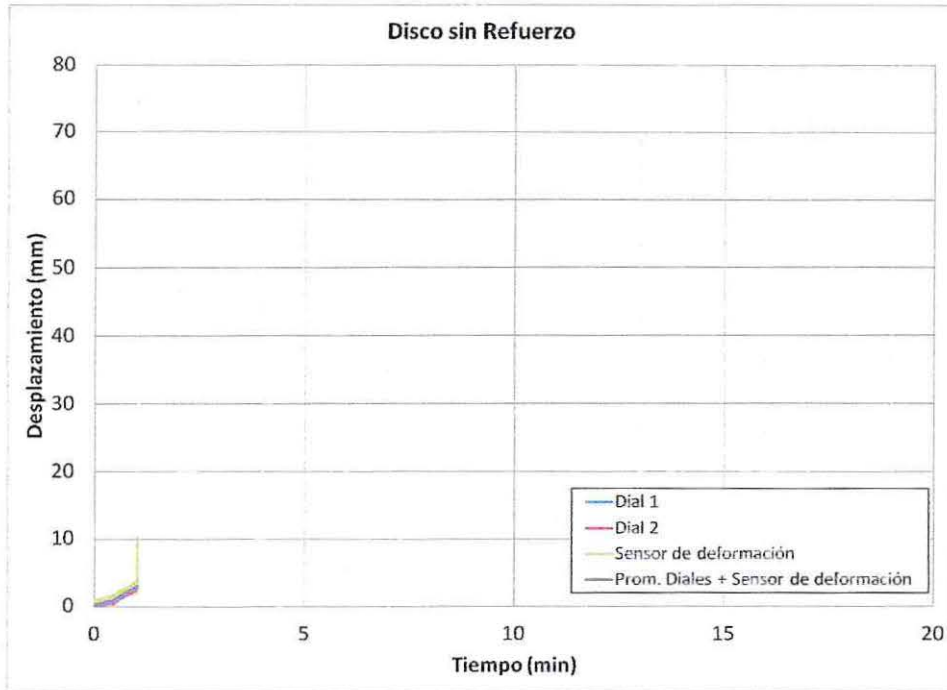


Gráfico 0.9 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo Nº 9).

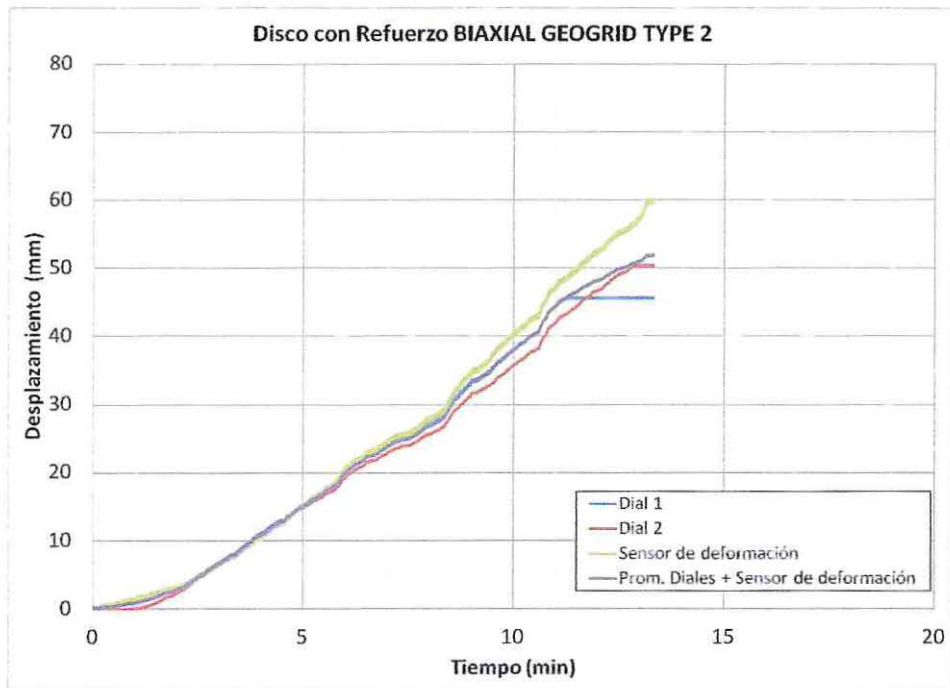


Gráfico 0.10 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo Nº10).

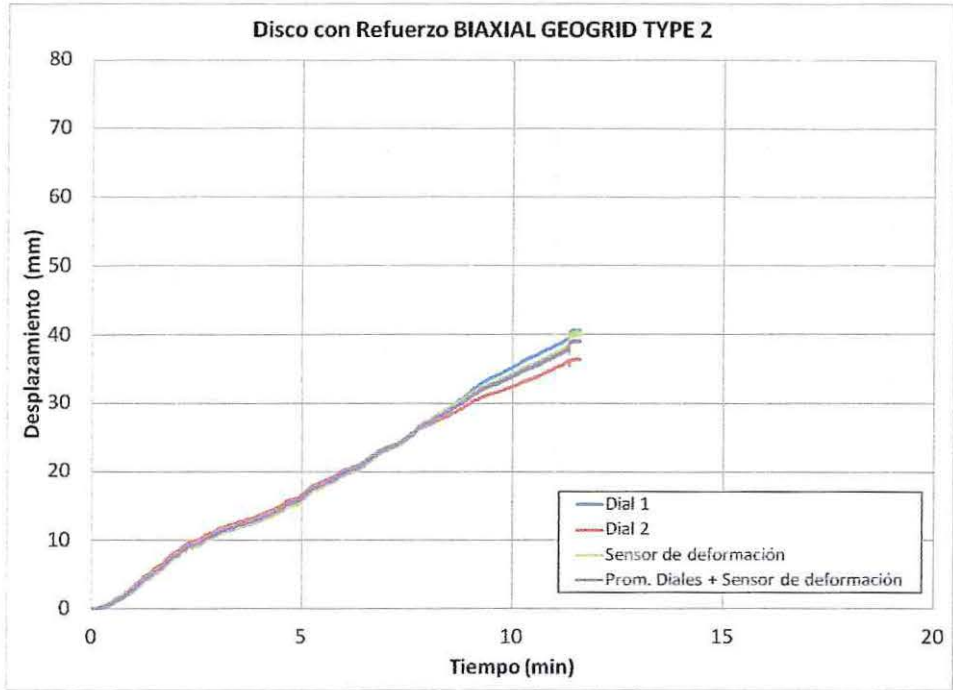


Gráfico 0.11 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo Nº11).

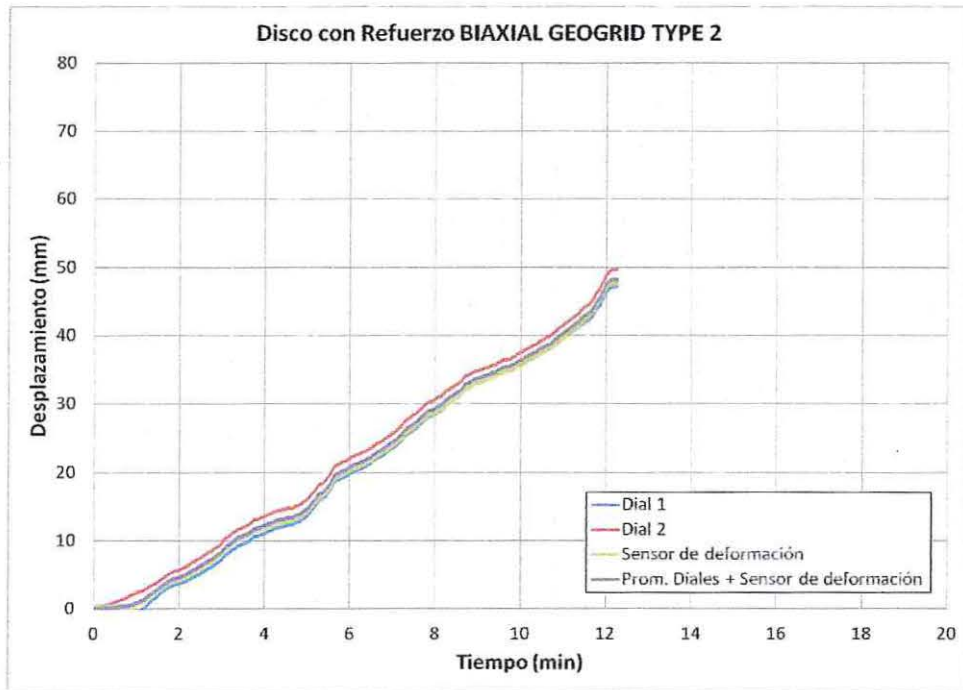


Gráfico 0.12 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo Nº12).

➤ Dosificación N°5

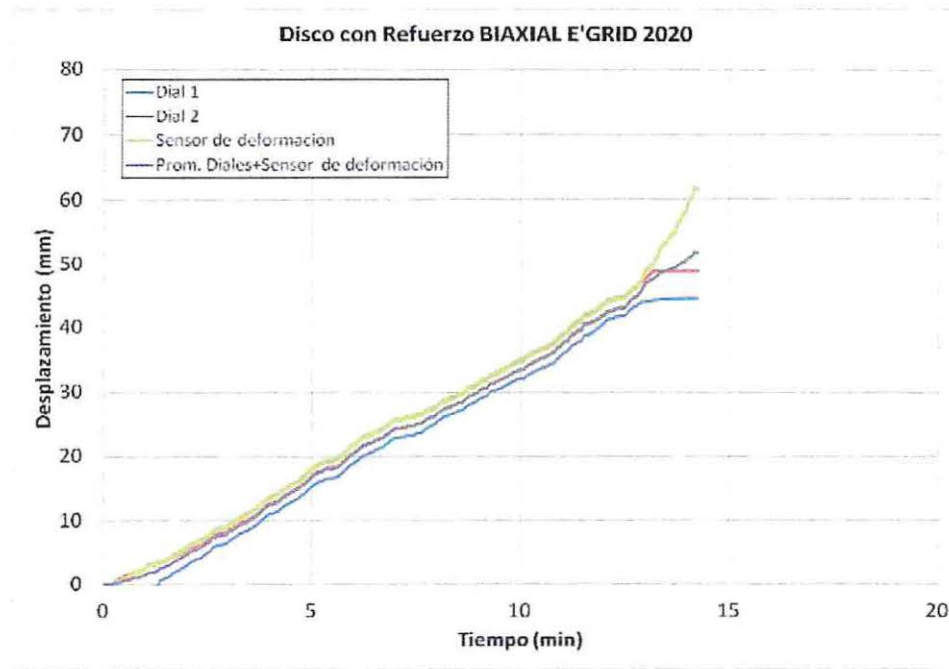


Gráfico 0.13 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un medio de H (Ensayo N°19).

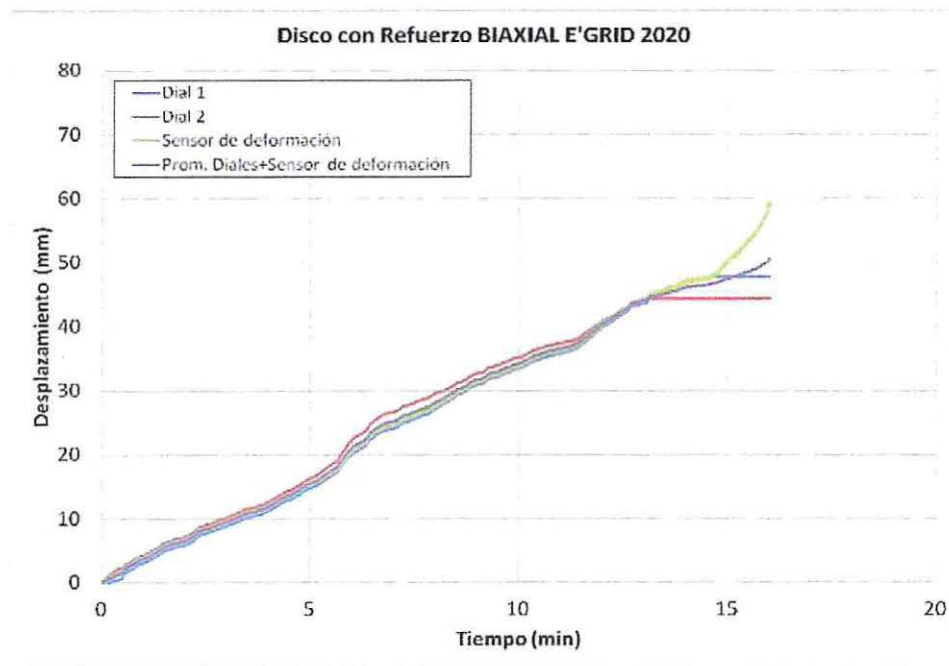


Gráfico 0.14 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un medio de H (Ensayo N°20).

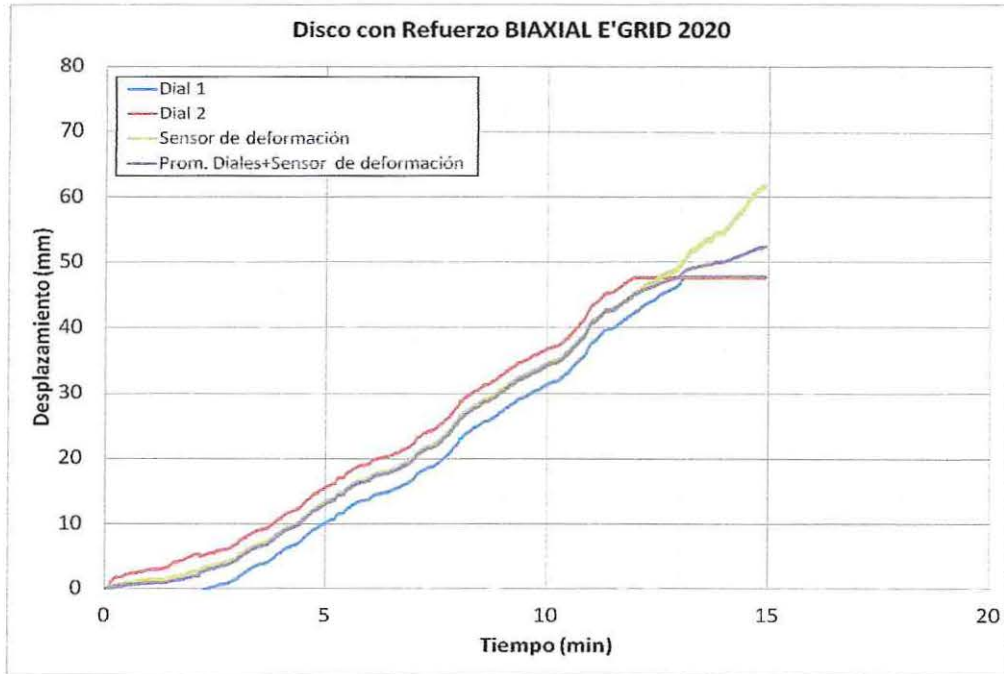


Gráfico 0.15 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un medio de H (Ensayo Nº21).

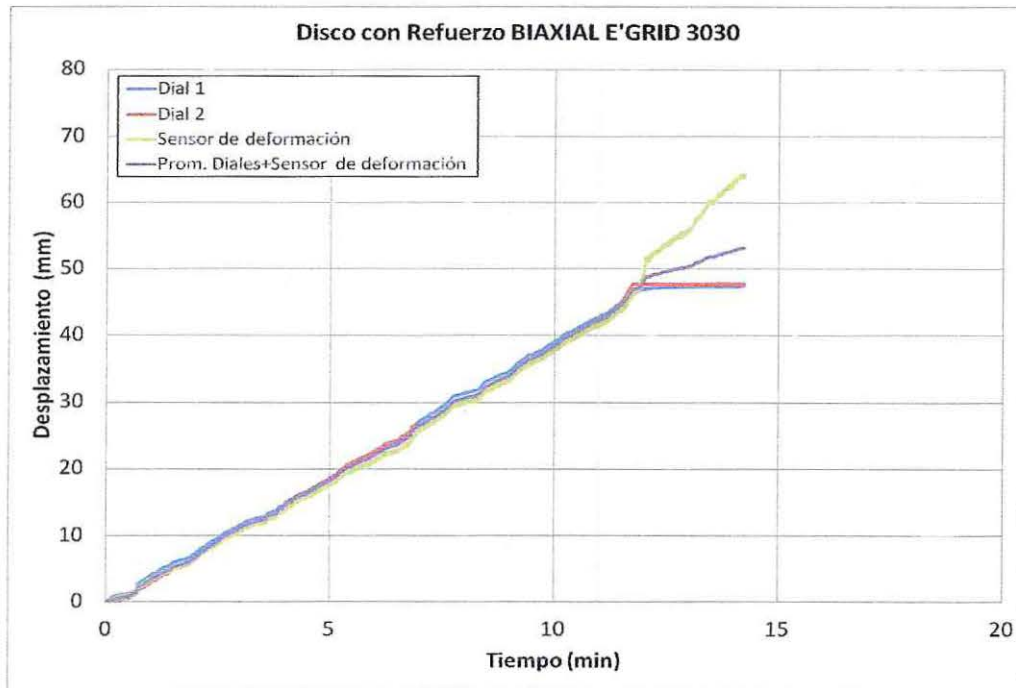


Gráfico 0.16 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 3030 a un medio de H (Ensayo Nº22).

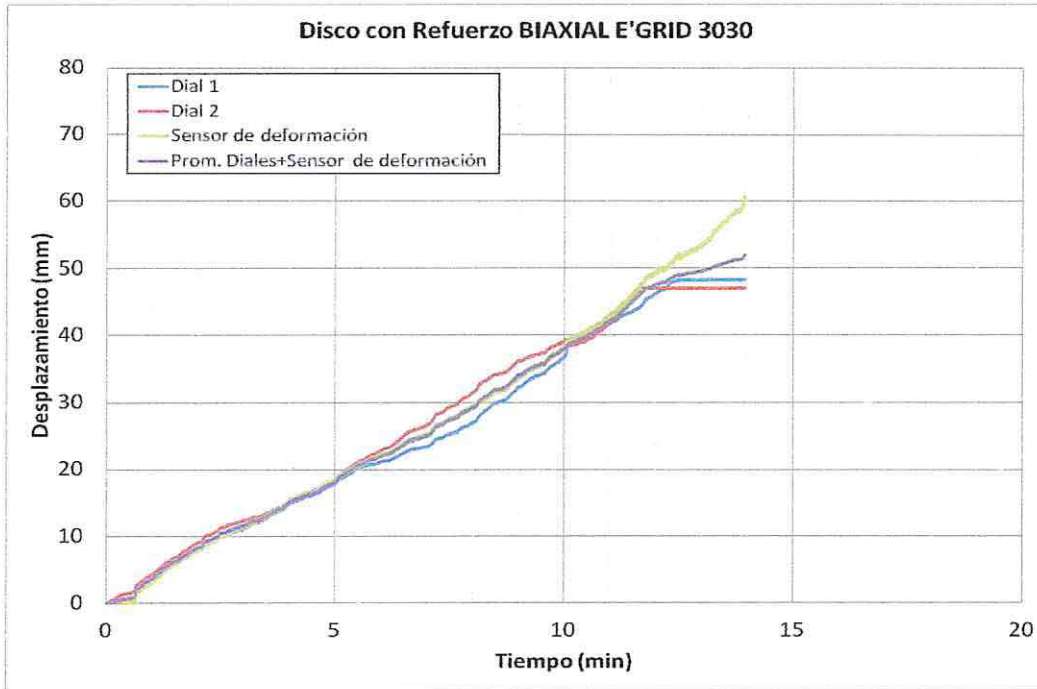


Gráfico 0.17 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 3030 a un medio de H (Ensayo Nº23).

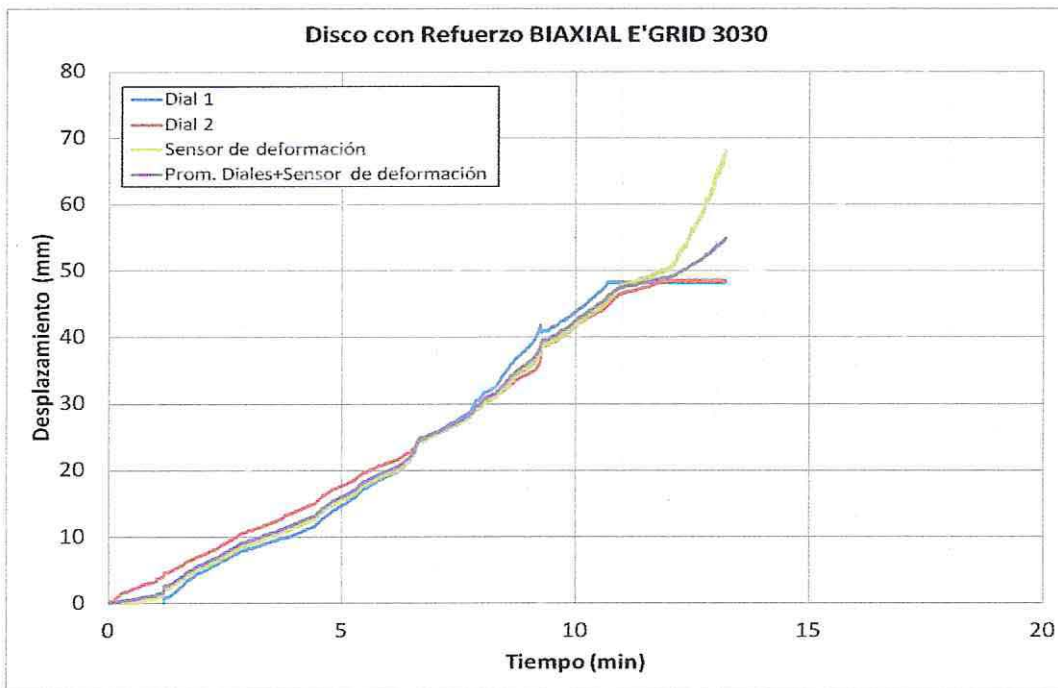


Gráfico 0.18 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 3030 a un medio de H (Ensayo Nº24).

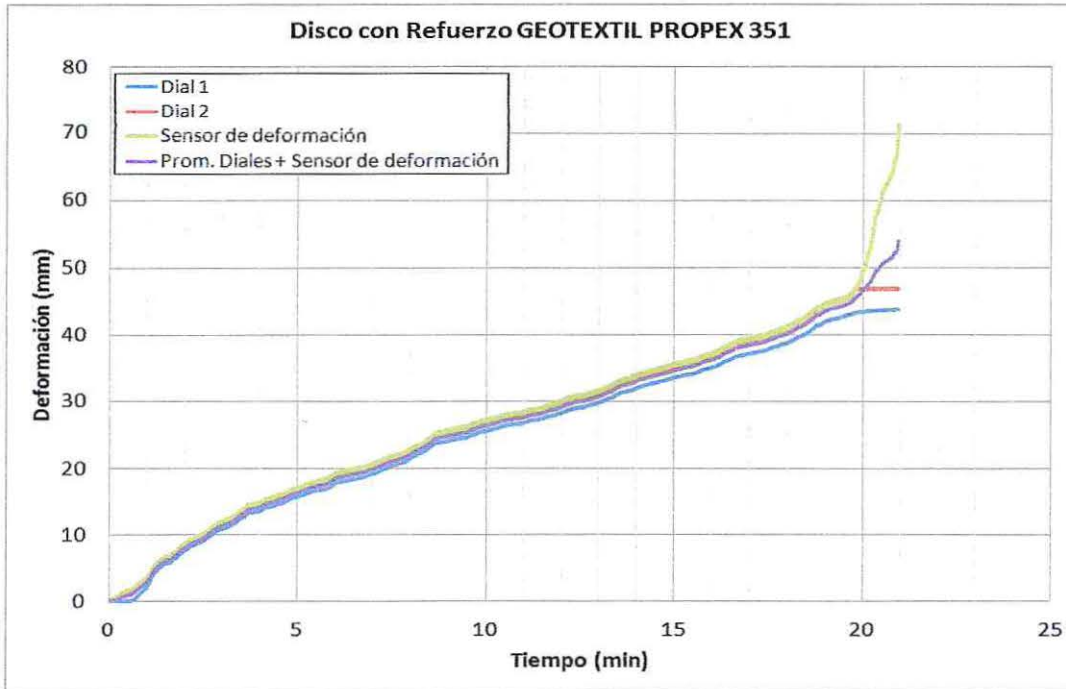


Gráfico 0.19 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 351 a un medio de H (Ensayo Nº25).

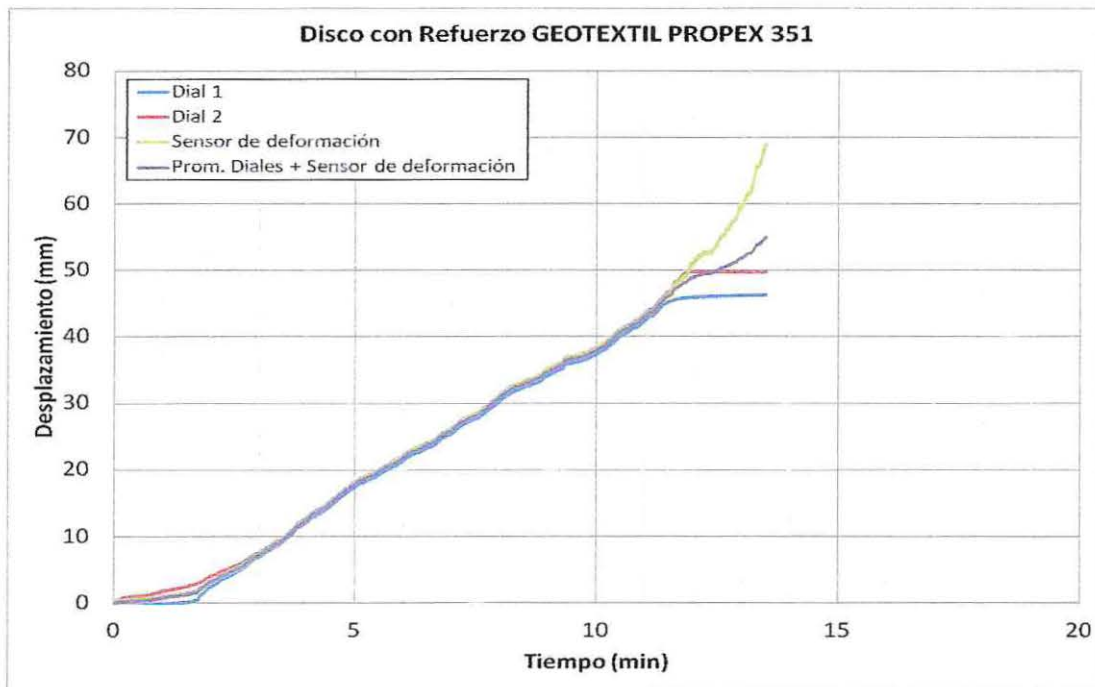


Gráfico 0.20 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 351 a un medio de H (Ensayo Nº26).

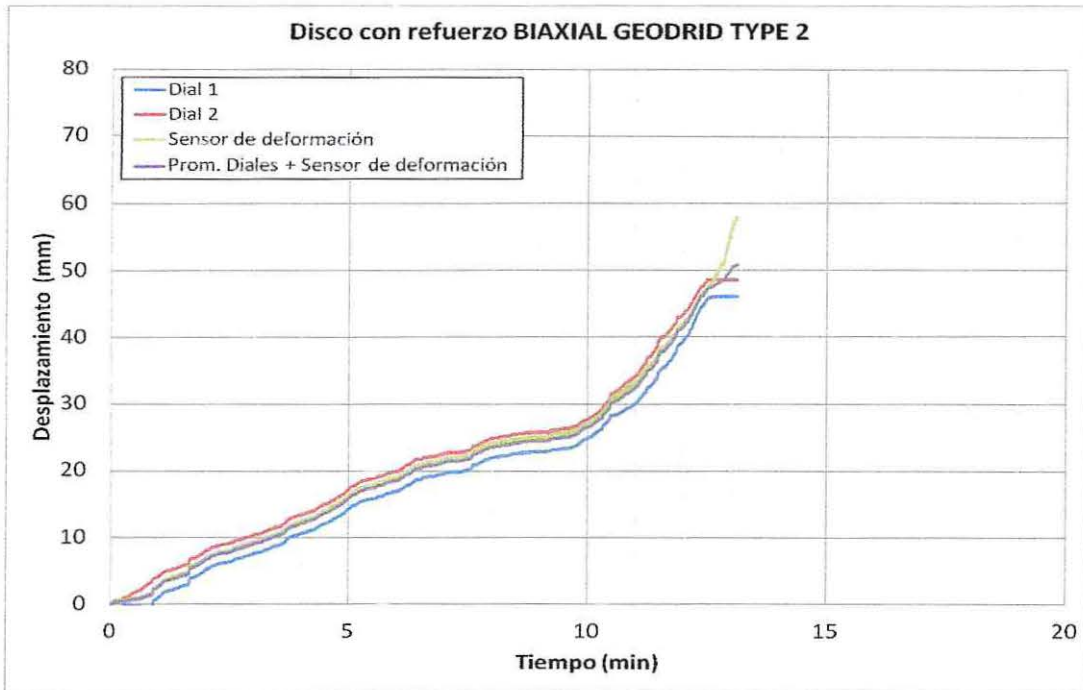


Gráfico 0.21 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo Nº29).

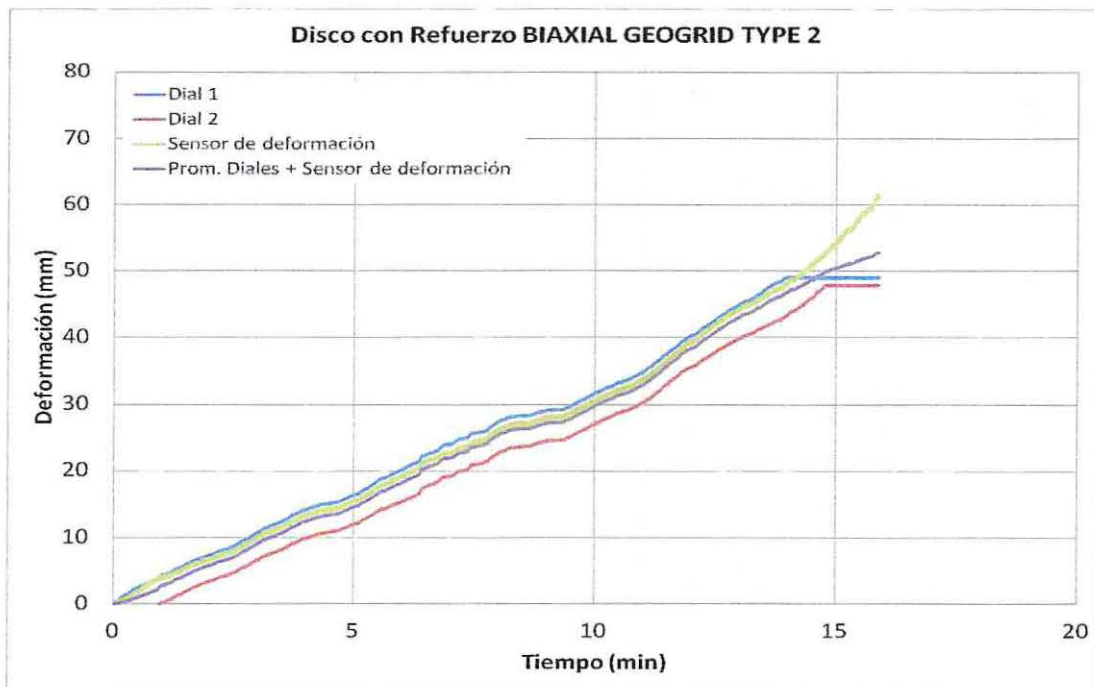


Gráfico 0.22 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL GEOGRID TYPE 2 a un medio de H (Ensayo Nº30).

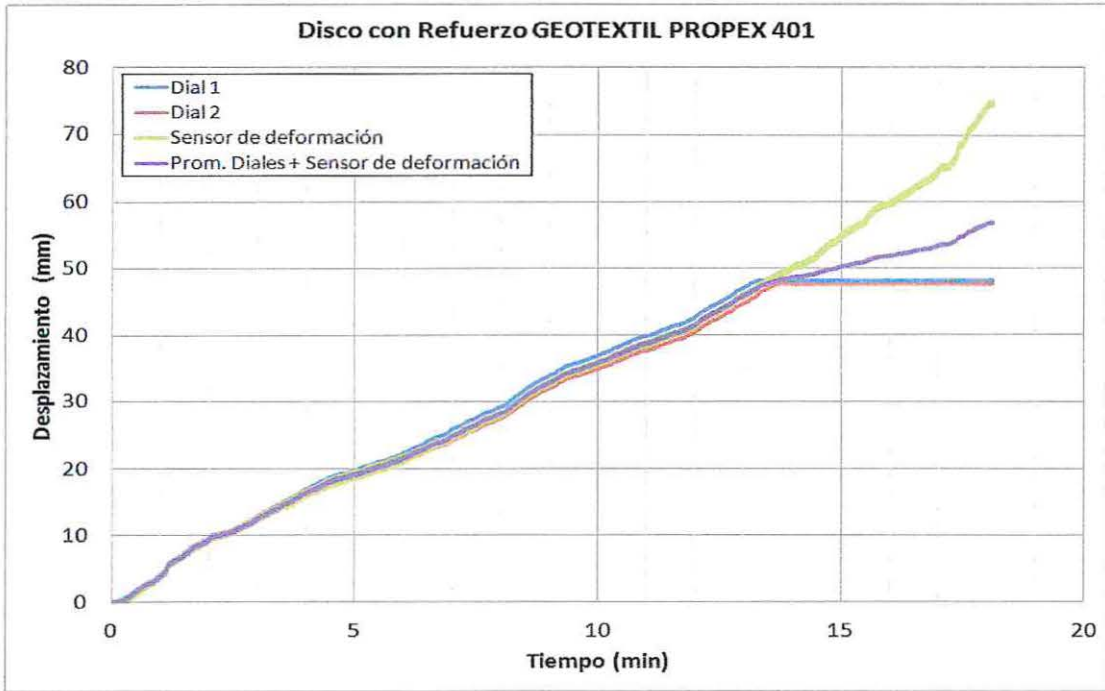


Gráfico 0.23 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 401 a un medio de H (Ensayo N°32).

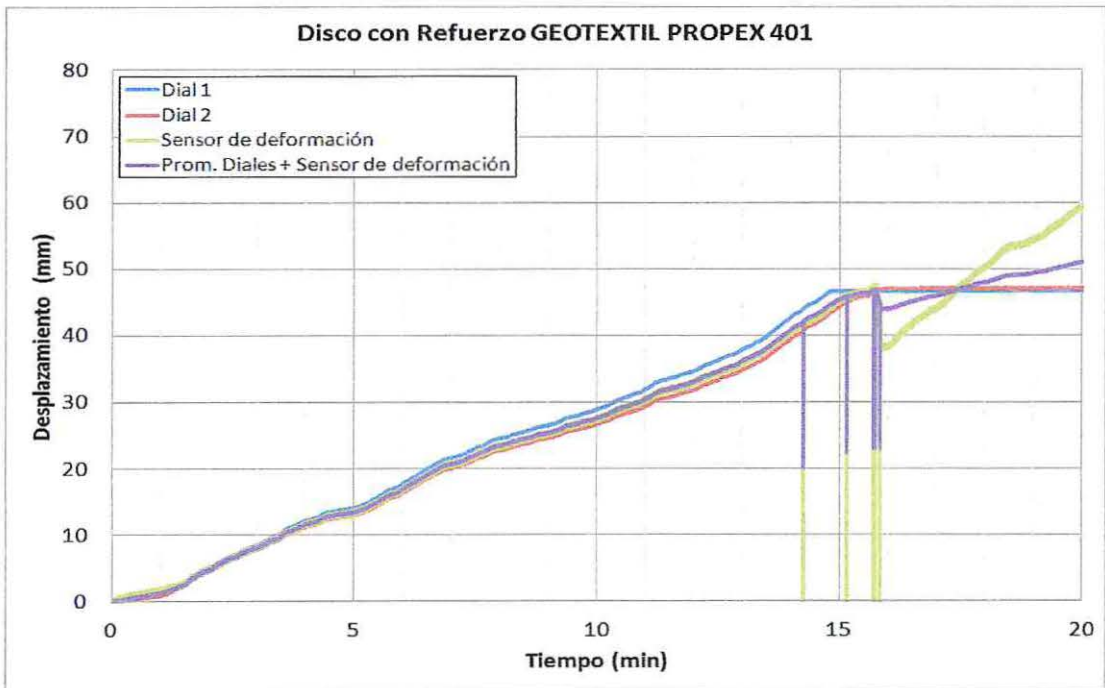


Gráfico 0.24 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo GEOTEXTIL PROPEX 401 a un medio de H (Ensayo N°33).

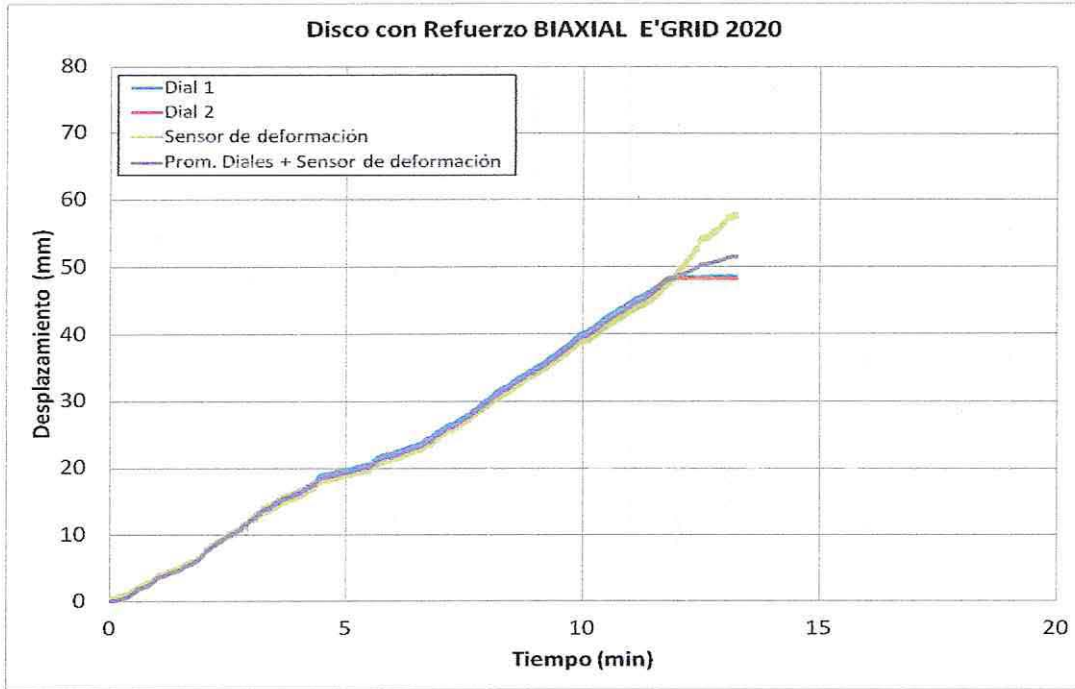


Gráfico 0.25 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un tercio de H (Ensayo N°34).

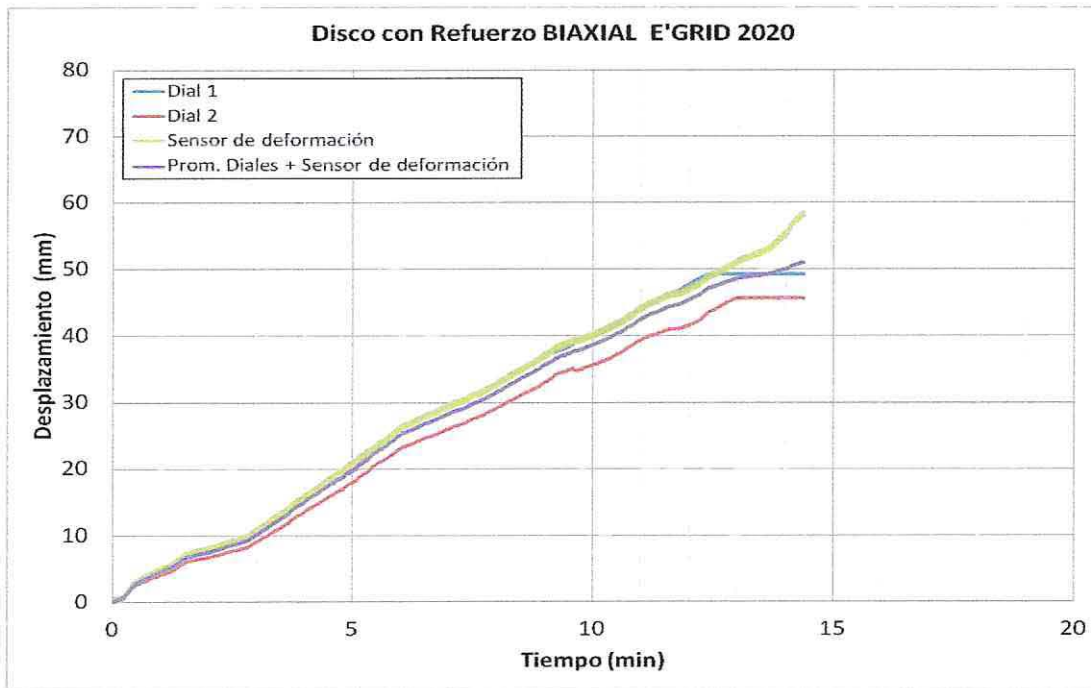


Gráfico 0.26 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco con refuerzo BIAxIAL E'GRID 2020 a un tercio de H (Ensayo N°35).

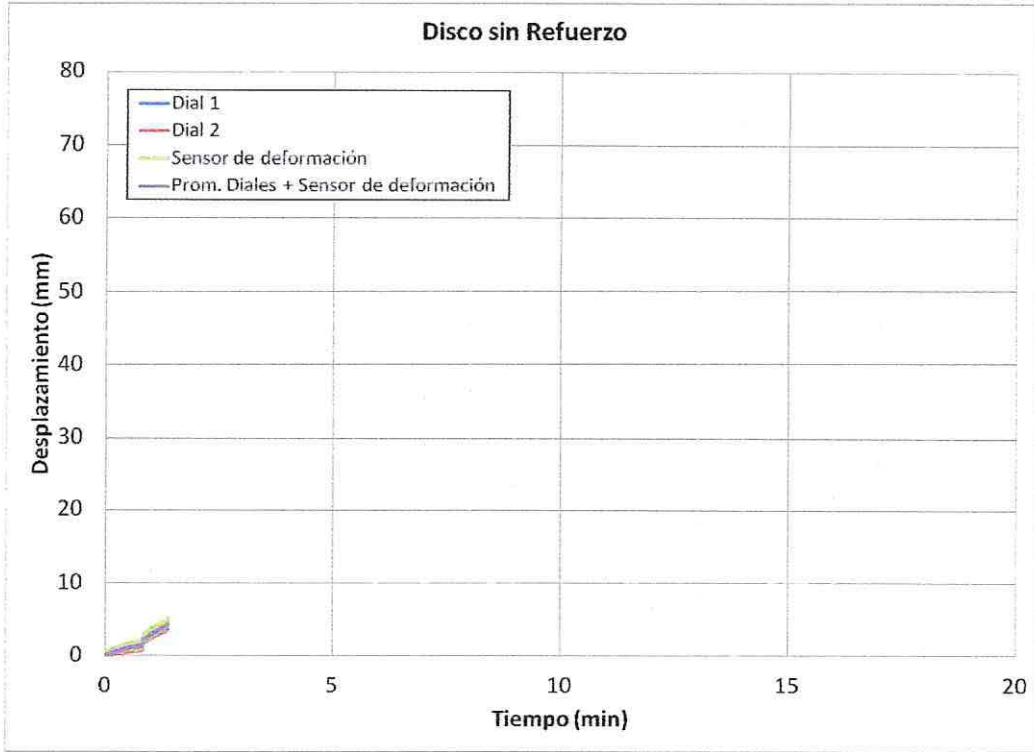


Gráfico 0.27 Curva Desplazamiento vs Tiempo Disco sin Refuerzo (Ensayo N° 36).

ANEXO 2

Registro Fotográfico.

Ensayo 1: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.



Ensayo 2: Disco sin Refuerzo



Ensayo 3: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.



Ensayo 4: Disco con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un tercio de la altura del disco.



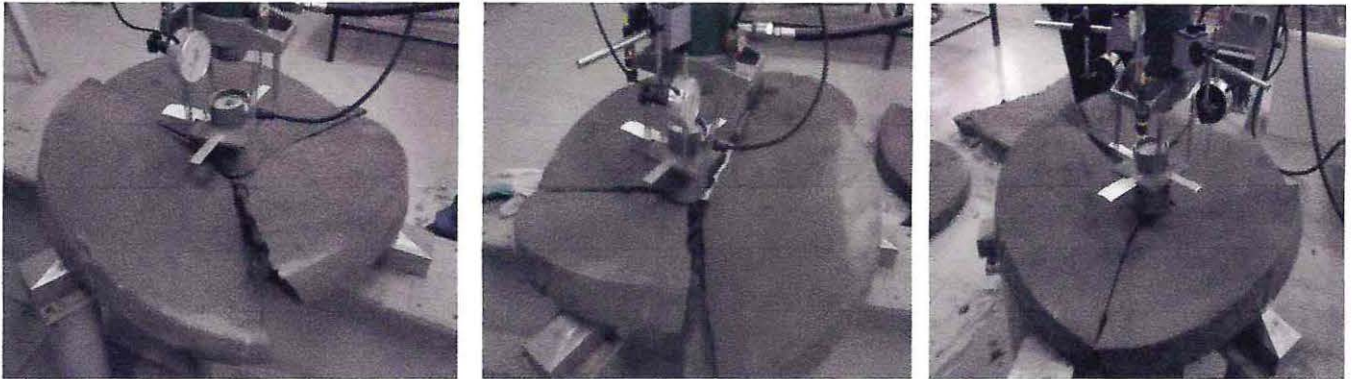
Ensayo 5: Disco con refuerzo Geotextil Propex 601 a un medio de la altura del disco.



Ensayo 6: Disco con refuerzo Geotextil Propex 601 a un tercio de la altura del disco.



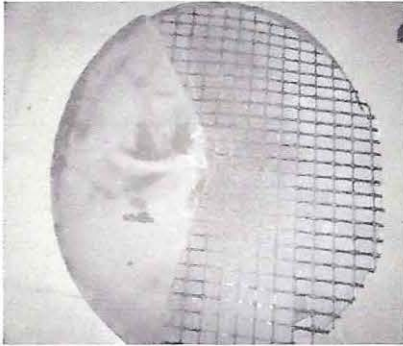
Ensayo 7, 8 y 9: Discos sin Refuerzo.



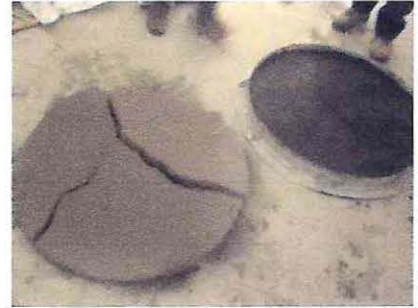
Ensayo 10, 11 y 12: Discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.



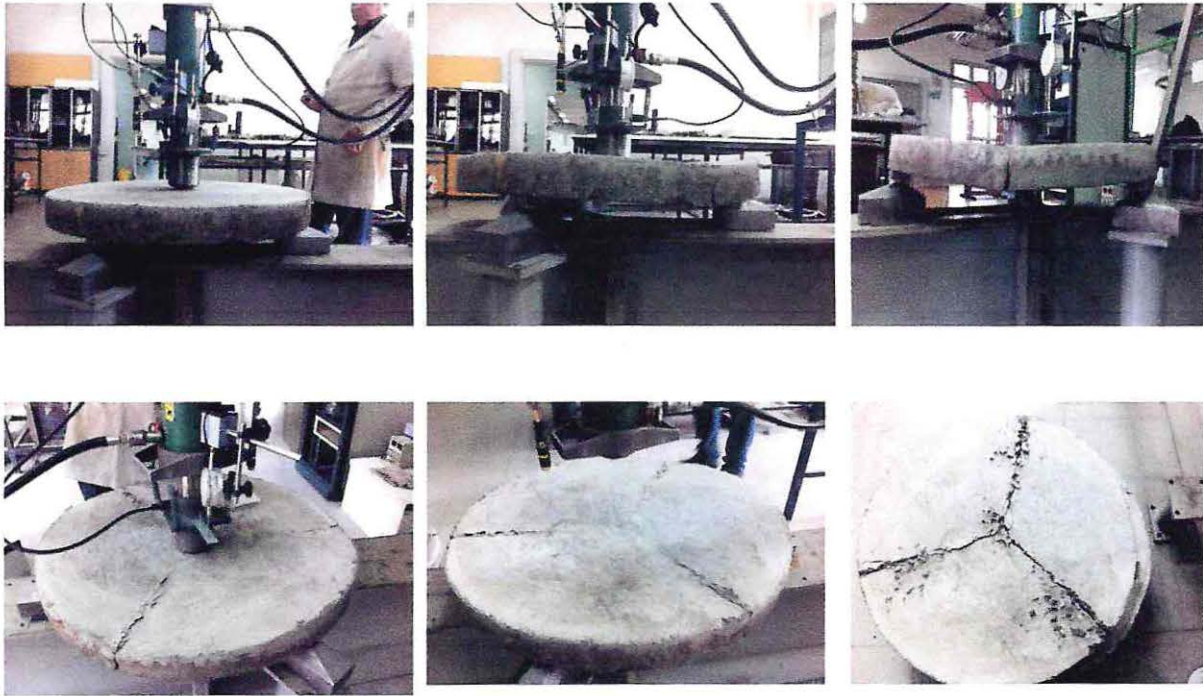
Ensayo 13, 14 y 15: Discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un tercio de la altura del disco.
DESCARTADOS



Ensayo 16, 17 y 18: Discos con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.
DESCARTADOS



Ensayo 19, 20 y 21: Discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 a un medio de la altura del disco.



Ensayo 22, 23 y 24: Discos con refuerzo Biaxial E'grid 3030 a un medio de la altura del disco.



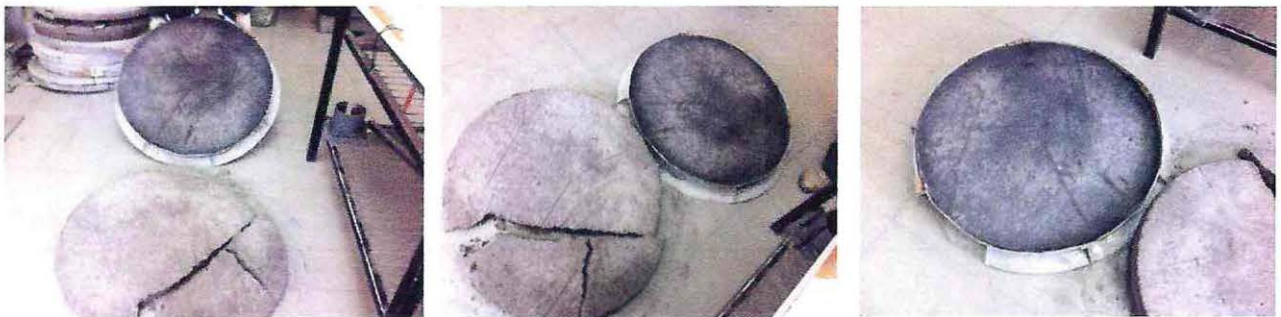
Ensayo 25 y 26: Discos con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco.



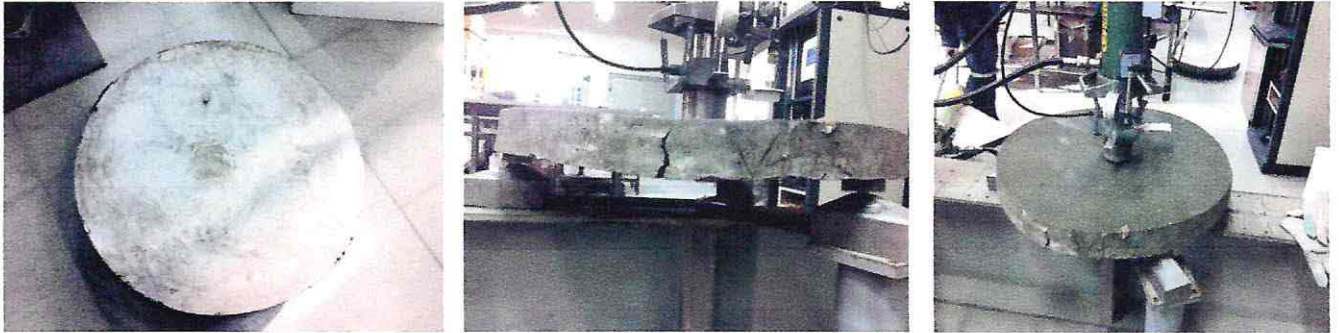
Ensayo 27: Discos con refuerzo Geotextil Propex 351 a un medio de la altura del disco. **DESCARTADO**



Ensayo 28: Discos con refuerzo Geotextil Propex 601 a un medio de la altura del disco. **DESCARTADO**



Ensayo 29 Y 30: Discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco.



Ensayo 31: Discos con refuerzo Biaxial Geogrid Type 2 a un medio de la altura del disco. **DESCARTADO**



Ensayo 32 y 33: Discos con refuerzo Geotextil Propex 401a un medio de la altura del disco.



Ensayo 34 y 35: Discos con refuerzo Biaxial E'grid 2020 a un tercio de la altura del disco.



Ensayo 36: Discos sin Refuerzo.



Ensayos de compresión: 2 Cilindros de Mortero.



ANEXO 3

Fichas Técnicas de Geosintéticos.



Product Specification - Biaxial Geogrid Type 2

Tensor International Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the person specifying the use of this product and of the purchaser to ensure that product specifications relied upon for design or procurement purposes are current and that the product is suitable for its intended use in each instance.

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
Polymer: Polypropylene
Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock

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)	1.27 (0.05)	1.27 (0.05)
▪ Tensile Strength @ 2% Strain ³	kN/m (lb/ft)	6.0 (410)	9.0 (620)
▪ Tensile Strength @ 5% Strain ³	kN/m (lb/ft)	11.8 (810)	19.6 (1,340)
▪ Ultimate Tensile Strength ³	kN/m (lb/ft)	19.2 (1,310)	28.8 (1,970)
Structural Integrity			
▪ Junction Efficiency ⁴	%	93	
▪ Flexural Stiffness ⁵	mg-cm	750,000	
▪ Aperture Stability ⁶	m-N/deg	0.65	
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

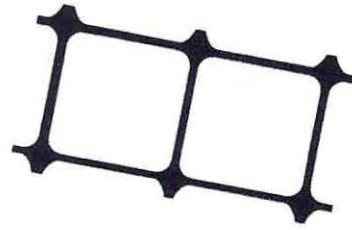
The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 160 to 210 rolls.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values 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.

This specification supersedes any and all prior specifications for the product designated above and is not applicable to any product shipped prior to January 1, 2009. Tensor is a trademark of Tensor International Corporation or its affiliates in the US and many other countries. Final determination of the suitability of the above-mentioned information or product for the use contemplated, and its manner of use are the sole responsibility of the user. Tensor International Corporation disclaims any and all express, implied or statutory warranties, including but not limited to, any warranty of merchantability or fitness for a particular purpose regarding this product or the Company's other products, technologies or services. The information contained herein does not constitute engineering advice.

E'GRID²⁰²⁰ BI-AXIAL



FICHA TECNICA GEOMALLA BIAxIAL E'GRID 2020

PROPIEDADES		NORMA	VALORES
Resistencia a la tracción (kN/m)	longitudinal	ISO 10319 : kN/m ³¹	20,0
	transversal	ISO 10319 : kN/m ³¹	20,0
Elongación (%)	longitudinal	ISO 10319 : %	11,6% (+- 2,5 %)
	transversal	ISO 10319 : %	10,7% (+- 2,1 %)
Resistencia a la tracción en 2% Elongación (kN/m)	longitudinal	ISO 10319 : kN/m ³¹	7,4
	transversal	ISO 10319 : kN/m ³¹	7,4
Resistencia a la tracción en 5% Elongación (kN/m)	longitudinal	ISO 10319 : kN/m ³¹	14,8
	transversal	ISO 10319 : kN/m ³¹	14,8
espesor de costilla (mm)	longitudinal	mm ³¹	2,0
	transversal	mm ³¹	2,0
Eficiencia de la unión %		GRI-GG2: % ¹¹	> 90
Resistencia última a la tracción		ISO 10319 : kN/m ³¹	20
Máxima Resistencia a la tracción		ISO 10319 : kN/m ³¹	20
Coeficiente de interacción		ASTM D 6706-1 ¹¹	0,85
Módulo secante a 2% de deformación		ISO 10319 : kN/m ³¹	370
Rigidez torsional: mm-N/deg		USA COE Method ²¹	369
Resistencia a la unión		GRI-GG2: kN/m ³¹	18,6
La rigidez a la flexión mg cm		ASTM D 5732 ²¹	1.410.000
Estabilidad a la apertura mm-N/deg		USA COE Method ²¹	369
Resistencia a los daños de instalación % SC / SO% / % GP		BS 8006 est. % ²¹	90
Resistencia a la degradación a largo plazo %		ISO 13438 extendido: %	100
Resistencia a la degradación UV%		EN 12224: %	98
Peso (g / m ²)			215
Contenido de Negro de Humo		BS 2782: % ³¹	2
Dimensiones de apertura		²¹	38 / 38
Ancho del rollo (m)		M ³¹	3,9
Longitud del rollo (m)		m ³¹	51,3
Tipo de polímero		100% Polipropileno	
Mecanismo de transferencia		Entrelazado mecánico positivo	

Notas:

- 1): valor mínimo promedio
- 2): Valor típico
- 3): estimado

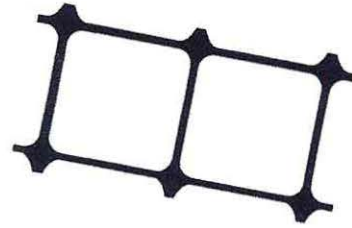


Bostd Geosynthetics Qingdao Ltd

GeoSistemas[®]
Soluciones Geotécnicas con Geosintéticos

Av. Americo Vespucio 1661 Quilicura - Santiago
FONO: (2) 603 57 32 - FAX: (2) 603 57 39
geosistemas@geosistemas.cl - www.geosistemas.cl

E'GRID³⁰³⁰ BI-AXIAL



FICHA TECNICA GEOMALLA BIAXIAL E'GRID 3030

PROPIEDADES		NORMA	VALORES
Resistencia a la tracción (kN/m)	longitudinal	ISO 10319 : kN/m ¹⁾	30,0
	transversal	ISO 10319 : kN/m ¹⁾	30,0
Elongación (%)	longitudinal	ISO 10319 : %	11,6% (+ 2,5 %)
	transversal	ISO 10319 : %	10,7% (+ 2,1 %)
Resistencia a la tracción en 2% Elongación (kN/m)	longitudinal	ISO 10319 : kN/m ¹⁾	10,8
	transversal	ISO 10319 : kN/m ¹⁾	10,8
Resistencia a la tracción en 5% Elongación (kN/m)	longitudinal	ISO 10319 : kN/m ¹⁾	21,6
	transversal	ISO 10319 : kN/m ¹⁾	21,6
espesor de costilla (mm)	longitudinal	mm ¹⁾	2,0
	transversal	mm ¹⁾	2,0
Eficiencia de la unión %		GRI-GG2: % ¹⁾	> 93
Resistencia última a la tracción		ISO 10319 : kN/m ¹⁾	30
Máxima Resistencia a la tracción		ISO 10319 : kN/m ¹⁾	30
Coefficiente de interacción		ASTM D 6706-1 ¹⁾	0,85
Módulo secante a 2% de deformación		ISO 10319 : kN/m ¹⁾	540
Rigidez torsional: mm-N/deg		USA COE Method ²⁾	446
Resistencia a la unión		GRI-GG2: kN/m ¹⁾	27,9
La rigidez a la flexión mg cm		ASTM D 5732 ²⁾	4.630.000
Estabilidad a la apertura mm-N/deg		USA COE Method ²⁾	446
Resistencia a los daños de instalación % SC / SO% / % GP		BS 8006 est. % ²⁾	90
Resistencia a la degradación a largo plazo %		ISO 13438 extendido: %	100
Resistencia a la degradación UV%		EN 12224: %	98
Peso (g / m ²)			320
Contenido de Negro de Humo		BS 2782: % ¹⁾	2
Dimensiones de apertura		²⁾	38 / 38
Ancho del rollo (m)		M ²⁾	3,9
Longitud del rollo (m)		m ¹⁾	51,3
Nº de rollo (40'HC)		Rolls ³⁾	105
Tipo de polímero			100% Polipropileno
Mecanismo de transferencia			Entrelazado mecánico positivo

Notas:

- 1): valor mínimo promedio
- 2): Valor típico
- 3): estimado



0338

Bostd Geosynthetics Qingdao Ltd

PRODUCT DATA SHEET

PROPEX * 351 (I)

PROPEX 351 (I) is a polypropylene, needlepunched nonwoven geotextile manufactured at one of Propex' facilities that has achieved ISO -9002 certification for its systematic approach to quality. The fibers are needed to form a stable network that retains dimensional stability relative to each other. The geotextile is resistant to ultraviolet degradation and to biological and chemical environments normally found in soils. PROPEX 351 (I) conforms to the property values listed below¹ which have been derived from quality control testing performed by one of Propex' GAI-LAP accredited laboratories:

PROPERTY	TEST METHOD	UNIT	TYPICAL ROLL VALUES ²
PHYSICAL			
Mass Per Unit Area	ASTM D5261 ISO 9864 AS 3706-1	g/m ²	120
Thickness	ASTM D5199 AS 3706-1	mm	1.2
MECHANICAL			
Grab Tensile Strength	ASTM D4632 AS 2001.2.3 method B	N	480
(Elongation @ Break)		%	60
Wide Width Tensile Strength	ASTM D4595 BS 6906-1 AS 3706-2	KN/m	8.0
(Elongation @ Break)		%	40
Trapezoidal Tear	ASTM D4533 AS 3706-3	N	200
Mullen Burst	ASTM D3786 AS 2001.2.4 method B	KPa	1445
Puncture Strength	ASTM D4833	N	290
CBR Burst	GRI-GSI BS 6906-4 AS 3706-4 DIN 54307	N	1780
Cone Drop	BS 6906-6 AS 3706-5	mm	32 720
HYDRAULIC			
Pore Size (O ₉₅)	ASTM D4751 (Dry)	mm	0.150
Permeability	ASTM D4491 BS 9606-3	cm/s	0.39 0.22
Permittivity	ASTM D4491	s ⁻¹	2.6
Water flow rate	ASTM D4491 BS 9606-3	l/min/m ²	6110 12220
ENDURANCE			
UV Resistance (% retained @ 500 hours)	ASTM D4355	%	70
Roll Dimensions		m	4 x 300

NOTES:

1. The property values listed above are effective 01/15/2000 and are subject to change without notice.
2. Values shown are in weaker principal direction. Typical indicates mean or average value of all test data.

PROPEX

THE ADVANTAGE CREATORS.™

GEOSYNTHETICS

GeoSistemas
Soluciones Geotécnicas con Geosintéticos

Av. Americo Vespucio 1691 Quilicura Santiago
Fono: 56 2 6035732 Fax: 56 2 6035739
www.geosistemas.cl
geosistemas@geosistemas.cl

Geotex, Landlok, Pyramat, X3, SuperGro, Petromat, Petrotac, Pro Guard and PetroGrid are registered trademarks of Propex Inc. THIS PUBLICATION SHOULD NOT BE CONSTRUED AS ENGINEERING ADVICE. WHILE INFORMATION CONTAINED IN THIS PUBLICATION IS ACCURATE TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE, PROPEX DOES NOT WARRANT ITS ACCURACY OR COMPLETENESS. THE ULTIMATE CUSTOMER AND USER OF THE PRODUCTS SHOULD ASSUME SOLE RESPONSIBILITY FOR THE FINAL DETERMINATION OF THE SUITABILITY OF THE INFORMATION AND THE PRODUCTS FOR THE CONTEMPLATED AND ACTUAL USE. THE ONLY WARRANTY MADE BY PROPEX FOR ITS PRODUCTS IS SET FORTH IN OUR PRODUCT DATA SHEETS FOR THE PRODUCT, OR SUCH OTHER WRITTEN WARRANTY AS MAY BE AGREED BY PROPEX AND INDIVIDUAL CUSTOMERS. PROPEX SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR ARISING FROM PROMISION OF SAMPLES, A COURSE OF DEALING OR USAGE OF TRADE.

PRODUCT DATA SHEET

PROPEX® 401 (I)

PROPEX 401 (I) is a polypropylene, needlepunched nonwoven geotextile manufactured at one of Propex' facilities that has achieved ISO-9002 certification for its systematic approach to quality. The fibers are needled to form a stable network that retains dimensional stability relative to each other. The geotextile is resistant to ultraviolet degradation and to biological and chemical environments normally found in soils. **PROPEX 401 (I)** conforms to the property values listed below¹ which have been derived from quality control testing performed by one of Propex' GAI-LAP accredited laboratories:

PROPERTY	TEST METHOD	UNIT	TYPICAL ROLL VALUES ²
PHYSICAL			
Mass Per Unit Area	ASTM D5261 ISO 9864 AS 3706-1	g/m ²	140
Thickness	ASTM D5199 AS 3706-1	mm	1.6
MECHANICAL			
Grab Tensile Strength	ASTM D4632 AS 2001.2.3 method B	N	555
(Elongation @ Break)		%	60
Wide Width Tensile Strength	ASTM D4595 BS 6906-1 AS 3706-2	KN/m	9.0
(Elongation @ Break)		%	40
Trapezoidal Tear	ASTM D4533 AS 3706-3	N	240
Mullen Burst	ASTM D3786 AS 2001.2.4 method B	KPa	1650
Puncture Strength	ASTM D4833	N	310
CBR Burst	GRI-GSI BS 6906-4 AS 3706-4 DIN 54307	N	1845
Cone Drop	BS 6906-6 AS 3706-5	mm	28 1130
HYDRAULIC			
Pore Size (O ₉₅)	ASTM D4751 (Dry)	mm	0.150
Permeability	ASTM D4491 BS 9606-3	cm/s	0.30 0.26
Permittivity	ASTM D4491	s ⁻¹	2.4
Water flow rate	ASTM D4491 BS 9606-3	l/min/m ²	6315 12220
ENDURANCE			
UV Resistance (% retained @ 500 hours)	ASTM D4355	%	70
Roll Dimensions		m	4 x 250

NOTES:

1. The property values listed above are effective 01/15/2000 and are subject to change without notice.
2. Values shown are in weaker principal direction. Typical indicates mean or average value of all test data.

PROPEX

THE ADVANTAGE CREATORS.™

GeoSistemas
Soluciones Geotécnicas con Geosintéticos

Av. Americo Vespucio 1691 Quilicura Santiago
Fono: 56 2 6035732 Fax: 56 2 6035739
www.geosistemas.cl
geosistemas@geosistemas.cl

GEOSYNTHETICS

Geotex®, Landlok®, Pyramat®, X3®, SuperGro®, Petromat® and Petrotac® are registered trademarks of Propex Inc.

THIS PUBLICATION SHOULD NOT BE CONSTRUED AS ENGINEERING ADVICE. WHILE INFORMATION CONTAINED IN THIS PUBLICATION IS ACCURATE TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE, PROPEX DOES NOT WARRANT ITS ACCURACY OR COMPLETENESS. THE ULTIMATE CUSTOMER AND USER OF THE PRODUCTS SHOULD ASSUME SOLE RESPONSIBILITY FOR THE FINAL DETERMINATION OF THE SUITABILITY OF THE INFORMATION AND THE PRODUCTS FOR THE CONTEMPLATED AND ACTUAL USE. THE ONLY WARRANTY MADE BY PROPEX FOR ITS PRODUCTS IS SET FORTH IN OUR PRODUCT DATA SHEETS FOR THE PRODUCT, OR SUCH OTHER WRITTEN WARRANTY AS MAY BE AGREED BY PROPEX AND INDIVIDUAL CUSTOMERS. PROPEX SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR ARISING FROM PROVISION OF SAMPLES, A COURSE OF DEALING OR USAGE OF TRADE.

PRODUCT DATA SHEET

PROPEX® 601 (I)

PROPEX 601 (I) is a polypropylene, needlepunched nonwoven geotextile manufactured at one of Propex' facilities that has achieved ISO-9002 certification for its systematic approach to quality. The fibers are needled to form a stable network that retains dimensional stability relative to each other. The geotextile is resistant to ultraviolet degradation and to biological and chemical environments normally found in soils. **PROPEX 601 (I)** conforms to the property values listed below¹ which have been derived from quality control testing performed by one of Propex' GAI-LAP accredited laboratories:

PROPERTY	TEST METHOD	UNIT	TYPICAL ROLL VALUES ²
PHYSICAL			
Mass Per Unit Area	ASTM D5261 ISO 9864 AS 3706-1	g/m ²	200
Thickness	ASTM D5199 AS 3706-1	mm	2.0
MECHANICAL			
Grab Tensile Strength	ASTM D4632 AS 2001.2.3 method B	N	775
(Elongation @ Break)		%	60
Wide Width Tensile Strength	ASTM D4595 BS 6906-1 AS 3706-2	KN/m	15.0
(Elongation @ Break)		%	50
Trapezoidal Tear	ASTM D4533 AS 3706-3	N	350
Mullen Burst	ASTM D3786 AS 2001.2.4 method B	KPa	2340
Puncture Strength	ASTM D4833	N	485
CBR Burst	GRI-GSI BS 6906-4 AS 3706-4 DIN 54307	N	2670
Cone Drop	BS 6906-6 AS 3706-5	mm	21 1925
HYDRAULIC			
Pore Size (O ₉₅)	ASTM D4751 (Dry)	mm	0.150
Permeability	ASTM D4491 BS 9606-3	cm/s	0.32 0.26
Permittivity	ASTM D4491	s ⁻¹	1.8
Water flow rate	ASTM D4491 BS 9606-3	l/min/m ²	4885 8145
ENDURANCE			
UV Resistance (% retained @ 500 hours)	ASTM D4355	%	70
Roll Dimensions		m	4 x 175

NOTES:

1. The property values listed above are effective 01/15/2000 and are subject to change without notice.
2. Values shown are in weaker principal direction. Typical indicates mean or average value of all test data.

PROPEX

THE ADVANTAGE CREATORS.™

GeoSistemas
Soluciones Geotécnicas con Geosintéticos

Av. Americo Vespucio 1691 Quilicura Santiago
Fono: 56 2 6035732 Fax: 56 2 6035739
www.geosistemas.cl
geosistemas@geosistemas.cl

GEOSYNTHETICS

Geotex®, Landlok®, Pyramat®, X3®, SuperGro®, Petromat® and Petrotac® are registered trademarks of Propex Inc.

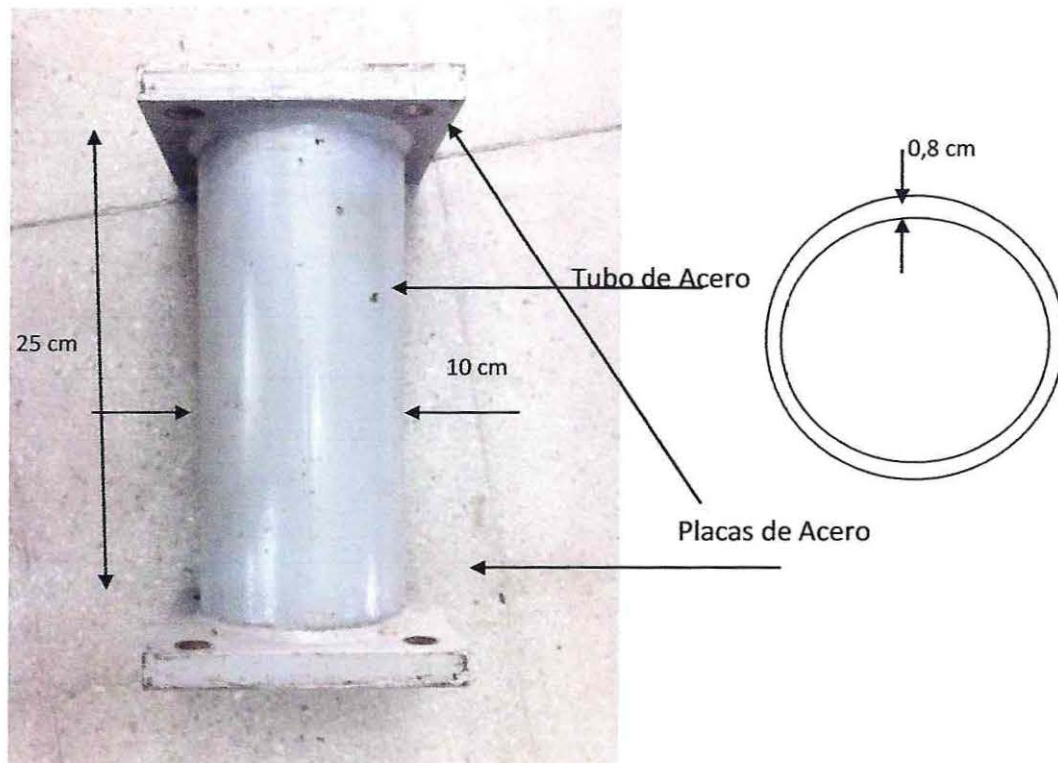
THIS PUBLICATION SHOULD NOT BE CONSTRUED AS ENGINEERING ADVICE. WHILE INFORMATION CONTAINED IN THIS PUBLICATION IS ACCURATE TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE, PROPEX DOES NOT WARRANT ITS ACCURACY OR COMPLETENESS. THE ULTIMATE CUSTOMER AND USER OF THE PRODUCTS SHOULD ASSUME SOLE RESPONSIBILITY FOR THE FINAL DETERMINATION OF THE SUITABILITY OF THE INFORMATION AND THE PRODUCTS FOR THE CONTEMPLATED AND ACTUAL USE. THE ONLY WARRANTY MADE BY PROPEX FOR ITS PRODUCTS IS SET FORTH IN OUR PRODUCT DATA SHEETS FOR THE PRODUCT, OR SUCH OTHER WRITTEN WARRANTY AS MAY BE AGREED BY PROPEX AND INDIVIDUAL CUSTOMERS. PROPEX SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR ARISING FROM PROVISION OF SAMPLES, A COURSE OF DEALING OR USAGE OF TRADE.

ANEXO 4

Flexibilidad Equipo de Ensayo.

Cálculo flexibilidad de Equipo de Ensayo, Norma ASTM C1550-12a.

Modelo de Ensayo:



Nota: La deformación de las placas de acero se desprecia.

Se supone que el acero del tubo a ensayar tiene un modulo de Elasticidad de 2100000 Kg/cm².

Según Anexo A1 de la Norma ASTM C1550-12a:

$$C_{LT} = C_{app} - C_{spec}$$

$$C_{LT} = C_{app} - \frac{\Delta_{spec}}{P}$$

Donde:

C_{LT} : Flexibilidad del Equipo de ensayo mm/KN

C_{app} : Flexibilidad aparente de la probeta incluyendo deformación de equipo de ensayo mm/KN.

C_{spec} : Flexibilidad de la muestra a ensayar (tubo de acero) mm/KN.

Δ_{spec} : Deformación de la muestra a una determinada carga P mm.

P: Carga KN.

Para calcular la flexibilidad de la muestra a ensayar por teoría se sabe que:

$$\sigma = E \varepsilon = \frac{P}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_o}$$

$$P = \frac{E A \Delta l}{L_o}$$

Donde: Modulo de Elasticidad del acero (E) = 2100000 Kg/cm²

Área del cilindro de acero (A) = 23,12 cm²

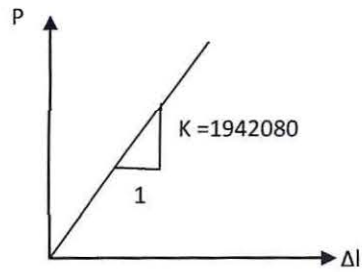
Largo inicial del cilindro (L_o) = 25 cm

Deformación del cilindro (Δl)

Por lo tanto,

$$P = \frac{2100000 * 23,12 * \Delta l}{25}$$

$$P = 1942080 \Delta l \frac{Kg}{cm}$$



$$\frac{P}{\Delta l} = K = 1942080 \frac{Kg}{cm}$$

$$K = 1942,08 \frac{KN}{mm}$$

$$C_{spec} = \frac{1}{K} = 0,00051 \frac{mm}{KN}$$

Mediante el ensayo de flexión hecho a una muestra de acero se obtiene la flexibilidad aparente de la probeta incluyendo la deformación del equipo de ensayo.

$$C_{app} = 0,01818 \frac{mm}{KN}$$

Teniendo la flexibilidad de la muestra incluyendo las deformaciones del equipo, se le resta la flexibilidad de la muestra sacada teóricamente, por lo tanto se obtiene la flexibilidad del equipo de ensayo.

$$C_{LT} = 0,01818 - 0,00051 \frac{mm}{KN}$$

$$C_{LT} = 0,01767 \frac{mm}{KN}$$

Flexibilidad la cual es despreciable para estos ensayos.