



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ELEMENTOS DE CONCRETO CON FIBRA
MACROSINTÉTICA, METÁLICA Y ELECTROMALLA EN ENSAYOS A FLEXIÓN**

Mynor Oswaldo Saquic López
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ELEMENTOS DE CONCRETO CON FIBRA
MACROSINTÉTICA, METÁLICA Y ELECTROMALLA EN ENSAYOS A FLEXIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MYNOR OSWALDO SAQUIC LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ELEMENTOS DE CONCRETO CON FIBRA
MACROSINTÉTICA, METÁLICA Y ELECTROMALLA EN ENSAYOS A FLEXIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 8 de octubre de 2014.



Mynor Oswaldo Saquic López

Guatemala, 25 de noviembre de 2015

Ingeniero

José Gabriel Ordoñez Morales

Jefe de área de materiales de construcción

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor jefe de área:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ELEMENTOS DE CONCRETO CON FIBRA MACROSINTÉTICA, METÁLICA Y ELECTROMALLA EN ENSAYOS A FLEXIÓN”**, desarrollado por el estudiante universitario Mynor Oswaldo Saquic López, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Mynor Saquic, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,


Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089
Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ingeniero Civil. No. De colegiado 2089



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
19 de febrero de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ELEMENTOS DE CONCRETO CON FIBRA MACROSINTÉTICA, METÁLICA Y ELECTROMALLA EN ENSAYOS A FLEXIÓN**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Mynor Oswaldo Saquic López quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles

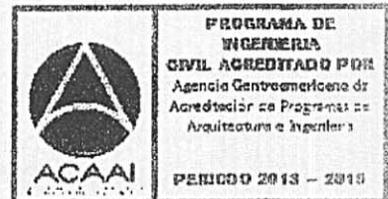


FACULTAD DE INGENIERIA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES

USAC

/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





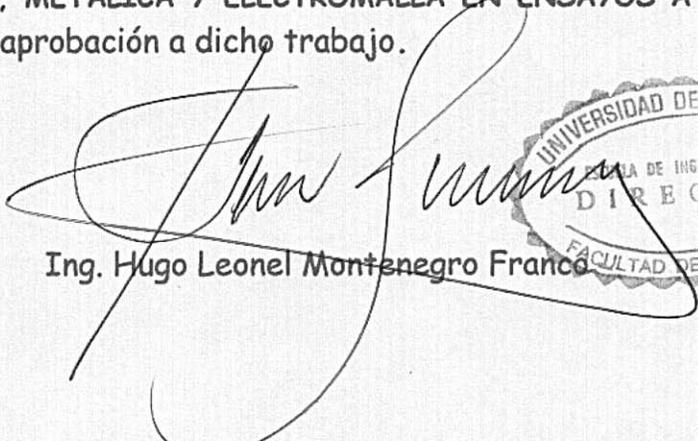
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Mynor Oswaldo Saquic López, titulado **ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ELEMENTOS DE CONCRETO CON FIBRA MACROSINTÉTICA, METÁLICA Y ELECTROMALLA EN ENSAYOS A FLEXIÓN**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2016
/mrrm.

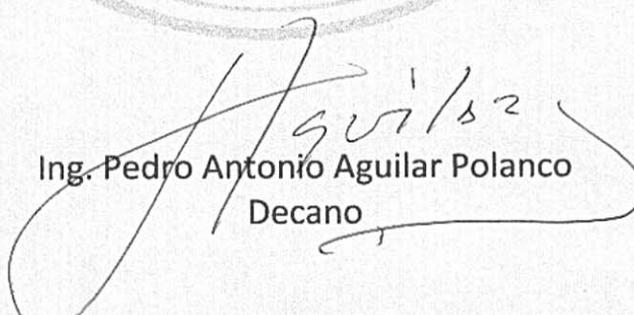
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ELEMENTOS DE CONCRETO CON FIBRA MACROSINTÉTICA, METÁLICA Y ELECTROMALLA EN ENSAYOS A FLEXIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Mynor Oswaldo Saquic López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la Virgen María	Por su ayuda en los momentos más difíciles en mi vida y no dejarme caer nunca.
Mis padres	Rigoberto Arnoldo Saquic Ajanel y Zoila Esperanza López de Saquic, por su ejemplo, amor y apoyo incondicional.
Mis hermanos	Ervin Arnoldo y Jorge Mario Saquic López, por su ayuda y cariño fraternal.
Mis abuelos	Jorge Saquic Matul y Nazaria Ajanel (q. e. p. d.), Demetrio López y Natividad Ramírez (q. e. p. d.), una flor sobre sus tumbas.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme culminar mis estudios a nivel superior.
Mi patria	Guatemala.

AGRADECIMIENTOS A:

**Dios y la
Virgen María**

Por darme la sabiduría, entendimiento, paciencia, fortaleza y perseverancia para alcanzar esta meta y culminar con éxito esta etapa de mi vida. Gracias por todos los dones que me han dado y por todas las bendiciones derramadas a lo largo de mi vida.

Mis padres

Por todo el amor esfuerzo y sacrificio realizado para que pueda salir adelante y cumplir mis sueños; por todas sus enseñanzas, valores y principios inculcados en mi persona. Que Dios y la Virgen María los bendiga siempre y me permita corresponder de igual manera.

Mis hermanos

Por ser mi buena compañía a lo largo de estos años, por estar siempre juntos y apoyarnos en todo.

Ing. Mario Corzo

Gracias por su apoyo, amistad, consejos y asesoría tanto intelectual como ética y moral.

Ing. Kenneth Molina

Gracias por su amistad, asesoría y motivación a seguir adelante.

**Mis amigos y
compañeros**

Antonio Boche, Keitel de Paz, Gladys Polanco y a todos los que estuvieron conmigo a lo largo de la carrera, valor importante en mi vida, por aconsejarme, y ayudarme moralmente como estudiante, gracias por estar conmigo en estos años de la carrera, y aún después. En especial a Lester Carrera, Fabio Sánchez, Edwin Mansilla, Iván Juárez y Joshua Noj, por su colaboración en el desarrollo y ensayo de mi trabajo de graduación.

Sika

Gracias por la colaboración en el desarrollo del tema de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1. Historia de materiales reforzado con fibras (macrosintética, metálica y electromalla)	1
1.2. Clasificación de fibras según sus propiedades mecánicas y características físicas, entre otros	3
1.2.1. Fibra metálica	3
1.2.2. Fibra macrosintética	5
1.2.3. Electromalla.....	6
1.3. Diferentes estructuras reforzadas con fibras	8
1.4. Diferentes estructuras afectadas por la absorción de energía.....	9
2. TIPOS Y METODOLOGÍA DEL ENSAYO.....	11
2.1. Descripción de los elementos del ensayo.....	11
2.1.1. Cemento	11
2.1.2. Agregado grueso	13
2.1.3. Agregado fino	14
2.1.4. Aditivo.....	15
2.1.5. Fibra metálica CHO65/35 NB	18

2.1.6.	Fibra macrosintética Fiber Force PP/PE-700/55.....	20
2.1.7.	Electromalla grado 70.....	23
2.2.	Elaboración de paneles para ensayo de concreto reforzado con fibra.....	25
2.3.	Ensayo de paneles (60x60x10 cms) según la Norma Europea EN 14488-5.....	32
2.4.	Ensayo a flexión de material sin fibra	33
2.5.	Ensayo a flexión de material con fibra macrosintética	35
2.6.	Ensayo a flexión de material con fibra metálica.....	37
2.7.	Ensayo a flexión de material con electromalla.....	39
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	41
3.1.	Materiales	41
3.1.1.	Absorción de graba.....	41
3.1.1.1.	Equipo de laboratorio.....	41
3.1.1.2.	Procedimiento.....	42
3.1.1.3.	Cálculo.....	42
3.1.2.	Mezclado de materiales.....	45
3.2.	Definición.....	48
3.3.	Fotografías y dibujos de fibras en las estructuras.....	49
3.3.1.	Formas últimas de las fibras metálicas obtenidas en fallas a flexión con diferentes dosificaciones de fibra.....	49
3.3.2.	Formas últimas de las fibras macrosintéticas obtenidas en fallas a flexión con diferentes dosificaciones de fibra	51
3.3.3.	Resultado final de la electromalla en falla a flexión	53
3.3.4.	Falla última del panel de concreto normal	55
3.4.	Tablas de datos obtenidos en los ensayos.....	57

3.4.1.	Gráficas de ensayo.....	61
3.5.	Gráficas de ensayos por cada fibra	62
3.5.1.	Gráficas del panel 1, concreto sin refuerzo	62
3.5.2.	Gráficas del panel 2, concreto sin refuerzo	67
3.5.3.	Gráficas del panel 3, concreto sin refuerzo	71
3.5.4.	Gráficas del panel 4, concreto sin refuerzo	75
3.5.5.	Gráficas del panel 5, concreto sin refuerzo	79
3.5.6.	Gráficas del panel 1, concreto con electromalla	83
3.5.7.	Gráficas del panel 2, concreto con electromalla	88
3.5.8.	Gráficas del panel 3, concreto con electromalla	92
3.5.9.	Gráficas del panel 4, concreto con electromalla	95
3.5.10.	Gráficas del panel 5, concreto con electromalla	98
3.5.11.	Gráficas del panel 1, concreto con fibra macrosintética baja.....	101
3.5.12.	Gráficas del panel 2, fibra macrosintética baja	106
3.5.13.	Gráficas del panel 3, fibra macrosintética baja	110
3.5.14.	Gráficas del panel 4, fibra macrosintética baja	113
3.5.15.	Gráficas del panel 5, fibra macrosintética baja	116
3.5.16.	Gráficas del panel 1, concreto y fibra macrosintética media.....	119
3.5.17.	Gráficas del panel 2, fibra macrosintética media	124
3.5.18.	Gráficas del panel 3, fibra macrosintética media	127
3.5.19.	Gráficas del panel 4, fibra macrosintética media	130
3.5.20.	Gráficas del panel 5, fibra macrosintética media	133
3.5.21.	Gráficas del panel 1, concreto con fibra macrosintética alta.....	135
3.5.22.	Gráficas del panel 2, fibra macrosintética alta	140
3.5.23.	Gráficas del panel 3, fibra macrosintética alta	142
3.5.24.	Gráficas del panel 4, fibra macrosintética alta	144

3.5.25.	Gráficas del panel 5, fibra macrosintética alta	146
3.5.26.	Gráficas del panel 1, fibra metálica baja.....	148
3.5.27.	Gráficas del panel 2, fibra metálica baja.....	154
3.5.28.	Gráficas del panel 3, fibra metálica baja.....	156
3.5.29.	Gráficas del panel 4, fibra metálica baja.....	158
3.5.30.	Gráficas del panel 5, fibra metálica baja.....	160
3.5.31.	Gráficas del panel 1, fibra metálica media.....	162
3.5.32.	Gráficas del panel 2, fibra metálica media.....	168
3.5.33.	Gráficas del panel 3, fibra metálica media.....	170
3.5.34.	Gráficas del panel 4, fibra metálica media.....	172
3.5.35.	Gráficas del panel 5, fibra metálica media.....	174
3.5.36.	Gráficas del panel 1, fibra metálica alta	176
3.5.37.	Gráficas del panel 2, fibra metálica alta	182
3.5.38.	Gráficas del panel 3, fibra metálica alta	184
3.5.39.	Gráficas del panel 4, fibra metálica alta	186
3.5.40.	Gráficas del panel 5, fibra metálica alta	188
3.6.	Aplicación de las ecuaciones para el cálculo de la energía en la gráfica esfuerzo–deformación.....	190
3.7.	Análisis de resultados obtenidos	191
3.7.1.	Paneles de concreto sin refuerzo	191
3.7.2.	Paneles de concreto con electromalla grado 70.....	192
3.7.3.	Paneles de concreto con fibra macrosintética baja ...	192
3.7.4.	Paneles de concreto con fibra macrosintética medias	193
3.7.5.	Paneles de concreto con fibra macrosintética alta	193
3.7.6.	Paneles de concreto con fibra metálica baja	193
3.7.7.	Paneles de concreto con fibra metálica media	194
3.7.8.	Paneles de concreto con fibra metálica alta	194
3.7.8.1.	Cálculo de cuantía de fibra metálica.....	194

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO	197
4.1.	Procedimiento y secuencia de los cálculos obtenidos en laboratorio.....	197
4.1.1.	Factor de seguridad y gráficas promedio de paneles sin refuerzo	198
4.1.1.1.	Eficiencia de trabajo concreto sin refuerzo.....	199
4.1.2.	Factor de seguridad y gráfica promedio paneles con electromalla grado 70	201
4.1.2.1.	Eficiencia de trabajo electromalla grado 70.....	201
4.1.3.	Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra macrosintética dosis baja	204
4.1.3.1.	Eficiencia de trabajo macrosintética baja	204
4.1.4.	Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra macrosintética dosis media	207
4.1.4.1.	Eficiencia de trabajo macrosintética media	207
4.1.5.	Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra macrosintética dosis alta	210
4.1.5.1.	Eficiencia de trabajo macrosintética alta	210
4.1.6.	Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra metálica dosis baja	213
4.1.6.1.	Eficiencia de trabajo metálica baja.....	213
4.1.7.	Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra metálica dosis media	216
4.1.7.1.	Eficiencia de trabajo metálica media.....	216

4.1.8.	Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra metálica dosis alta	219
4.1.8.1.	Eficiencia de trabajo metálica alta.....	219
4.2.	Determinación de la absorción de energía en cada panel reforzado.....	222
5.	COSTOS DE LOS MATERIALES PROPUESTOS COMPARADOS CON LOS MATERIALES TRADICIONALES.....	225
5.1.	Determinación del costo según materiales tradicionales	225
5.2.	Determinación del costo de material y fibra macrosintética	226
5.3.	Determinación del costo de material y fibra metálica.....	227
5.4.	Determinación del costo de material y electromalla.....	228
	CONCLUSIONES	229
	RECOMENDACIONES.....	235
	BIBLIOGRAFÍA.....	237
	APÉNDICES.....	241
	ANEXOS.....	243

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Túneles y obras subterráneas.....	9
2.	Bolsa de cemento para fabricar <i>block</i>	12
3.	Esquema de vacíos con agregados finos y gruesos	14
4.	Arena triturada	15
5.	Aditivo reductor de agua de alto rango.....	16
6.	Aditivo reductor de agua de alto rango presentación original.....	17
7.	Fibra metálica.....	18
8.	Fibra metálica en bolsa original.....	20
9.	Fibra macrosintética	21
10.	Electromalla en fabrica.....	23
11.	Nomenclatura.....	24
12.	Moldes en la utilización de paneles.....	26
13.	Elaboración de paneles de concreto para ensayo a flexión con electromalla grado 70.....	27
14.	Imágenes del ensayo sobre paneles cuadradas según la Norma Europea EN 14488-5.....	32
15.	Aplicación de presión en ensayo de panel de concreto	33
16.	Aparatos utilizados en los ensayos a flexión (a) bomba hidráulica, lectura de presiones (b) deformómetro, lecturas de deflexiones	34
17.	Ensayo de paneles de concreto sin fibra.....	34
18.	Ensayo de paneles de concreto con fibra macrosintética	36
19.	Ensayo de paneles de concreto con fibra metálica	38
20.	Ensayo de paneles de concreto y fallas con electromalla	40

21.	Procedimiento de absorción de graba.....	43
22.	Peso de materiales.....	46
23.	Mezclado de materiales	47
24.	Formas últimas de la fibra metálica.....	49
25.	Formas últimas de la fibra macrosintéticas	51
26.	Fractura final de electromalla	53
27.	Resultado final del panel de concreto con electromalla	54
28.	Falla de concreto sin refuerzo	55
29.	Gráficas carga-desplazamiento y energía-desplazamiento.....	61
30.	Gráfica carga–deflexión panel 1, concreto sin refuerzo	63
31.	Gráfica energía–deflexión panel 1, concreto sin refuerzo	64
32.	Área a compresión panel 1, concreto sin refuerzo	64
33.	Área a tensión panel 1, concreto sin refuerzo	65
34.	Gráfica carga–deflexión panel 2, concreto sin refuerzo	67
35.	Gráfica energía–deflexión panel 2, concreto sin refuerzo	68
36.	Área a compresión panel 2, concreto sin refuerzo	68
37.	Área a tensión panel 2, concreto sin refuerzo	69
38.	Gráfica carga–deflexión panel 3, concreto sin refuerzo	71
39.	Gráfica energía–deflexión panel 3, concreto sin refuerzo	72
40.	Área a compresión panel 3, concreto sin refuerzo	72
41.	Área a tensión panel 3, concreto sin refuerzo	73
42.	Gráfica carga–deflexión panel 4, concreto sin refuerzo	76
43.	Gráfica energía–deflexión panel 4, concreto sin refuerzo	76
44.	Área a compresión panel 4, concreto sin refuerzo	76
45.	Área a tensión panel 4, concreto sin refuerzo	77
46.	Gráfica carga–deflexión panel 5, concreto sin refuerzo	80
47.	Gráfica energía–deflexión panel 5, concreto sin refuerzo	80
48.	Área a compresión panel 5, concreto sin refuerzo	81
49.	Área a tensión panel 5, concreto sin refuerzo	81

50.	Gráfica carga–deflexión panel 1, concreto electromalla.....	84
51.	Gráfica energía–deflexión panel 1, concreto electromalla.....	84
52.	Área a compresión panel 1, concreto electromalla	85
53.	Área a flexocompresión panel 1, concreto electromalla.....	86
54.	Área a tensión panel 1, concreto electromalla	87
55.	Gráfica carga–deflexión panel 2, concreto electromalla.....	89
56.	Gráfica energía–deflexión panel 2, concreto electromalla.....	89
57.	Área a compresión panel 2, concreto electromalla	89
58.	Área a flexocompresión panel 2, concreto electromalla.....	90
59.	Área a tensión panel 2, concreto electromalla	91
60.	Gráfica carga–deflexión panel 3, concreto electromalla.....	93
61.	Gráfica energía–deflexión panel 3, concreto electromalla.....	93
62.	Gráfica carga–deflexión panel 4, concreto electromalla.....	95
63.	Gráfica energía–deflexión panel 4, concreto electromalla.....	96
64.	Gráfica carga–deflexión panel 5, concreto electromalla.....	98
65.	Gráfica energía–deflexión panel 5, concreto electromalla.....	99
66.	Gráfica carga–deflexión panel 1, macrosintética baja.....	102
67.	Gráfica energía–deflexión panel 1, macrosintética baja.....	102
68.	Área a compresión panel 1, macrosintética baja.....	103
69.	Área a flexocompresión panel 1, macrosintética baja	104
70.	Área a tensión panel 1, macrosintética baja.....	105
71.	Gráfica carga–deflexión panel 2, macrosintética baja	107
72.	Gráfica energía–deflexión panel 2, macrosintética baja.....	107
73.	Área a compresión panel 2, macrosintética baja.....	107
74.	Área a flexocompresión panel 2, macrosintética baja	108
75.	Área a tensión panel 2, macrosintética baja.....	109
76.	Gráfica carga–deflexión panel 3, macrosintética baja	110
77.	Gráfica energía–deflexión panel 3, macrosintética baja.....	111
78.	Gráfica carga–deflexión panel 4, macrosintética baja	113

79.	Gráfica energía–deflexión panel 4, macrosintética baja.....	114
80.	Gráfica carga–deflexión panel 5, macrosintética baja.....	116
81.	Gráfica energía–deflexión panel 5, macrosintética baja.....	117
82.	Gráfica carga–deflexión panel 1, macrosintética media.....	120
83.	Gráfica energía–deflexión panel 1, macrosintética media.....	120
84.	Área a compresión panel 1, macrosintética media.....	121
85.	Área a flexocompresión panel 1, macrosintética media.....	121
86.	Área a tensión panel 1, macrosintética media.....	122
87.	Gráfica carga–deflexión panel 2, macrosintética media.....	124
88.	Gráfica energía–deflexión panel 2, macrosintética media.....	125
89.	Gráfica carga–deflexión panel 3, macrosintética media.....	127
90.	Gráfica energía–deflexión panel 3, macrosintética media.....	128
91.	Gráfica carga–deflexión panel 4, macrosintética media.....	130
92.	Gráfica energía–deflexión panel 4, macrosintética media.....	131
93.	Gráfica carga–deflexión panel 5, macrosintética media.....	133
94.	Gráfica energía–deflexión panel 5, macrosintética media.....	134
95.	Gráfica carga–deflexión panel 1, macrosintética alta.....	136
96.	Gráfica energía–deflexión panel 1, macrosintética alta.....	136
97.	Área a compresión panel 1, macrosintética alta.....	137
98.	Área a flexocompresión panel 1, macrosintética alta.....	138
99.	Área a tensión panel 1, macrosintética alta.....	138
100.	Gráfica carga–deflexión panel 2, macrosintética alta.....	140
101.	Gráfica energía–deflexión panel 2, macrosintética alta.....	141
102.	Gráfica carga–deflexión panel 3, macrosintética alta.....	142
103.	Gráfica energía–deflexión panel 3, macrosintética alta.....	143
104.	Gráfica carga–deflexión panel 4, macrosintética alta.....	144
105.	Gráfica energía–deflexión panel 4, macrosintética alta.....	145
106.	Gráfica carga–deflexión panel 5, macrosintética alta.....	146
107.	Gráfica energía–deflexión panel 5, macrosintética alta.....	147

108.	Gráfica carga–deflexión panel 1, metálica baja.....	149
109.	Gráfica energía–deflexión panel 1, metálica baja	149
110.	Área a compresión panel 1, metálica baja	150
111.	Área a flexocompresión panel 1, metálica baja.....	151
112.	Área a tensión panel 1, metálica baja	152
113.	Gráfica carga–deflexión panel 2, metálica baja.....	154
114.	Gráfica energía–deflexión panel 2, metálica dosis baja	155
115.	Gráfica carga–deflexión panel 3, metálica baja.....	156
116.	Gráfica energía–deflexión panel 3, metálica baja	157
117.	Gráfica carga–deflexión panel 4, metálica baja.....	158
118.	Gráfica energía–deflexión panel 4, metálica baja	159
119.	Gráfica carga–deflexión panel 5, metálica baja.....	160
120.	Gráfica energía–deflexión panel 5, metálica baja	161
121.	Gráfica carga–deflexión panel 1, metálica media.....	163
122.	Gráfica energía–deflexión panel 1, metálica media	163
123.	Área a compresión panel 1, metálica media	164
124.	Área a flexocompresión panel 1, metálica media.....	165
125.	Área a tensión panel 1, metálica media	166
126.	Gráfica carga–deflexión panel 2, metálica media.....	168
127.	Gráfica energía–deflexión panel 2, metálica media	169
128.	Gráfica carga–deflexión panel 3, metálica media.....	170
129.	Gráfica energía–deflexión panel 3, metálica media	171
130.	Gráfica carga–deflexión panel 4, metálica media.....	172
131.	Gráfica energía–deflexión panel 4, metálica media	173
132.	Gráfica carga–deflexión panel 5, metálica media.....	174
133.	Gráfica energía–deflexión panel 5, metálica media	175
134.	Gráfica carga–deflexión panel 1, metálica alta.....	177
135.	Gráfica energía–deflexión panel 1, metálica alta	177
136.	Área a compresión panel 1, metálica alta	178

137.	Área a flexocompresión panel 1, metálica alta	179
138.	Área a tensión panel 1, metálica alta	180
139.	Gráfica carga–deflexión panel 2, metálica alta.....	182
140.	Gráfica energía–deflexión panel 2, metálica alta	183
141.	Gráfica carga–deflexión panel 3, metálica alta.....	184
142.	Gráfica energía–deflexión panel 3, metálica alta	185
143.	Gráfica carga–deflexión panel 4, metálica alta.....	186
144.	Gráfica energía–deflexión panel 4, metálica alta	187
145.	Gráfica carga–deflexión panel 5, metálica alta.....	188
146.	Gráfica energía–deflexión panel 5, metálica alta	189
147.	Gráfica promedio de carga–deflexión, concreto sin refuerzo	199
148.	Gráfica promedio de energía absorbida, concreto sin refuerzo.....	200
149.	Gráfica promedio de carga–deflexión, electromalla	202
150.	Gráfica promedio de energía absorbida, electromalla.....	203
151.	Gráfica promedio de carga–deflexión, macrosintética baja.....	205
152.	Gráfica promedio de energía absorbida, macrosintética baja	206
153.	Gráfica promedio de carga–deflexión, macrosintética media.....	208
154.	Gráfica promedio de energía absorbida, macrosintética media	209
155.	Gráfica promedio de carga–deflexión, macrosintética alta.....	211
156.	Gráfica promedio de energía absorbida, macrosintética alta	212
157.	Gráfica promedio de carga–deflexión, metálica baja.....	214
158.	Gráfica promedio de energía absorbida, metálica baja.....	215
159.	Gráfica promedio de carga–deflexión, metálica media.....	217
160.	Gráfica promedio de energía absorbida, metálica media	218
161.	Gráfica promedio de carga–deflexión, metálica alta.....	220
162.	Gráfica promedio de energía absorbida, metálica alta	221
163.	Gráfica energía final-fibras	223
164.	Gráfica energía por unidad de área-fibras.....	224

TABLAS

I.	Agregados gruesos utilizados	13
II.	Datos técnicos.....	17
III.	Datos técnicos de fibra metálica CHO65/35 NB.....	19
IV.	Datos técnicos de Sika Fiber Force PP/PE-700/55.....	22
V.	Datos técnicos de electromalla	24
VI.	Proporción para concreto sin fibra	28
VII.	Proporción para concreto con fibra metálica de dosis baja	28
VIII.	Proporción para concreto con fibra metálica de dosis media	29
IX.	Proporción para concreto con fibra metálica de dosis alta	29
X.	Proporción para concreto con fibra macrosintética de dosis baja	30
XI.	Proporción para concreto con fibra macrosintética de dosis media, 78 litros de concreto (2 moldes)	30
XII.	Proporción para concreto con fibra macrosintética de dosis alta	31
XIII.	Proporción para concreto con electromalla grado 70	31
XIV.	Pesos en seco de los agregados gruesos y finos	44
XV.	5 paneles de concreto sin refuerzo	57
XVI.	5 paneles de concreto con electromalla grado 70	58
XVII.	5 paneles de concreto con fibra macrosintética, dosis baja	58
XVIII.	5 paneles de concreto con fibra macrosintética, dosis media	59
XIX.	5 paneles de concreto con fibra macrosintética, dosis alta	59
XX.	5 paneles de concreto con fibra metálica, dosis baja	60
XXI.	5 paneles de concreto con fibra metálica, dosis media	60
XXII.	5 paneles de concreto con fibra metálica, dosis alta	61
XXIII.	Datos calculados en ensayos panel 1, concreto	63
XXIV.	Datos calculados en ensayos panel 2, concreto sin refuerzo.....	67
XXV.	Datos calculados en ensayos panel 3, concreto sin refuerzo.....	71
XXVI.	Datos calculados en ensayos panel 4, concreto sin refuerzo.....	75

XXVII.	Datos calculados en ensayos panel 5, concreto sin refuerzo.....	79
XXVIII.	Datos calculados en ensayos panel 1, electromalla.....	83
XXIX.	Datos calculados en ensayos panel 2, electromalla.....	88
XXX.	Datos calculados en ensayos panel 3, electromalla.....	92
XXXI.	Datos calculados en ensayos panel 4, electromalla.....	95
XXXII.	Datos calculados en ensayos panel 5, electromalla.....	98
XXXIII.	Datos calculados en ensayos panel 1, macrosintética baja	101
XXXIV.	Datos calculados en ensayos panel 2, macrosintética baja	106
XXXV.	Datos calculados en ensayos panel 3, macrosintética baja	110
XXXVI.	Datos calculados en ensayos panel 4, macrosintética baja	113
XXXVII.	Datos calculados en ensayos panel 5, macrosintética baja	116
XXXVIII.	Datos en ensayos panel 1, macrosintética media	119
XXXIX.	Datos en ensayos panel 2, macrosintética media	124
XL.	Datos en ensayos panel 3, macrosintética media	127
XLI.	Datos en ensayos panel 4, macrosintética media	130
XLII.	Datos en ensayos panel 5, macrosintética media	133
XLIII.	Datos en ensayos panel 1, macrosintética alta	135
XLIV.	Datos en ensayos panel 2, macrosintética alta	140
XLV.	Datos en ensayos panel 3, macrosintética alta	142
XLVI.	Datos en ensayos panel 4, macrosintética alta	144
XLVII.	Datos en ensayos panel 5, macrosintética alta	146
XLVIII.	Datos calculados en ensayos panel 1, metálica baja.....	148
XLIX.	Datos calculados en ensayos panel 2, metálica baja.....	154
L.	Datos calculados en ensayos panel 3, metálica baja.....	156
LI.	Datos calculados en ensayos panel 4, metálica baja.....	158
LII.	Datos calculados en ensayos panel 5, metálica baja.....	160
LIII.	Datos calculados en ensayos panel 1, metálica media.....	162
LIV.	Datos calculados en ensayos panel 2, metálica media.....	168
LV.	Datos calculados en ensayos panel 3, metálica media.....	170

LVI.	Datos calculados en ensayos panel 4, metálica media	172
LVII.	Datos calculados en ensayos panel 5, metálica media	174
LVIII.	Datos calculados en ensayos panel 1, metálica alta	176
LIX.	Datos calculados en ensayos panel 2, metálica alta	182
LX.	Datos calculados en ensayos panel 3, metálica alta	184
LXI.	Datos calculados en ensayos panel 4, metálica alta	186
LXII.	Datos calculados en ensayos panel 5, metálica alta	188
LXIII.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga concreto sin refuerzo ..	198
LXIV.	Cálculo promedio energía absorbida concreto sin refuerzo	200
LXV.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga eletromalla	202
LXVI.	Cálculo promedio energía absorbida electromalla	203
LXVII.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra macrosintética dosis baja	205
LXVIII.	Cálculo promedio energía absorbida macrosintética baja.....	206
LXIX.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra macrosintética dosis media	208
LXX.	Cálculo promedio energía absorbida macrosintética media.....	209
LXXI.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra macrosintética dosis alta	211
LXXII.	Cálculo promedio energía absorbida macrosintética alta.....	212
LXXIII.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra metálica dosis baja	214
LXXIV.	Cálculo promedio energía absorbida metálica baja	215
LXXV.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibrametálica dosis media	217
LXXVI.	Cálculo promedio energía absorbida metálica media.....	218
LXXVII.	Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra metálica dosis alta	220
LXXVIII.	Cálculo promedio energía absorbida metálica alta	221

LXXIX.	Datos finales	222
LXXX.	Datos finales fibra-energía	223
LXXXI.	Datos finales fibra–energía por unidad de área	224
LXXXII.	Precio total para un metro cúbico de concreto sin refuerzo	225
LXXXIII.	Precio total para un metro cúbico de concreto con fibra macrosintética	226
LXXXIV.	Precio total para un metro cúbico de concreto con fibra metálica	227
LXXXV.	Precio total para un metro cúbico de concreto con electromalla	228

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\text{Área}_{\text{comp.}}$	Área a compresión
C.D.	Carga de diseño
C.T.	Carga de trabajo
C.U.	Carga última
CFB	Cemento para fabricar <i>blocks</i>
Cm	Centímetro
ρ	Cuantía
ρ_{general}	Cuantía general
E_{fT_r}	Eficiencia de trabajo
F_s	Factor de seguridad
$f'c$	Factor del concreto
J	Joule
KN	Kilo Newton
Kg	Kilogramo
Kg_f	Kilogramo fuerza
L/D	Longitud partido diámetro
M	Metro
Mm	Milímetro
W	Peso de concreto
γ	Peso específico del concreto
B	Peso muestra saturada
A	Peso muestra seca
R	Resistencia a la tracción

Σ

Sumatoria

V

Volumen de panel

GLOSARIO

Agreca	Agregados de Centroamérica.
Áridos	Materiales granulares inertes de naturaleza Inorgánica.
Cohesión	Unión entre las moléculas de un cuerpo.
Deformómetro	Aparato para medir superficialmente las deformaciones lineales en estructuras de hormigón.
Dúctil	Material flexible, que se puede tensionar y comprimir o moldear en toda su forma.
Fisura	Hendidura en una muestra o roca, grupo de grietas de diferentes longitudes.
Flexión	Carga aplicada a piezas de material que indica compresión en una parte de la sección transversal y tensión en la restante.
Flexocompresión	Fuerza por unidad de área de sección transversal que suele expresarse en libra sobre pulgada cuadrada o kilogramo sobre centímetro cuadrado, existen tres tipos: tensión, compresión y cortante.

Granulometría	Graduación por tamaño de los agregados en general, utilizados en ingeniería.
Hiperestática	Gran equilibrio de los cuerpos al momento de ser ensayado en laboratorio.
Homogenizar	Proceso consistente en conseguir la mezcla homogénea de varias sustancias.
Lechada	Masa de agua y cemento combinado con agregados gruesos y finos en construcción.
Pétreo	Provenientes de la roca, de tamaño natural que puede ser procesados industrialmente.
<i>Shotcrete</i>	Concreto lanzado.
Tenacidad	Que opone mucha resistencia a la fuerza aplicada para no deformarse.
Tensión	Fuerza que resiste al estiramiento.
Trefilado	Reducción del diámetro de la sección de un producto metálico mediante tracción.

RESUMEN

La experiencia en la utilización de fibras en la historia de la construcción, como en los países donde empezó a utilizarse, será una breve explicación de la incorporación de fibras en el área de construcciones civiles, será vista en las estructuras donde más se ha utilizado este sistema, como la forma en que son afectadas por la absorción de energía. Por las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, estos serán utilizados para resistir fuerzas sometidas a tensión flexión y compresión.

Una breve descripción de los materiales que serán de uso en la elaboración de los paneles de concreto, y son utilizados en la ingeniería civil, los paneles de concreto elaborados y ensayados con diferentes dosis de fibras son para el cálculo y comparación de absorción de energía entre cada panel y verificar que tanta será la diferencia por fibra y dosificación.

La medida para la elaboración de los paneles se rige por la Norma Europea EN 14488-5, la norma simulará el comportamiento real de revestimiento. Las grandes ventajas del método son las condiciones hiperestáticas del apoyo, que permiten la redistribución de esfuerzos; la forma cuadrada del panel, que es ideal para realizar ensayos de concreto con mallas y fibras.

Con el ensayo a flexión en placas cuadradas según la Norma Europea EN 14488-5, se obtendrá la gráfica de carga-deflexión por cada panel, de esta misma se obtendrá por integración la gráfica de energía-deflexión.

Promediando las cinco losas de cada dosificación de fibra metálica y macrosintética (baja, media, alta) se comparan con el promedio de los cinco paneles de electromalla y concreto, sin refuerzo. Se obtendrá un valor de absorción de energía total por fibra y energía total por unidad de área.

Los valores obtenidos en la dosificación de la fibra metálica, fueron sin realizar el cálculo de la cuantía de acero, por tal razón se observará una similitud entre los valores de las dosificaciones evaluadas. Se calculó la cuantía para observar el dato que varía las dosificaciones en los ensayos de la fibra metálica.

Se realiza la eficiencia de trabajo y factor de seguridad en cada promedio de fibra, esto para verificar el trabajo de cada fibra utilizada en los ensayos y el factor de seguridad que indicará el trabajo proporcionado con el material adicional a su valor de diseño antes de llegar a la falla.

Los costos calculados se basaron en los precios actuales en el mercado de la construcción en Guatemala y pueden variar respecto al tipo de cambio de la moneda, ya que algunos productos están en dólares.

OBJETIVOS

General

Determinar la absorción de energía del concreto fabricado con distintos tipos de fibras.

Específicos

1. Comparación de costos, del concreto sin refuerzo, concreto con fibra y electromalla.
2. Determinar la diferencia de absorción de energía por cada dosificación y fibra diferente a evaluar.
3. Comparar el resultado de absorción de energía de las diferentes dosificaciones de fibras con el concreto sin refuerzo y concreto con electromalla.
4. Demostrar gráficamente la absorción de energía.
5. Dar a conocer los ensayos que se tienen que utilizar para la obtención de energía y elección de dosificación de fibra para el uso correcto en cada proyecto.
6. Analizar la importancia de los resultados que se obtendrán al ser implementados en el área de la construcción.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo está enfocado primordialmente en determinar la absorción de energía en el concreto con diferentes dosificaciones de fibras, dentro del ámbito de la ingeniería civil, y comparar resultados de concreto sin refuerzo y concreto con electromalla.

En la actualidad Guatemala utiliza comúnmente estructuras de concreto, formado por una base de cemento y agregados pétreos. Como toda estructura, el concreto está expuesto a trabajo por flexión y como efecto de su uso se presentan fisuras y deformaciones en su totalidad.

Debido a que el concreto simple muestra un comportamiento frágil y en el concreto adicionado con fibras es menos este efecto, se procederá a un ensayo a flexión de paneles cuadrados de concreto reforzado con fibras, concreto sin refuerzo y concreto con electromalla, para visualizar la curva de esfuerzo-deformación y determinar el comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto con fibra macrosintética, metálica y electromalla, en sus diferentes dosificaciones dentro de su rango recomendado con el fin de determinar el aumento de la absorción de energía de los distintos concretos.

Expuesto lo anterior, el tema que se sugiere sobre “absorción de energía en elementos de concreto con fibra macrosintética, metálica y electromalla en ensayos a flexión” podría ser un avance en la tecnología constructiva ya que se implementará un sistema con mejores características en función de la absorción de energía necesaria.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Historia de materiales reforzado con fibras (macrosintética, metálica y electromalla)

Los materiales reforzados con fibras son numerosos, como el caso del concreto u hormigón, que durante el siglo XX ha experimentado una profunda evolución como material de construcción en ingeniería civil, ya sea en diseño, tecnología y como material en sí; con la finalidad de buscar un mejor rendimiento y mejora en sus propiedades y comportamientos, un avance en el transcurso de los tiempos es la implementación de fibras en el concreto.

Las fibras se han implementado a los materiales como refuerzo estructural desde la antigüedad. Históricamente remontándose hace 4 000 años. Unos de los ejemplos de la aplicación de la fibra fue en la baja Mesopotamia, los adobes de barro cocidos al sol se armaban con paja y los pelos de cabra o caballo se utilizaron en el mortero con el fin de disminuir su tendencia a la fisura y mejorar el desempeño a esfuerzos de tensión. Este tipo de fibras naturales se utilizaron hasta 1935, aproximadamente. A principios de 1900, las fibras de asbesto se utilizaban en el concreto, y en la década de 1950, surge el concepto de materiales compuestos, por lo tanto el concreto reforzado con fibra fue uno de los temas de interés. En el transcurso de su aplicación hubo la necesidad de encontrar un reemplazo para el asbesto utilizado como fibra en construcción con concreto, una vez que los riesgos para la salud asociados con la sustancia fueron descubiertos.

Durante la década de 1930 hubo un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que tratan de copiar o sustituir por completo a las fibras naturales, y cuya aplicación principal es la fabricación de tejidos.

Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía. No obstante las fibras metálicas han tenido una mayor presencia a lo largo de los años como adición a materiales de construcción.

En la década de 1960, el acero y las fibras sintéticas fueron utilizados para refuerzo del concreto, y la investigación de los concretos reforzados con nuevas fibras continúa en la actualidad.

Los antecedentes más inmediatos de la utilización de fibras metálicas es de 1911, donde Graham lo aplica para incrementar la resistencia y estabilidad del concreto armado convencional. Sin embargo, los primeros estudios científicos sobre este tema se deben a Griffith, en 1920, los cuales fueron continuados en 1963.

En la década de 1970 se comenzó a utilizar en España concreto reforzado con fibras en diversos ámbitos: pavimentación de tableros en puentes, pavimentos industriales, revestimientos de túneles, prefabricados, entre otros. En estas aplicaciones, la de revestimiento de túneles o taludes con concreto reforzado con fibras metálicas ha tenido gran éxito.

Una de las primeras estructuras en aplicar electromalla en la construcción fue de paneles W en 1970, en los Estados Unidos para viviendas de poca altura, específicamente en la ciudad de San Francisco, California, a causa de los temblores y terremotos ocurridos en esta ciudad, donde se descubrió que el material compuesto por mallas estereométricas y microcolumnas, tenía buena

resistencia a sismos, comparado con los elementos compuestos de concreto, como paredes o muros, debido a que es un material flexible y que se combina muy bien con elementos de acero como vigas y columnas.

1.2. Clasificación de fibras según sus propiedades mecánicas y características físicas, entre otros

Las propiedades son atributos que poseen los materiales que generalmente tienen que ver con el comportamiento, cuando los mismos están sometidos bajo fuerzas aplicadas. Las propiedades mecánicas están en función del esfuerzo o de la deformación o ambas simultáneamente, las físicas son propiedades que miden la resistencia elástica del material y las propiedades químicas las cuales son su composición de iones en su estructura.

1.2.1. Fibra metálica

Las fibras metálicas están desarrolladas para mejorar la durabilidad del concreto y del concreto lanzado, cortada y doblada en determinadas longitudes y proporciones dependiendo el uso al que será sometido.

La fibra metálica tiene una densidad específica aproximada de 7 850 kg/m³ y una resistencia a tracción mínima de 1 200 N/mm² o de 2 000 Mpa. La capacidad de refuerzo de una fibra depende del anclaje de la misma en el concreto, de su resistencia a la tracción y de su módulo de elasticidad (módulo de Young), en la fibra metálica es de 210 Gpa.

La temperatura en las fibras metálicas tiene un efecto de neutro a positivo respecto a la propiedad de resistencia al fuego de estructuras.

La estructura de concreto reforzado con fibras de acero se comporta mejor que con una electromalla de refuerzo tradicional en presencia de fuego, de acuerdo con los especialistas en túneles ejecutados mediante dovelas. El acero mantiene su comportamiento mecánico a temperaturas de 350 a 400 °C.

La resistencia a la oxidación con respecto a las fibras metálicas, la experiencia y las investigaciones concluyen que:

- Las fibras metálicas necesitan solo un revestimiento mínimo de concreto de 1 a 2 mm comparados con los 30 a 40 mm de las mallas o barras tradicionales de refuerzo.
- La corrosión de las fibras en la superficie pueden causar decoloraciones, pero no afectan las propiedades mecánicas de las estructuras de concreto reforzado con fibras metálicas.
- Si por razones estéticas, el óxido debe ser evitado, se pueden utilizar fibras metálicas galvanizadas.

Las fibras metálicas no presentan degradación de la calidad durante su mezclado; y el contenido de fibras en el concreto fraguado o concreto fresco será entre 30 y 45 kg/m³ y se determinará de acuerdo a necesidades específicas de cada proyecto (absorción de energía requerida).

1.2.2. Fibra macrosintética

Las fibras macrosintéticas se proponen hoy en día para aplicaciones diversas en el concreto y morteros como refuerzo secundario. Aunque esta clase de fibra no tenga función estructural, suponen una mejora ante determinadas propiedades, como por ejemplo: el control de la fisuración por retracción, incremento de la tenacidad del concreto, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Una de las propiedades importantes, en este caso, para la fibra macrosintética en el concreto reforzado con fibra sería la tenacidad, descrita como la capacidad de absorción de energía del material.

Para las fibras bien ancladas y para una sollicitación idéntica, la elongación de las fibras macrosintéticas y el ancho correspondiente a las fisuras en el concreto es muy superior a las correspondientes con fibras metálicas. Esto puede tener un impacto sobre la durabilidad del concreto, principalmente cuando esta técnica se combina con las armaduras tradicionales.

El módulo de elasticidad o módulo de Young de la fibra macrosintética es aproximadamente 3 000 a 10 000 Mpa, comparada con la del concreto que generalmente es de 30 000 Mpa. La resistencia a la tracción de la fibra macrosintética varía de 300 a 650 Mpa, contra la del metal que es de 1 000 a 2 000 Mpa.

Por ser de un material ligero, es una ventaja para la salud y seguridad, pero esto da lugar a que sean más ligeras que el agua. De hecho las fibras macrosintéticas flotan sobre el agua, un fenómeno que puede llevarlas a la

superficie sin que afecte al concreto en proyecto, su densidad específica es de 910 kg/m^3 contra $1\ 000 \text{ kg/m}^3$ del agua.

Estas fibras aunque sobresalgan a la superficie de la estructura no son afectadas por la temperatura ambiente, ya que esta clase de fibra no se oxida solamente se cristalizan.

Las fibras macrosintéticas empiezan a perder sus propiedades mecánicas en cuanto la temperatura alcanza los $50 \text{ }^\circ\text{C}$ e incluso desaparece a $160 \text{ }^\circ\text{C}$. En un incendio, la estructura con fibra macrosintética que da rápidamente sin refuerzo, desapareciendo por completo la capacidad soporte; pudiendo dar como resultado una situación de riesgo desde las primeras horas en adelante.

Las fibras sometidas al fuego se derriten a una temperatura de $160 \text{ }^\circ\text{C}$, pero no son lo bastante finas para crear o formarse una red suficiente de pequeños aberturas o canales en el concreto. Dado que estas fibras se funden, no son adecuadas en estas estructuras de sostenimiento, donde el efecto refuerzo de las fibras es importante.

Algunas fibras macrosintéticas tienden a deshacer durante el mezclado. Este proceso sigue en el concreto y puede deshacer completamente la fibra.

1.2.3. Electromalla

Actualmente, la electromalla en acero trefilado se ha convertido complemento imprescindible, para el reforzamiento de concreto armado en diversas construcciones que ameriten una duración y permanencia estable.

La electromalla se compone de barras de acero negro o inoxidable, lisa o corrugada, laminada en frío, longitudinales y transversales, que se cruzan en forma rectangular, estando las mismas soldadas en todas sus intersecciones. Tiene mayor resistencia lo que permite utilizar menor cantidad de acero.

Dependiendo la aplicación del cual se va a utilizar, la electromalla puede ser en rollos para el refuerzo de túneles, como malla para concreto proyectado (*shotcrete*) y malla de temperatura para la construcción.

Electromalla en planchas, en el sector construcción reemplazando a las mallas de hierro tradicional. Para el sector minero, en canales hidráulicos, en acero inoxidable, para filtros y multiusos.

La especificación técnica del alambre liso negro para la electromalla núm. 8, 10, 12, 14. Son una tolerancia de (+/-) 0,08 mm, aberturas de 4" X 4" (100 mm X 100 mm), ancho de 2 m. Tolerancia (+/-) 13 mm, largo de 25 m tolerancia (+/-) 13 mm, resistencia mecánica al punto de rotura de 52,55 kg/mm², fluencia de 45,92 kg/mm² punto de formación o alargamiento del alambre, una elongación del 6 % de alargamiento del alambre, diámetros de 4" X 4" (100 mm X 100 mm), y resistencia al cizalle de la soldadura de $241 \times A$ (mm²) $\times \pi/4$. (A = área nominal del alambre más grueso).

Como materia prima el metal tiene una propiedad mecánica de resistencia a la tracción de (R) < 45,9 kg/mm² y una composición química de gran durabilidad para el reforzamiento de construcciones civiles y sostenimiento en galerías subterráneas y mineras.

El acero de alto carbón es usado para cribar material 100 % abrasivo y su durabilidad es mayor que el bajo carbón. La aleación básica del acero inoxidable, tiene excelente resistencia a la corrosión.

1.3. Diferentes estructuras reforzadas con fibras

Unos de los primeros experimentos con la adición de fibras a materiales destinados a la construcción le corresponden a las fibras metálicas. La primera patente de concreto reforzado con elementos metálicas se realizó en California, Estados Unidos, en 1874, por A. Berard, que fue una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del concreto. Entre las numerosas patentes que continuaron, destaca la de G. Martin en 1927, en California, describiendo sobre el concreto reforzado con alambre de acero rizado, proyectado para tuberías.

En la década de 1970 se comienza a utilizar este procedimiento de fibras en Europa sobresaliendo España, se utiliza en los siguientes ámbitos: pavimentos de tableros de puentes, pavimentos industriales, pavimentos de carros de combate militar, hangares, losas, revestimientos de túneles, minas, estabilización de taludes, paneles, prefabricados, entre otros.

Siendo más su utilización en el trabajo de revestimiento de túneles y pisos industriales a través de concreto lanzado por vía húmeda o seca, debido a la aplicación de carga que sufre la estructura con una tenacidad mayor para obtener una absorción de energía y evitar la mayor cantidad de fisuras.

1.4. Diferentes estructuras afectadas por la absorción de energía

Las estructuras en la ingeniería civil afectadas por la absorción de energía son numerosas. En este capítulo se mencionará algunas de las cuales son las más utilizadas en el medio.

La tenacidad o absorción de energía es la propiedad que tiene simultáneamente la capacidad de un material, tanto para resistir una carga como para deformarse.

Por el aspecto de la cantidad de energía que es transmitida al concreto y este pueda dispersar en todo su entorno (figura 1), son los túneles, obras subterráneas, pavimentos de carros de combate militar, hangares, pavimentos de tableros de puentes, cisternas, entre otros.

Figura 1. Túneles y obras subterráneas



Fuente: *Túneles y obras subterráneas*. <https://www.google.es/search?q=fotos+sika+tuneles+y+obras+subterranea>. Consulta: febrero de 2015.

2. TIPOS Y METODOLOGÍA DEL ENSAYO

2.1. Descripción de los elementos del ensayo

El concreto reforzado con fibras metálicas, macrosintéticas o electromalla es conocido por su ductilidad. El trabajo que proporciona el agregado de fibras es una combinación de refuerzos y de efecto “red”. Las fibras modifican el comportamiento de concreto en términos de material frágil a dúctil, no alterando las propiedades mecánicas del concreto.

Estos elementos de ensayo se refieren al comportamiento real de revestimiento en obra, para las capacidades de soportes de cargas y de la absorción de energía de un revestimiento de concreto.

La propuesta de ensayo de los paneles de concreto con fibra, permitirá verificar inmediatamente la absorción de energía, no siendo un ensayo para determinar las características y propiedades de los materiales para ser empleado en valores de cálculo.

2.1.1. Cemento

El tipo de cemento progreso de alta resistencia para fabricación de *block* (CFB) en Guatemala como se muestra en la figura 2, es un cemento Portland con adición de puzolana natural que cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos ASTM C1157 y Coguanor NGO 42095.

El cemento progreso para fabricar *blocks* corresponde a una categoría de resistencia de 3 460 PSI (24 N/mm²) a los 3 días. Por tanto con una resistencia mínima a compresión en morteros de cemento-arena normalizada (ASTM C109) a los 3 días, expresada como medida de fuerza por unidad de área, en libras por pulgada cuadrada o newton sobre milímetro al cuadrado.

Resistencia mínima de 5 000 PSI a los 28 días. (24 N/mm²). Los usos recomendados para el cemento CFB para fabricantes es de *blocks* de concreto liviano y normal, adoquines, prefabricados estructurales, prefabricados de concreto (viguetas, postes, planchas, entre otros) y edificaciones de estructuras con mayores resistencias mecánicas.

Figura 2. **Bolsa de cemento para fabricar *block***



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

2.1.2. Agregado grueso

Los materiales pétreos inertes resultantes de desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas y de otros materiales inertes y suficientemente duros.

El tipo de agregado grueso utilizado son los designados por los tamices de la ASTM por la abertura de la malla en pulgadas.

Tabla I. **Agregados gruesos utilizados**

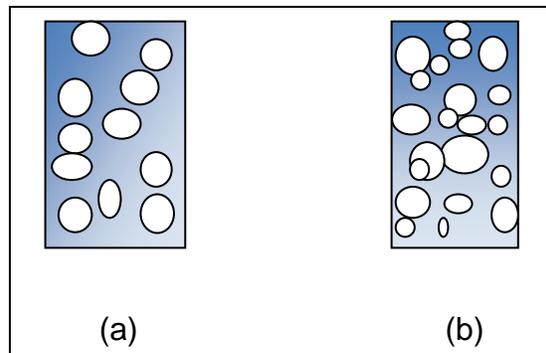
ASTM	Dimensión de malla
3/4 plg	19,0 mm
3/8 plg	9,5 mm

Fuente: elaboración propia.

Considerando la granulometría de los agregados por ser la más influyente en la cantidad de pasta, para una determinada trabajabilidad. Esto para la compactibilidad de los agregados y minimizar los vacíos entre estos y la pasta necesaria del área específica de las partículas.

Utilizando los dos tamaños de agregados se obtendrá un volumen menor de pasta en el concreto y se reducirá los espacios vacíos en la estructura en comparación a otras dosificaciones de agregados.

Figura 3. **Esquema de vacíos con agregados finos y gruesos**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 3 se puede observar la ventaja de la aplicación de los dos tamaños de agregados y su menor espacio de vacíos (a), se utiliza solamente un tamaño de agregado grueso (b) utilizando dos diferentes tamaños de agregados.

2.1.3. Agregado fino

Del grupo de los áridos finos, es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas o se obtiene de la trituración de arenas, y cuyo tamaño granulométrico es (min – máx): 0 – 4 mm.

Los agregados gruesos y agregados finos son provenientes de la planta de trituración de Agregados de Centroamérica (Agreca), está localizada en la 15 avenida 22-01 zona 6, interior de la finca La Pedrera de la ciudad de Guatemala.

La arena triturada caliza como se muestra en la figura 4, también es utilizada en la fabricación de concreto hidráulica y mezclas clasificadas.

Figura 4. **Arena triturada**



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

2.1.4. Aditivo

Para el área de ingeniería los aditivos son muy numerosos, en el caso del ensayo de paneles de concreto para calcular la absorción de energía, se utiliza el aditivo reductor de agua de alto rango y súper plastificante de alto desempeño para concreto, Sika ViscoCrete-2100. Cumpliendo con la Norma ASTM C-494. Tipos A y F.

Figura 5. **Aditivo reductor de agua de alto rango**



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

El aditivo se caracteriza por su baja relación agua/cemento en todos sus niveles de aplicación, una fluidez elevada, buena permanencia de fluidez, así como una cohesión óptima y una gran facilidad de autocompactación.

Los tiempos de fraguado controlados en el concreto utilizando Sika ViscoCrete 2100, lo hace ideal para aplicaciones tanto horizontales como verticales. Se utiliza en la producción de concreto de alto desempeño en obras y plantas de concreto premezclado para una gran reducción de agua entre 10 a 15 % y con altas dosificaciones se pueden lograr reducciones de agua de hasta un 45 %.

El aditivo trabaja como un plastificante en el hormigón dando alta fluidez, pero manteniendo la cohesión, evitando el sangrado o segregación del material.

La utilización del ViscoCrete-2100 tiene la ventaja de no contener cloruros ni sustancias que puedan favorecer la corrosión del acero de refuerzo, y por lo tanto puede utilizarse sin restricción en concretos armados o pretensados.

Tabla II. **Datos técnicos**

Líquido	Azul claro traslúcido
Densidad	1,1 g/cc aproximado
Dosis recomendada	(65 a 390 ml/100 kg)
Dosis alta	(325 a 780 ml/100 kg)

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Aditivo reductor de agua de alto rango presentación original**



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

2.1.5. Fibra metálica CHO65/35 NB

La fibra de acero para refuerzo de concreto Sika Fiber CHO65/35 NB de la figura 7, son filamentos de acero cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido, para el refuerzo de concreto y mortero lanzado, distribuyendo uniformemente las fibras por kilogramo a utilizar, obteniendo un comportamiento mecánico homogéneo de los materiales.

Figura 7. Fibra metálica



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

El uso de las fibras en el concreto dará una alta resistencia a la tracción y alta absorción de energía, por medio del alambre trefilado de bajo contenido de carbono, debido a los dobleces que permiten aumentar la adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto.

Por su presentación de fibras pegadas se logra una mejor distribución dentro del concreto, eliminar el habilitado y colocación de malla y varillas normales por la sustitución de fibras de acero. Cumpliendo con la Norma ASTM a 820, tipo 1.

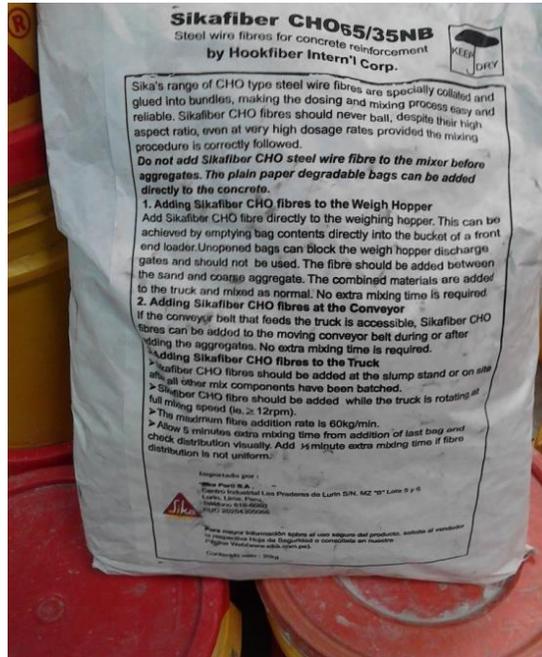
Tabla III. Datos técnicos de fibra metálica CHO65/35 NB

Tipo	Alambre de acero trefilado
Largo	35 mm con doblez en terminaciones
Relación de aspecto L/D	65 +/- 15 %
Resistencia a tracción	Mínimo 1 200 N/mm ²
Dosificación	Entre 30 y 45 kg/m ³ (de acuerdo a necesidad)
*Presentación	Saco de 20 kg

*Presentación del producto en el mercado se muestra en la figura 8 página 20.

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Fibra metálica en bolsa original



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

2.1.6. Fibra macrosintética Fiber Force PP/PE-700/55

Una fibra de alta densidad, fabricada de polipropileno virgen y polímeros de alto desempeño y deformadas mecánicamente, diseñada y utilizada para el refuerzo secundario de concreto, con un entorno de forma circular y ondulado para un máximo anclaje y unión interfacial y eficiente resistencia a la flexión del concreto; su forma física evita la pérdida excesiva en el concreto proyectado (*shotcrete*), por su alto contacto de área superficial dentro del concreto.

Tiene gran compatibilidad con todos los aditivos para concreto Sika y las sustancias químicas que aumentan el rendimiento del concreto.

La fibra Fiber Force PP/PE-700/55 (figura 9) es estrictamente diseñada y fabricada bajo la Norma ISO 9001:2000 con una tasa de adición mínima de 2 kg por metro cúbico. Cumpliendo con las normas:

- ASTM C 1116/C 1116 M, concreto tipo III reforzado con fibra
- Norma Europea EN-14889-2 como clase II

Figura 9. **Fibra macrosintética**



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Tiene muchas ventajas en la aplicación al concreto proyectado (*shotcrete*) que es su alta densidad, evitando la pérdida en exceso cuando es usado durante su lanzamiento, aumenta la resistencia a la tenacidad, absorción de energía e impacto del concreto, resistencia residual y ductilidad.

Otras ventajas de la fibra en la utilización en el concreto son:

- No afecta la fluidez (*slump*) de la mezcla como otras fibras multifilamento.
- Disminuye la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido del concreto.
- Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz del concreto.
- Reduce el desgaste en bombas y tuberías.
- Alta resistencia a los ataques químicos y a los álcalis.
- Siempre se coloca uniformemente en el concreto.

Tiene un uso para *shotcrete* vía húmeda y seca, ya sea definitivo o temporal, losas sobre el piso, áreas para estacionamiento, pavimentos exteriores, elementos prefabricados, entre otros.

La dosis de aplicación para la fibra macrosintética es de 2 a 8 kg/m³ de concreto o *shotcrete*, dependiendo de la ductilidad, resistencia residual, tenacidad o absorción de energía específica.

Tabla IV. **Datos técnicos de Sika Fiber Force PP/PE-700/55**

Absorción de agua	0 %
Gravedad específica	1,3
Largo de fibra	55 mm
Conductividad eléctrica	Baja
Punto de fusión	430 °C
Punto de ablandamiento	160 °C
Resistencia al álcalis, sales y ácidos	Alta

Fuente: elaboración propia.

2.1.7. Electromalla grado 70

La electromalla fabricada con hierro grado 70 liso o corrugado, es electrosoldada con la más alta tecnología con el fin de garantizar un espaciamiento correcto y exacto. Cumpliendo con las Normas ASTM A-497 y ASTM-185.

Ventajas que proporciona la electromalla de Monolit en la construcción:

- Calidad y resistencia en la soldadura en sus varillas.
- Espaciamiento y medidas exactas.
- Sustituye el proceso de armado en obra.
- Optimización en tiempo y dinero, dando como resultado eficiencia y economía.
- Amplio *stock* en sus diferentes calibres.

Unas de sus características estándar que proporcionan son la longitud de 6,00 m de largo, el ancho de 2,35 m y su área bruta de 14,10 m².

Figura 10. **Electromalla en fabrica**



Fuente: *Electromalla Monolit*. <https://www.google.com.gt/search?q=fotos+electromalla+monolit&biw=1366&bih=599&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=1UIOVdHrN9PfsATk84HwDA&ved=0CBsQsAQ>. Consulta: marzo de 2015.

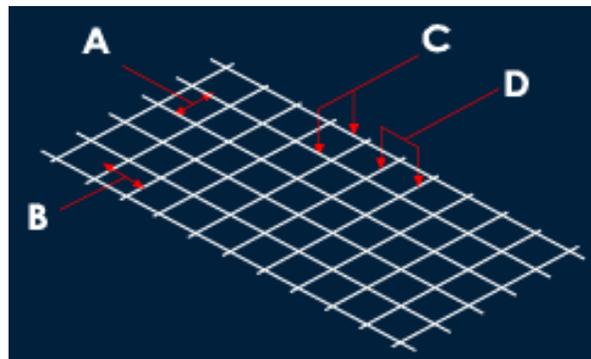
Las aplicaciones a las cuales es utilizada la electromalla son sistemas prefabricados, muros de contención, losas, muros y pavimentos, entre otros.

Tabla V. **Datos técnicos de electromalla**

NOMENCLATURA	DIÁMETRO DE VARILLA	ÁREA DE VARILLA	PESO	ÁREA DE REFUERZO	TIPO DE VARILLA
cuadro calibre	mm	cm ²	kg/m ² kg/pl	cm ² /m	-
6" x 6" 9/9	3,80	0,113	1,20 16,91	0,756	Corrugada

Fuente: *catálogo de productos Monolit.* p. 7.

Figura 11. **Nomenclatura**



A – espaciamiento en pulgadas entre varillas longitudinales

B – espaciamiento en pulgadas entre varillas transversales

C – calibre SWG de varillas longitudinales

D – calibre SWG de varillas transversales

(SWG: Steel Wire Gauge) = medida estándar

Fuente: *catálogo de productos Monolit.* p. 7.

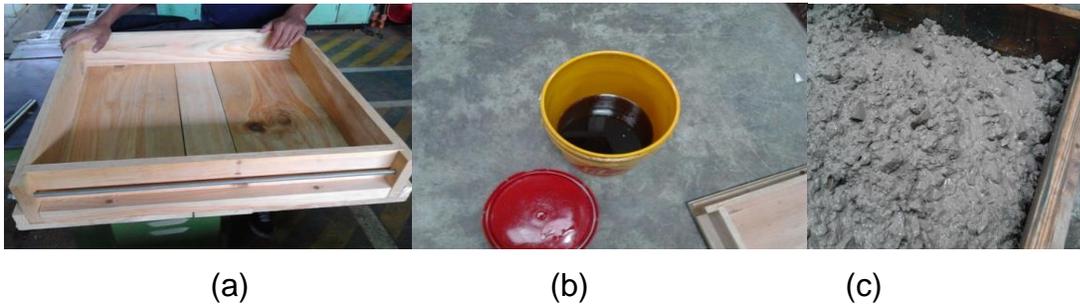
2.2. Elaboración de paneles para ensayo de concreto reforzado con fibra

Mostrando el comportamiento real de revestimiento en túneles de concreto con una exigencia de absorción de energía, dependiendo las condiciones de carga, se elaboran paneles o placas de concreto utilizando medidas de la Norma Europea EN 14488-5, las cuales indican unas dimensiones de 600 mm x 600 mm y un espesor de 10 mm.

Para lograr un comportamiento mecánico homogéneo el número de fibras esta proporcionado en kilogramos, proporciones indicadas de acuerdo a las necesidades específicas de cada proyecto (absorción de energía), el peso de los agregados gruesos y fino esta en kilogramos.

La elaboración de placas estáticamente indeterminados, es para un ensayo estructural para comprobar el rendimiento de la construcción, y no para determinar las propiedades de los materiales. Como se observa en la figura 12 (a) con moldes de madera de pino curado y medidas mencionadas, (b) se utiliza separol en toda la superficie interna del molde de madera (hecho a base de solvente) (c) el separol no afecta al concreto en sus propiedades mecánicas ni químicas.

Figura 12. **Moldes en la utilización de paneles**



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

En la elaboración del concreto para los paneles sin fibra se realizó el cálculo de ajuste por humedad, para un volumen por losa de $0,036 \text{ m}^3$ (36 a 37 litros). Para motivos de pérdida de material en el desarrollo de las losas en laboratorio se trabaja con 5 % de desperdicio y un curado de 28 días.

- Tiempo de mezclados 3 minutos
- Tiempo de reposo 3 minutos

El mismo tiempo de mezclado es para los materiales con electromalla grado 70, el mismo tiempo de curado y el porcentaje de desperdicio continúa utilizándose como se observa en la figura 13.

Figura 13. **Elaboración de paneles de concreto para ensayo a flexión con electromalla grado 70**



(a) Molde con electromalla antes de la fundición

(b) fundición de concreto con electromalla grado 70



(c) Llenado final de moldes con electromalla grado 70 y concreto

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Tabla VI. **Proporción para concreto sin fibra**

98 litros de concreto (Ajuste por Humedad)

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	30,48
Agua	11,41
Agregado ¾ plg	57,04
Agregado 3/8 plg	38,17
Arena triturada	88,12
Aditivo reductor de agua	91,43 mililitros
Temperatura concreto	19,3 °C
Temperatura ambiente	21,8 °C
Porcentaje de humedad	51
Porcentaje de aire	2,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Proporción para concreto con fibra metálica de dosis baja**

37 litros de concreto

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	11,82
Agua	4,83
Agregado ¾ plg	22,46
Agregado 3/8 plg	14,71
Arena triturada	34,77
Aditivo reductor de agua	36 mililitros
Fibra metálica Sika Fiber CHO65/35 NB	30 kg/m ³
Temperatura concreto	20 °C
Temperatura ambiente	24 °C
Porcentaje de humedad	52
Porcentaje humedad relativa	51

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Proporción para concreto con fibra metálica de dosis media**

37 litros de concreto

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	11,82
Agua	4,68
Agregado ¾ plg	22,39
Agregado grueso 3/8 plg	14,73
Arena triturada	34,97
Aditivo reductor de agua	35,45 mililitros
Fibra metálica Sika Fiber CHO65/35 NB	37,5 kg/m ³
Temperatura concreto	21 °C
Temperatura ambiente	23 °C
Porcentaje de humedad	52
Porcentaje humedad relativa	51

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Proporción para concreto con fibra metálica de dosis alta**

37 litros de concreto

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	11,82
Agua	4,90
Agregado ¾ plg	22,43
Agregado grueso 3/8 plg	14,72
Arena Triturada	34,72
Aditivo reductor de agua	35,45 mililitros
Fibra metálica Sika Fiber CHO65/35 NB	45 kg/m ³
Temperatura concreto	19,9 °C
Temperatura ambiente	24,1 °C
Porcentaje de humedad	53
Porcentaje humedad relativa	50

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Proporción para concreto con fibra macrosintética de dosis baja**

78 litros de concreto

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	24,26
Agua	13,90
Agregado ¾ plg	45,37
Agregado grueso 3/8 plg	30,14
Arena triturada	68,19
Aditivo reductor de agua	72,77 mililitros
Fibra macrosintética Sika Fiber Force PP/PE-700/55	2 kg/m ³
Temperatura concreto	22,8 °C
Temperatura ambiente	24,4 °C
Porcentaje de humedad	50
Porcentaje humedad relativa	52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Proporción para concreto con fibra macrosintética de dosis media, 78 litros de concreto (2 moldes)**

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	24,26
Agua	13,88
Agregado ¾ plg	45,37
Agregado grueso 3/8 plg	30,14
Arena triturada	68,20
Aditivo reductor de agua	72,77 mililitros
Fibra macrosintética Sika Fiber Force PP/PE-700/55	5 kg/m ³
Temperatura concreto	22,7 °C
Temperatura ambiente	24,3 °C
Porcentaje de humedad	52
Porcentaje humedad relativa	53

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Proporción para concreto con fibra macrosintética de dosis alta**

78 litros de concreto (2 moldes)

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	24,26
Agua	13,39
Agregado ¾ plg	45,50
Agregado grueso 3/8 plg	30,14
Arena triturada	68,56
Aditivo reductor de agua	72,77 mililitros
Fibra macrosintética Sika Fiber Force PP/PE-700/55	8 kg/m ³
Temperatura concreto	22,4 °C
Temperatura ambiente	24,3 °C
Porcentaje de humedad	51
Porcentaje humedad relativa	52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Proporción para concreto con electromalla grado 70**

37 litros de concreto

AGREGADO	Peso en Kilogramos
Cemento	11,82
Agua	6,78
Agregado ¾ plg	22,20
Agregado grueso 3/8 plg	14,70
Arena triturada	33,10
Aditivo reductor de agua	35,45 mililitros
Electromalla Grado 70	8,89 kg/m ³
Temperatura concreto	22,2 °C
Temperatura ambiente	24,5 °C
Porcentaje de humedad	51
Porcentaje humedad relativa	52

Fuente: elaboración propia.

2.3. Ensayo de paneles (60x60x10 cms) según la Norma Europea EN 14488-5

Las grandes ventajas del método son: las condiciones hiperestáticas de apoyo, que permiten la redistribución de esfuerzos; la forma cuadrada del panel que es ideal para realizar ensayos de concreto normal, mallas y fibras de diferente material, como se observa en la figura 14.

La curva carga-deflexión, resultante del desarrollo del estudio, debe de ser continuamente registrada. De esta curva, se obtiene por integración la curva energía-deflexión.

Desde octubre de 2003 las recomendaciones de diseño de hormigón reforzado con fibras de acero, se encuentran disponibles. Todavía no las recomendaciones similares para el hormigón reforzado con fibras macrosintéticas.

Figura 14. **Imágenes del ensayo sobre paneles cuadradas según la Norma Europea EN 14488-5**



Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

2.4. Ensayo a flexión de material sin fibra

Utilizando la Norma Europea EN 14488-5 y la proporción indicada en la tabla VI, página 27, se obtienen paneles de concreto para el ensayo a flexión.

Se coloca el panel de concreto en la base de constituida por dos planchas cuadradas de acero y dos rodillos metálicos que sostienen la base del panel a separación de 50 cm, como indica la norma.

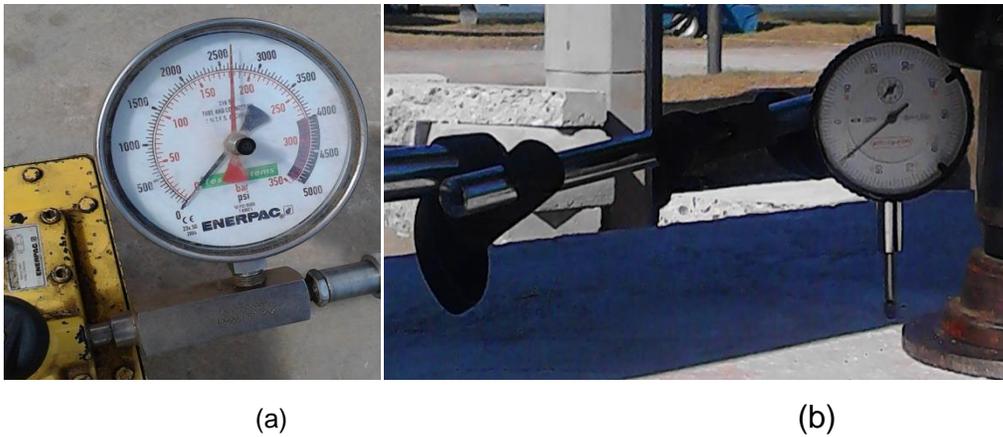
Colocando en la superficie de la loza, un disco de 95 cm² y un gato hidráulico de 10 toneladas inglesas, aplicando presión de 200 en 200 PSI, apuntando los datos obtenidos en cada carga del ensayo, indicando la deflexión en el deformómetro que será colocado cercano a la base del gato hidráulico.

Figura 15. **Aplicación de presión en ensayo de panel de concreto**



Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

Figura 16. **Aparatos utilizados en los ensayos a flexión (a) bomba hidráulica, lectura de presiones (b) deformómetro, lecturas de deflexiones**



Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

Figura 17. **Ensayo de paneles de concreto sin fibra**



Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

2.5. Ensayo a flexión de material con fibra macrosintética

Utilizando la Norma Europea EN 14488-5 y la proporción indicada en las tablas X, XI, XII página 29 y 30, se obtienen paneles de concreto para el ensayo a flexión.

Se coloca el panel de concreto en la base, constituida por dos planchas cuadradas de acero y dos rodillos metálicos, que sostienen la base del panel a separación de 50 cm, como indica la norma.

Colocando en la superficie de la loza, un disco de 95 cm², y un gato hidráulico de 25 toneladas inglesas, aplicando presiones controladas de 200 en 200 PSI, datos de apunte del ensayo (eje vertical en gráfica carga vrs deflexión), indicando la deflexión del deformómetro, (eje horizontal en gráfica carga deflexión), aparato que será colocado cercano a la base del gato hidráulico.

Observando las primeras fallas en la losa, se puede ver en las imágenes la capacidad de adherencia o agarre de la fibra macrosintética en el concreto figura 18.

Este ensayo ha sido diseñado para modelar de modo más realista, la flexión que puede ocurrir en algunas aplicaciones. Las grandes ventajas del método son: las condiciones hiperestáticas de apoyo, que permiten la redistribución de esfuerzos; la forma cuadrada del panel, que es ideal para realizar ensayos de concreto con mallas y fibras de naturaleza determinada; y la baja dispersión en los resultados.

Figura 18. **Ensayo de paneles de concreto con fibra macrosintética**



(a) Fisuras sujetas por la fibra

(b) fibras sujetando al concreto



(c) Falla de losa en ensayo con fibra macrosintética

Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

2.6. Ensayo a flexión de material con fibra metálica

Utilizando la Norma Europea EN 14488-5 y la proporción indicada en las tablas VII, VIII, IX página 28 y 29, se obtienen paneles de concreto para el ensayo a flexión.

Se coloca el panel de concreto en la base, constituida por dos planchas cuadradas de acero y dos rodillos metálicos que sostienen la base del panel a separación de 50 cm, como indica la norma.

Colocando en la superficie de la loza, un disco de 95 cm² y un gato hidráulica de 25 toneladas inglesas, aplicando presiones controladas de 200 en 200 PSI, datos de apunte del ensayo (eje vertical en gráfica carga vrs deflexión), indicando la deflexión del deformometro, (eje horizontal en gráfica carga deflexión), aparato que será colocado cercano a la base del gato hidráulico.

Observando las primeras fallas en la losa, se puede ver en las imágenes la capacidad de adherencia o agarre de la fibra metálica en el concreto observar figura 19.

Este método tiene las mismas condiciones hiperestáticas que contribuyen al ensayo de los paneles de concreto con fibra metálica, que con los realizados con los de fibra macrosintética y concreto simple.

Figura 19. **Ensayo de paneles de concreto con fibra metálica**



(a) Eje neutro al centro de losa



(b) Forma de la fibra a carga última



(c) Fisura sujeta por fibra metálica

Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

2.7. Ensayo a flexión de material con electromalla

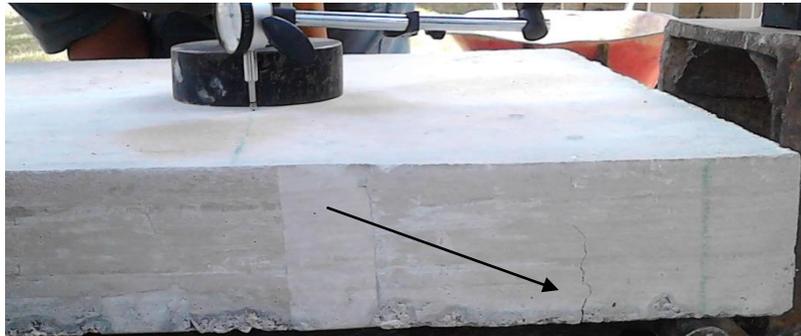
Utilizando la Norma Europea EN 14488-5 y la proporción indicada en la tabla XIII, página 31, se obtienen paneles de concreto para el ensayo a flexión con electromalla, se procede de similar forma que las losas con fibras.

Colocando los aparatos de igual trabajabilidad se procede a aplicar las presiones de 200 en 200 PSI utilizando el gato hidráulico de 25 toneladas inglesas, apuntando en libreta los datos obtenidos del deformómetro en cada flexión del panel ensayado hasta el punto de ruptura, resultado del desarrollo experimental se registraron los datos para plotear la gráfica carga-deflexión. De esta curva se obtiene por integración la curva energía-deflexión.

Las primeras fallas con este tipo de armado son mínimas por el trabajo de la electromalla que aumenta la ductilidad en el panel de concreto, quebrando el panel por completo a flexión en el punto de carga máxima, como se observa en la figura 20, (a) primera falla soportando la carga (b) falla a tensión y compresión en el eje neutro de la losa (c) falla por tensión en losa.

La electromalla grado 70 trabajando como el acero tradicional, a 2,5 centímetros de separación en los extremos de la formaleta y 3 centímetros de separación de abajo hacia arriba. Se obtendrá cuanta absorción de energía puede soportar con los datos hasta el punto final de ruptura.

Figura 20. **Ensayo de paneles de concreto y fallas con electromalla**



(a)



(b)



(c)

Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Materiales

Los tipos de materiales utilizados en los paneles de concreto utilizados en los ensayos a flexión, para el desarrollo experimental de absorción de energía, son muestras tomadas de bancos o depósitos naturales; como se indica en la página 14, los agregados finos y gruesos provienen de la misma planta de trituración (Agreca).

Las fibras tanto metálicas como macrosintéticas, son seleccionadas de acuerdo al trabajo necesario a desempeñar, tomando como referencia la hoja técnica del producto proporcionada por la fábrica o investigada de acuerdo al tipo de fibra.

3.1.1. Absorción de grava

El ensayo realizado en laboratorio de Sika de agregados para concreto; gruesos y finos es el de absorción de grava o porcentaje de humedad, el cual puede desarrollarse en campo al no contar con laboratorio cercano. El equipo, procedimiento y fotografías del trabajo se desarrollaron de la siguiente manera.

3.1.1.1. Equipo de laboratorio

El laboratorio proporcionó el equipo necesario para el ensayo de porcentaje de humedad.

- Balanza mayor de 1 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad
- Recipiente (taras metálicas)
- Estufa de gas
- Losa de concreto para homogenizar los materiales

3.1.1.2. Procedimiento

- Se toma la muestra (3/4", 3/8", arena) y se distribuye en la losa de concreto para homogenizarla.
- Se pesa 500 gramos de material y se anota el peso (punto B).
- Se seca en la estufa hasta obtener un peso constante, haciendo las pesadas en frío (punto A).
- Se pasa el material seco y se anota su valor.

(Ver figura 21 procedimientos de absorción de agregados en página 43)

3.1.1.3. Cálculo

Utilizando la ecuación de porcentaje de absorción.

$$\text{porcentaje de absorción} = \frac{(B-A)}{A} \times 100$$

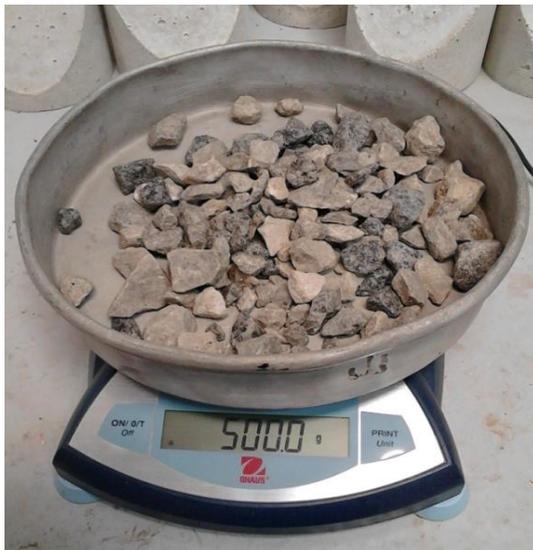
B = peso muestra saturada

A = peso muestra seca (peso constante)

Figura 21. **Procedimiento de absorción de grava**



(a) Homogenizando el material



(b) peso de 500 g de material



(c) Secado de materiales en estufa

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Los pesos en seco obtenidos y anotados para los agregados gruesos y agregado fino para la muestra de 500 gramos son:

Tabla XIV. **Pesos en seco de los agregados gruesos y finos**

AGREDOS	PESO EN SECO GRAMOS
3/4"	489,8
3/8"	489,8
Arena	464,0

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de humedad para los agregados gruesos son los siguientes:

$$\text{porcentaje de absorción (3/4")} = \frac{(500-489,8)}{489,8} \times 100 = 2,08$$

$$\text{porcentaje de absorción (3/8")} = \frac{(500-489,8)}{489,8} \times 100 = 2,08$$

El porcentaje de humedad para el agredo fino es:

$$\text{porcentaje de absorción (arena)} = \frac{(500-464,0)}{464,0} \times 100 = 7,76$$

Los porcentajes de humedad para los agregados gruesos son 2,08 % y para el agregado fino es 7,76 %.

3.1.2. Mezclado de materiales

Se pesa la cantidad necesaria de cada agregados dependiendo de la dosificación y tipo de fibra a trabajar (dosificación, tipo de fibra y tiempos de mezclados)(ver página 26), se mezclan todos los materiales en la máquina revolvente, dándole el tiempo necesario a cada agregado e intervalos de descanso, se pesa la cantidad de fibra a mezclar con la cantidad de aditivo a utilizar.

La prueba técnica para medir la consistencia del concreto es una prueba relativamente de bajo costo por el poco trabajo a desempeñar, esto constituye un medio adecuado para controlar la uniformidad de las mezclas.

Por la utilización de diferentes dosificaciones de fibras metálicas, macrosintéticas y electromalla, con el trabajo a desempeñar la estructura en la vida real, el asentamiento apropiado será para secciones muy reforzadas y donde la colocación del concreto sea difícil, el asentamiento adecuado será de 100 a 150 mm. (4" – 6").

El equipo utilizado en el ensayo es el de medidas tradicionales, un molde tronco cónico de 203 mm \pm 3 mm de diámetro en la base mayor, y 102 mm \pm 3 mm en la base menor y 305 mm \pm 3 mm de alto. Una varilla compactadora o apisonadora de acero, cilíndrica y lisa de 16 mm de diámetro, una longitud aproximada de 600 mm y la punta redondeada.

El asentamiento obtenido en la mezcla es de 4 ½", valor que está dentro del rango de la consistencia del concreto. El concreto ya mezclado se vierte en carretas para tomarle su temperatura y anotar el porcentaje de humedad y la temperatura ambiente el cual se trabaja.

Figura 22. **Peso de materiales**



(a) peso de agregados gruesos



(b) peso de agregado fino



(c) peso de fibra metálica



(d) peso de fibra macrosintética

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Figura 23. **Mezclado de materiales**



(a) mezclado de fibras con los agregados

(b) temperatura del concreto



(c) prueba de consistencia del concreto

(d) asentamiento del concreto

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

3.2. Definición

El concreto u hormigón mezclado con diferentes clases de fibras o armado de acero se trabaja de forma tradicional o lanzado es para secciones muy reforzadas, en las diferentes mezclas con fibras, las proporciones de estos componentes están controlados por varios requisitos.

- La masa del concreto fresco más el agregado de fibra tanto metálica como macrosintética debe ser trabajable.
- El concreto endurecido debe poseer la resistencia y durabilidad deseada.
- El costo del producto resultante debe ser el mínimo adquiriendo la calidad deseada.

Las fibras ocupan un porcentaje mínimo de espacio en el concreto reduciendo los poros de aire en la masa, la pasta agua-cemento es el componente que sirve como pegamento y es el encargado de llenar los vacíos entre partículas de agregados gruesos y finos como dar resistencia al concreto endurecido. El espacio mayor será ocupado por los agregados gruesos $\frac{3}{4}$ del volumen del concreto.

Una prueba empírica necesaria para medir la consistencia del concreto y controlar la uniformidad de las mezclas, para obtener los asentamientos correctos en la prueba del concreto.

3.3. Fotografías y dibujos de fibras en las estructuras

Con las fallas a deflexión en las estructuras se observa el trabajo a tensión de las fibras en el punto máximo de su elongación final, obteniendo las formas finales sin llegar a la ruptura del mismo.

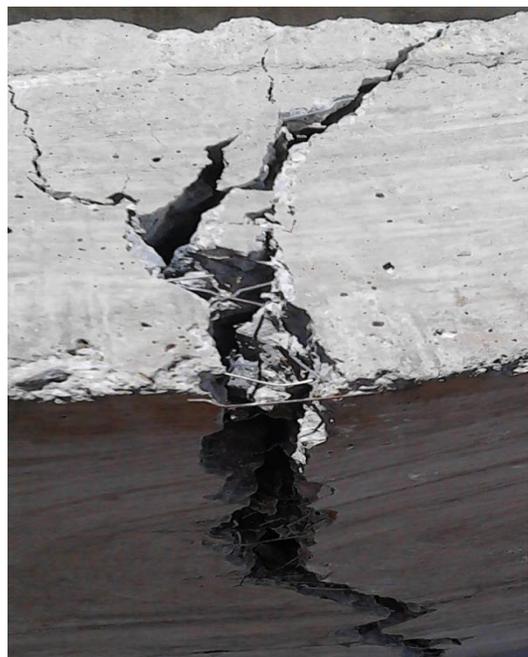
3.3.1. Formas últimas de las fibras metálicas obtenidas en fallas a flexión con diferentes dosificaciones de fibra

Las siguientes fotografías muestran las formas finales de las fibras metálicas adheridas al concreto, resultado del ensayo de deflexión aplicado al panel.

Figura 24. Formas últimas de la fibra metálica



(a)



(b)

Continuación de la figura 24.



(c)



(d)

- (a) Resultado de la elongación de la fibra después de la última carga.
- (b) Partes de la fibra salidas sujetas al concreto sin romperse al momento de la fractura del concreto.
- (c) Dibujos de formas últimas obtenidas de las fibras metálicas.
- (d) Vista de perfil de la losa al momento de la fractura completa resaltando las formas de las fibras.

Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

3.3.2. Formas últimas de las fibras macrosintéticas obtenidas en fallas a flexión con diferentes dosificaciones de fibra

Las siguientes fotografías mostrarán el trabajo de la fibra macrosintética, en la falla completa del panel.

Figura 25. Formas últimas de la fibra macrosintéticas



(a)

(b)



(c)

Continuación de la figura 25.



(d)

(e)



(f)

Continuación de la figura 25

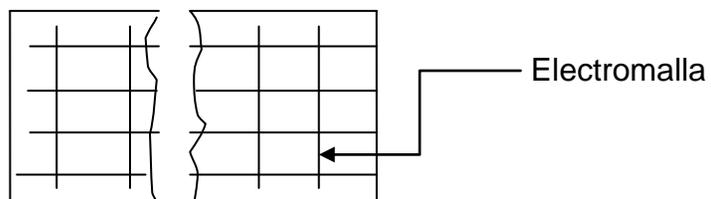
- (a) Las fibras macrosintéticas sujetan el bloque al final de las cargas aplicadas sin llegar a la explosión del concreto o separación de los pedazos.
- (b) Vista superficial de las fibras completamente estiradas sujetando al concreto en el punto de la falla.
- (c) La falla completa del panel de concreto empieza del centro del panel a la medida exacta de la fibra.
- (d) Se observa los puntos de las fibras cortadas en panel y las partes de las fibras completamente lisas salidas del panel.
- (e) Esfuerzo último de la fibra sujetando la fisura de la falla resultante.
- (f) Forma final de las fibras macrosintéticas completamente estiradas incluyendo una con ruptura en el momento de la falla.

Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

3.3.3. Resultado final de la electromalla en falla a flexión

Por la ductilidad del acero adherido al concreto, la falla desarrollada en el panel a causa de la compresión fue de corte, donde el acero trabajó con muy poca elasticidad quebrando el acero sin dificultad (ver figura 26).

Figura 26. Fractura final de electromalla



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Resultado final del panel de concreto con electromalla



(a)

(b)



(c)

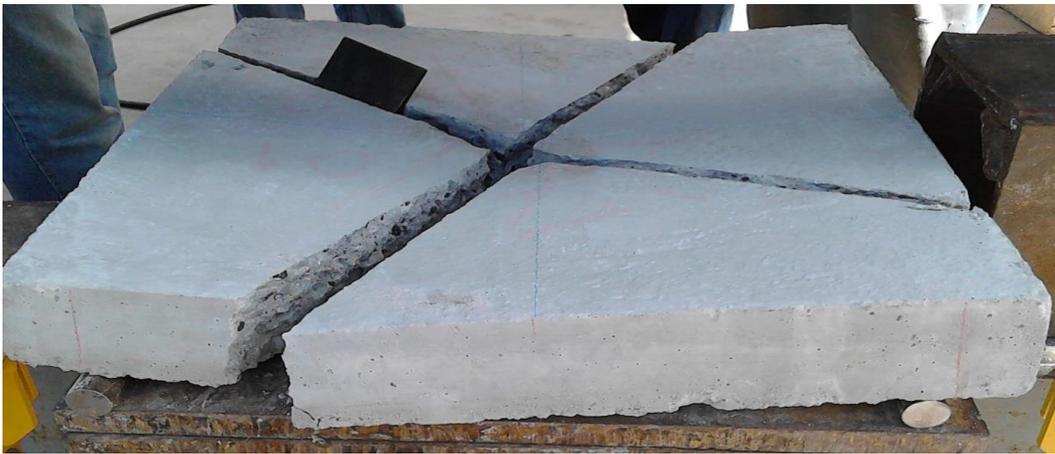
- (a) Fractura completa del panel con electromalla en la carga última aplicada a flexión.
- (b) Vista final del corte de la electromalla en el panel ensayado.
- (c) Vista de perfil del panel con los cortes de la electromalla.

Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

3.3.4. Falla última del panel de concreto normal

En las fotografías siguientes, se observa la falla del concreto y su distribución correcta de agregados.

Figura 28. Falla de concreto sin refuerzo



(a) Falla última del panel de concreto normal en cuatro partes



(b) Falla última del panel de concreto normal en tres partes

Continuación de la figura 28.



(c) Muestra de distribución correcta de agregados gruesos y finos



(d) Vista de la distribución de los dos diferentes agregados gruesos

Fuente: Sección de Estructuras, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, Guatemala.

3.4. Tablas de datos obtenidos en los ensayos

Número de resultado en los paneles, aplicando presiones en PSI.

Tabla XV. 5 paneles de concreto sin refuerzo

Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	PANEL 2 Deflexión milímetro	PANEL 3 Deflexión milímetro	PANEL 4 Deflexión milímetro	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,152	0,051	0,051	0,051	0,00
2	400	0,203	0,178	0,152	0,102	0,00
3	600	0,254	0,330	0,254	0,152	0,00
4	800	0,280	0,457	0,356	0,229	0,00
5	1 000	0,330	0,559	0,457	0,279	0,00
6	1 200	0,356	0,610	0,559	0,330	0,00
7	1 400	0,381	0,686	0,635	0,356	0,00
8	1 600	0,406	0,762	0,737	0,406	0,00
9	1 800	0,432	0,787	0,787	0,432	0,00
10	2 000	0,457	0,838	0,889	0,483	0,00
11	2 200	0,457	0,914	0,914	0,508	0,00
12	2 400	0,483	0,914	0,965	0,533	0,00
13	2 600	0,508	0,965	1,020	0,559	0,025
14	2 800	0,508	0,991	1,070	0,559	0,051
15	3 000	0,533	1,016	1,120	0,635	0,076
16	3 200	0,533	1,067	1,140	0,660	0,102
17	3 400	0,559		1,780	0,686	0,127
18	3 600	0,584		1,830	0,711	0,152
19	3 800	0,584			0,738	0,203
20	4 000	0,610			0,762	0,203
21	4 200	0,635			0,787	0,229
22	4 400	0,660				0,254
23	4 600					0,279

Fuente: elaboración propia.

Se promediarán los cinco paneles para verificar el error que proporciona el panel número cinco, se recomienda anularlo por las malas lecturas de deflexión a causa de la mala elaboración y echado del mezclado, descanso entre lechada causó junta fría, no importando tener las mismas dosificaciones y proporciones.

Tabla XVI. 5 paneles de concreto con electromalla grado 70

Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 2 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 3 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 4 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,127	200	0,178	200	0,127	200	0,075	200	0,127
2	400	0,305	400	0,381	400	0,280	400	0,330	400	0,330
3	600	0,457	600	0,610	600	0,432	600	0,560	600	0,483
4	800	0,584	800	0,762	800	0,584	800	0,762	800	0,635
5	1 000	0,744	1 000	0,965	1 000	0,711	1 000	0,940	1 000	0,762
6	1 200	0,864	1 200	1,140	1 200	0,840	1 200	1,092	1 200	0,940
7	1 400	0,914	1 400	1,470	1 400	0,965	1 400	1,220	1 400	1,070
8	1 450	1,244	700	5,00	1 500	1,350	1 600	1,321	1 600	1,220
9	900	5,00			950	5,00	1 700	1,803	1 800	1,320
10							1 100	5,00	1 200	5,00

Fuente: elaboración propia.

La deflexión a los 5 milímetros se lee cuando el concreto y la electromalla han colapsado, estando en algunos casos el panel sujeto por la electromalla y actuando como punto de fatiga, tomando como referencia los 5 milímetros.

Tabla XVII. 5 paneles de concreto con fibra macrosintética, dosis baja

Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 2 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 3 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 4 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,230	200	0,356	200	0,102	200	0,280	200	0,584
2	400	0,560	400	0,533	400	0,254	400	0,533	400	0,584
3	600	0,840	600	0,711	600	0,406	600	0,762	600	0,660
4	800	1,020	800	0,864	800	0,560	800	0,991	800	0,889
5	1 000	1,220	1 000	0,991	1 000	0,686	1 000	1,143	1 000	1,067
6	1 200	1,300	1 200	1,118	1 200	0,813	1 200	1,346	1 200	1,245
7	1 400	1,372	1 400	1,321	1 400	0,940	1 400	1,499	1 400	1,397
8	1 600	1,422	1 600	2,870	1 600	1,070	1 600	1,651	1 600	1,500
9	1 650	2,440	920	5,00	1 800	1,200	1 650	2,110	1 650	2,845
10	950	5,00	480	10,00	930	5,00	910	5,00	950	5,00
11	650	10,00	250	20,00	580	10,00	600	10,00	520	10,00
12	350	20,00	190	30,00	310	20,00	350	20,00	300	20,00
13	240	30,00			210	30,00	240	30,00	210	30,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. 5 paneles de concreto con fibra macrosintética, dosis media

Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 2 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 3 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 4 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,152	200	0,152	200	0,178	200	0,230	200	0,152
2	400	0,330	400	0,356	400	0,356	400	0,432	400	0,406
3	600	0,460	600	0,584	600	0,584	600	0,660	600	0,635
4	800	0,584	800	0,787	800	0,762	800	0,864	800	0,838
5	1 000	0,740	1 000	0,991	1 000	0,940	1 000	1,067	1 000	0,991
6	1 200	0,838	1 200	1,245	1 200	1,067	1 200	1,220	1 200	1,168
7	1 400	0,991	1 300	2,00	1 300	2,140	1 400	1,397	1 400	1,346
8	1 600	1,143	900	5,00	950	5,00	1 600	1,575	1 600	1,450
9	1 650	2,108	500	10,00	630	10,00	1 800	2,130	1 800	2,00
10	1 100	5,00	280	20,00	350	20,00	1 230	5,00	1 150	5,00
11	650	10,00	220	30,00	240	30,00	670	10,00	650	10,00
12	350	20,00					380	20,00	360	20,00
13	240	30,00					260	30,00	260	30,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. 5 paneles de concreto con fibra macrosintética, dosis alta

Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 2 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 3 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 4 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,00	200	0,305	200	0,025	200	0,203	200	0,254
2	400	0,330	400	0,508	400	0,280	400	0,381	400	0,560
3	600	0,483	600	0,686	600	0,560	600	0,560	600	0,686
4	800	0,610	800	0,889	800	0,840	800	0,686	800	0,864
5	1 000	0,711	1 000	0,965	1 000	1,016	1 000	0,762	1 000	0,965
6	1 200	0,790	1 200	1,070	1 200	1,168	1 200	0,864	1 200	1,067
7	1 400	0,910	1 400	1,143	1 400	1,300	1 400	0,914	1 400	1,880
8	1 600	0,940	1 600	2,134	1 600	2,110	1 600	0,965	960	5,00
9	1 800	1,701	920	5,00	1 020	5,00	1 700	1,680	560	10,00
10	1 200	5,00	500	10,00	550	10,00	1 100	5,00	290	20,00
11	780	10,00	290	20,00	350	20,00	720	10,00	210	30,00
12	420	20,00	210	30,00	250	30,00	400	20,00		
13	290	30,00					290	30,00		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. 5 paneles de concreto con fibra metálica, dosis baja

Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 2 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 3 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 4 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,254	200	0,229	200	0,229	200	0,279	200	0,229
2	400	0,432	400	0,356	400	0,381	400	0,406	400	0,356
3	600	0,559	600	0,455	600	0,457	600	0,508	600	0,457
4	800	0,635	800	0,508	800	0,508	800	0,559	800	0,508
5	1 000	0,711	1 000	0,533	1 000	0,559	1 000	0,610	1 000	0,533
6	1 200	0,762	1 200	0,559	1 200	0,584	1 200	0,635	1 200	0,559
7	1 400	0,813	1 400	0,584	1 400	0,610	1 400	0,660	1 400	0,610
8	1 600	0,840	1 600	0,584	1 600	0,610	1 600	0,686	1 600	0,635
9	1 800	0,890	1 800	0,610	1 800	0,635	1 800	0,711	1 800	0,635
10	1 900	0,910	1 642	5,00	2 000	0,660	2 000	0,762	1 900	0,686
11	700	5,00	600	10,00	2 200	0,685	2 200	0,864	700	5,00
12	425	10,00	350	20,00	800	5,00	800	5,00	400	10,00
13	250	20,00	245	30,00	450	10,00	440	10,00	250	20,00
14	175	30,00			250	20,00	250	20,00	150	30,00
15					170	30,00	170	30,00		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. 5 paneles de concreto con fibra metálica, dosis media

Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 2 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 3 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 4 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,152	200	0,152	200	0,330	200	0,127	200	0,076
2	400	0,356	400	0,356	400	0,560	400	0,254	400	0,203
3	600	0,432	600	0,432	600	0,813	600	0,432	600	0,305
4	800	0,560	800	0,508	800	0,965	800	0,483	800	0,406
5	1 000	0,635	1 000	0,560	1 000	1,120	1 000	0,559	1 000	0,508
6	1 200	0,711	1 200	0,610	1 200	1,250	1 200	0,610	1 200	0,584
7	1 400	0,787	1 400	0,660	1 400	1,450	1 400	0,660	1 400	0,660
8	1 600	0,864	1 600	0,686	1 600	2,060	1 600	0,711	1 600	0,762
9	1 800	0,914	1 800	0,740	1 800	2,340	1 800	0,762	1 800	0,813
10	1 950	1,960	2 000	1,300	2 000	3,120	2 000	0,787	2 000	0,914
11	850	5,00	875	5,00	2 100	3,760	2 200	0,864	2 150	1,850
12	490	10,00	490	10,00	1 600	5,00	2 250	1,240	1 100	5,00
13	285	20,00	285	20,00	900	10,00	1 400	5,00	750	10,00
14	200	30,00	200	30,00	500	20,00	800	10,00	470	20,00
15					350	30,00	480	20,00	360	30,00
16							350	30,00		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **5 paneles de concreto con fibra metálica, dosis alta**

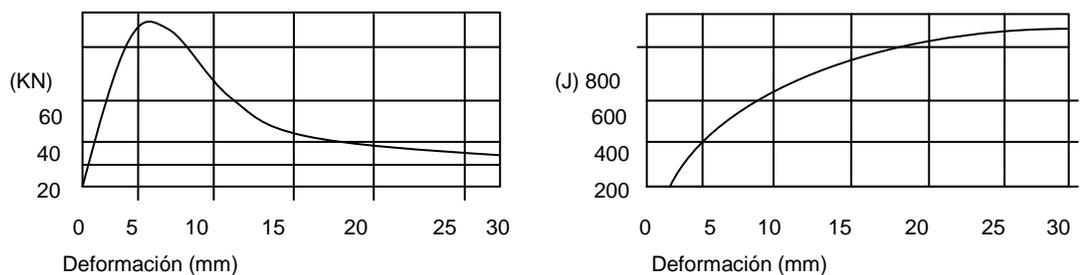
Núm. de presión aplicada	Presión PSI	PANEL 1 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 2 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 3 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 4 Deflexión milímetro	Presión PSI	PANEL 5 Deflexión milímetro
1	200	0,178	200	0,330	200	0,381	200	0,102	200	0,127
2	400	0,381	400	0,584	400	0,838	400	0,280	400	0,381
3	600	0,533	600	0,740	600	1,168	600	0,458	600	0,584
4	800	0,660	800	0,914	800	1,372	800	0,610	800	0,787
5	1 000	0,838	1 000	1,067	1 000	1,651	1 000	0,762	1 000	0,991
6	1 200	0,965	1 200	1,220	1 200	1,778	1 200	0,914	1 200	1,200
7	1 400	1,170	1 400	1,397	1 400	1,880	1 400	0,991	1 400	1,524
8	1 600	1,270	1 600	1,550	1 600	1,981	1 600	1,041	1 600	1,830
9	1 800	1,422	1 800	1,630	1 800	2,510	1 800	1,400	1 800	2,642
10	2 000	2,340	2 000	1,730	1 050	5,00	1 050	5,00	1 050	5,00
11	1 300	5,00	2 150	2,41	570	10,00	570	10,00	600	10,00
12	790	10,00	1 480	5,00	290	20,00	290	20,00	340	20,00
13	450	20,00	900	10,00	200	30,00	200	30,00	250	30,00
14	320	30,00	550	20,00						
15			400	30,00						

Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Gráficas de ensayo

A partir de las lecturas obtenidas en los ensayos se realizarán las conversiones de las presiones a unidades de las gráficas para determinar las curvas de la figura 29, según el método EN 14488-5.

Figura 29. **Gráficas carga-desplazamiento y energía-desplazamiento**



Fuente: elaboración propia.

3.5. Gráficas de ensayos por cada fibra

Se realizan los primeros cálculos de las cargas en kilogramos fuerza (Kg_f) y la de la carga en kilo Newton (KN), luego se resumirán ya que es una misma secuencia de cálculo.

3.5.1. Gráficas del panel 1, concreto sin refuerzo

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (10 toneladas inglesas) = dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 2,24 \text{ Plg}^2 = \frac{448 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 204 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 2,24 \text{ Plg}^2 = \frac{896 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 407 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 2,24 \text{ Plg}^2 = \frac{1\,344 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 611 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$204 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 2\,040 \text{ N} \rightarrow 2 \text{ KN}$$

$$407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\,070 \text{ N} \rightarrow 4 \text{ KN}$$

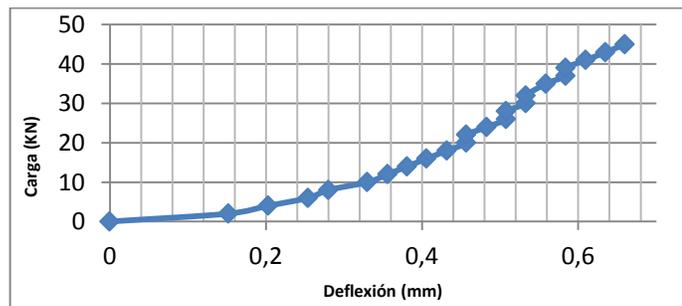
$$611 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 6\,110 \text{ N} \rightarrow 6 \text{ KN}$$

Tabla XXIII. **Datos calculados en ensayos panel 1, concreto**

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	204	0,0152	0,152	2	3
3	400	407	0,0203	0,203	4	8
4	600	611	0,0254	0,254	6	16
5	800	815	0,028	0,28	8	23
6	1 000	1 018	0,033	0,33	10	34
7	1 200	1 222	0,0356	0,356	12	44
8	1 400	1 425	0,0381	0,381	14	54
9	1 600	1 629	0,0406	0,406	16	66
10	1 800	1 833	0,0432	0,432	18	79
11	2 000	2 036	0,0457	0,457	20	93
12	2 200	2 240	0,0457	0,457	22	102
13	2 400	2 444	0,0483	0,483	24	118
14	2 600	2 647	0,0508	0,508	26	134
15	2 800	2 851	0,0508	0,508	28	145
16	3 000	3 055	0,0533	0,533	30	163
17	3 200	3 258	0,0533	0,533	32	174
18	3 400	3 462	0,0559	0,559	35	194
19	3 600	3 665	0,0584	0,584	37	214
20	3 800	3 869	0,0584	0,584	39	226
21	4 000	4 073	0,061	0,61	41	248
22	4 200	4 276	0,0635	0,635	43	272
23	4 400	4 480	0,066	0,66	45	296

Fuente: elaboración propia

Figura 30. **Gráfica carga-deflexión panel 1, concreto sin refuerzo**



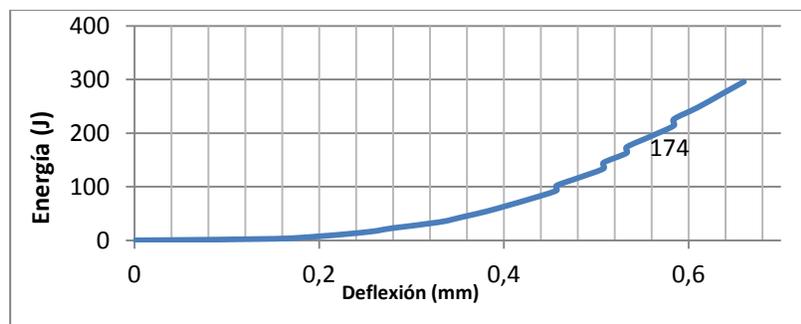
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$204 \text{ Kg}_f * 0,0152 \text{ Cm} = 3 \text{ J}$$

$$407 \text{ Kg}_f * 0,0203 \text{ Cm} = 8 \text{ J}$$

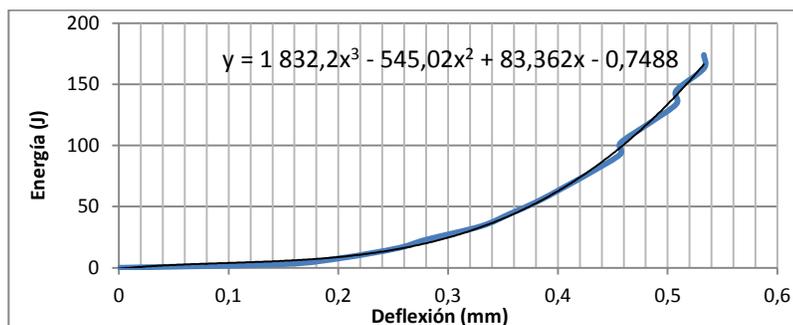
Figura 31. **Gráfica energía–deflexión panel 1, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,533 – 174), tomando en cuenta que el concreto trabaja de 8 a 12 % a tensión.

Figura 32. **Área a compresión panel 1, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación de integración definida para ecuaciones continuas en un intervalo cerrado.

$$\int_a^b f(x) dx$$

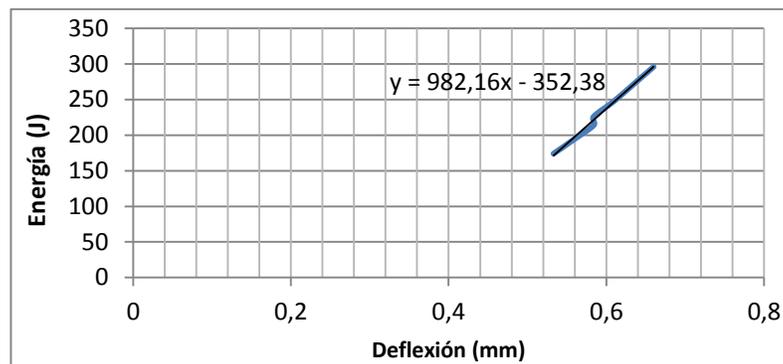
$$f(x) = 1\,832,2x^3 - 545,02x^2 + 83,362x - 0,7488$$

$$\int_0^{0,533} (1\,832,2x^3 - 545,02x^2 + 83,362x - 0,7488) dx$$

1 832,2	458,05	0,081	36,965
-545,02	-181,673	0,152	-27,505
83,362	41,681	0,284	11,842
-0,7488	-0,749	0,533	<u>-0,399</u>
			Σ 20,902 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 21 J.

Figura 33. **Área a tensión panel 1, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = 982,16x - 352,38$$

$$\int_{0,533}^{0,66} (982,16x - 352,38) dx$$

982,16	491,08	0,436	213,92	982,16	491,08	0,28	139,52
-352,38	-352,38	0,66	<u>-232,57</u>	-352,38	-352,38	0,533	<u>-187,82</u>
			Σ -18,66 J				Σ -48,30 J

$$\text{Promedio} = -18,66 - (-48,30) = 29,64 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 29,64 J

$$\text{Área a compresión} + \text{área a tensión} = 50,55 \text{ J}$$

$$\text{Promedio áreas} = 50,55 \text{ J} / 2 = 25,27 \text{ J} / 10 = 2,53 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{Área}_{\text{Comp.}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 10 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 2975 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 2975 \text{ Kg}_f * 0,0533 \text{ cm} = 159 \text{ J}$$

Refuerzo a tensión del concreto. Cemento CFB

$$5 \text{ 000 PSI} \frac{1 \text{ plg}^2}{2,54 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ Lb}} = 352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se utiliza un trabajo del 10 % de tensión del concreto.

$$352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 10 \% = 35,23 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$35,23 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} * 5 \text{ cm} * 1 \text{ cm}^2 = 176 \text{ J}$$

3.5.2. Gráficas del panel 2, concreto sin refuerzo

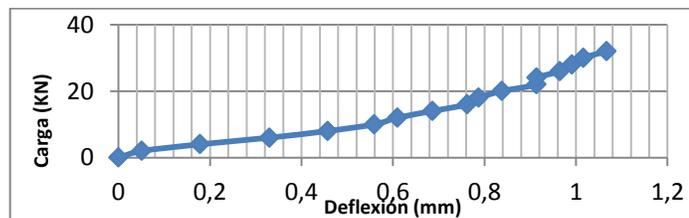
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla XXIV. **Datos calculados en ensayos panel 2, concreto sin refuerzo**

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	204	0,0051	0,051	2	1
3	400	407	0,0178	0,178	4	7
4	600	611	0,033	0,33	6	20
5	800	815	0,0457	0,457	8	37
6	1 000	1 018	0,0559	0,559	10	57
7	1 200	1 222	0,061	0,61	12	75
8	1 400	1 425	0,0686	0,686	14	98
9	1 600	1 629	0,0762	0,762	16	124
10	1 800	1 833	0,0787	0,787	18	144
11	2 000	2 036	0,0838	0,838	20	171
12	2 200	2 240	0,0914	0,914	22	205
13	2 400	2 444	0,0914	0,914	24	223
14	2 600	2 647	0,0965	0,965	26	255
15	2 800	2 851	0,0991	0,991	28	283
16	3 000	3 055	0,1016	1,016	30	310
17	3 200	3 258	0,1067	1,067	32	348

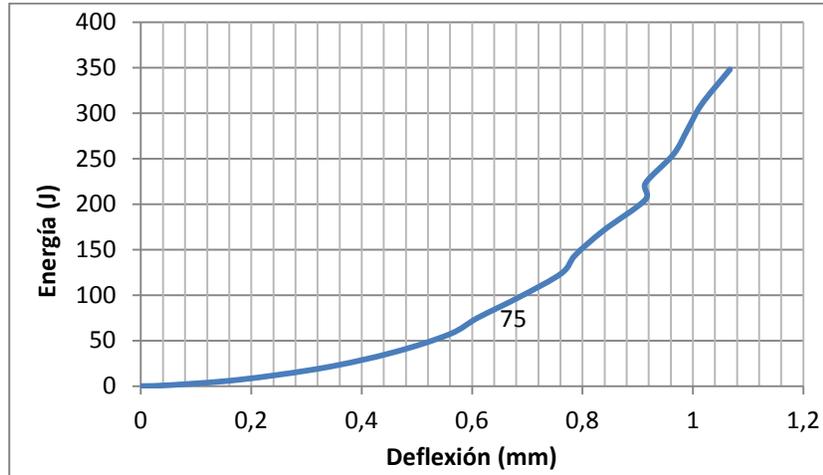
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Gráfica carga–deflexión panel 2, concreto sin refuerzo**



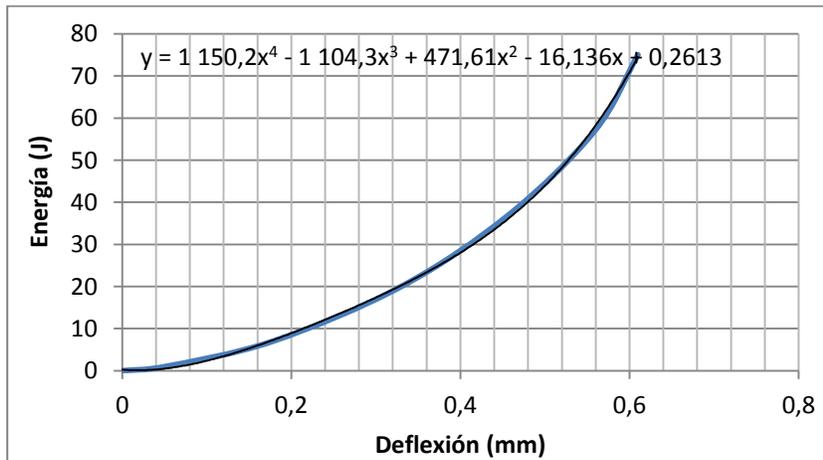
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Gráfica energía–deflexión panel 2, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Área a compresión panel 2, concreto sin refuerzo**



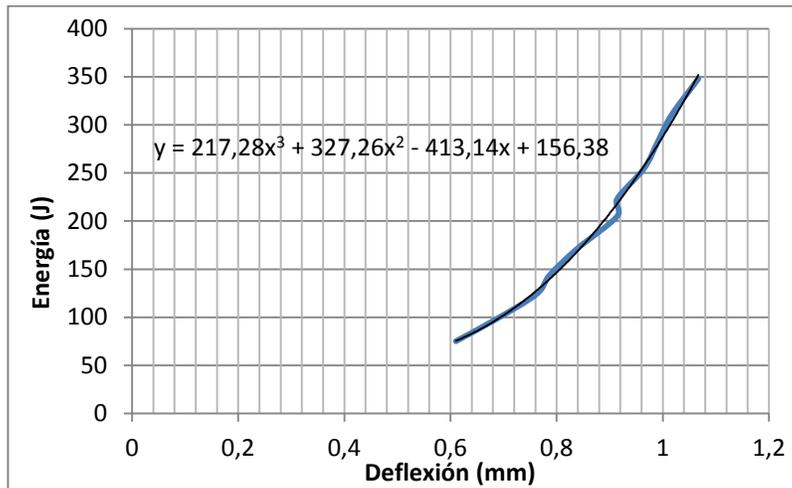
Fuente: elaboración propia.

$$\int_0^{0,61} (1\,150,2x^4 - 1\,104,3x^3 + 471,61x^2 - 16,136x + 0,2613)dx$$

1 150,2	230,04	0,085	19,429
-1 104,3	-276	0,139	-38,226
471,61	157,203	0,227	35,685
-16,136	-8,068	0,372	-3,002
0,2613	0,262	0,61	<u>0,160</u>
			Σ 14,05 J

El área a compresión tiene una absorción de energía de 14,05 J.

Figura 37. **Área a tensión panel 2, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{0,61}^{1,067} (217,28x^3 + 327,26x^2 - 413,14x + 156,38)dx$$

217,28	54,32	1,30	70,41	217,28	54,32	0,14	7,52
327,26	109,09	1,22	132,52	327,26	109,09	0,23	24,76
-413,14	-206,57	1,14	-235,18	-413,14	-206,57	0,37	-76,87
156,38	156,38	1,07	<u>166,86</u>	156,38	156,38	0,61	<u>95,40</u>
			Σ 134,60 J				Σ 50,81J

$$\text{Promedio} = 134,60 - 50,81 = 83,80 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 83,80 J

Área a compresión + área a tensión = 97,85 J

Promedio de áreas = $97,85 \text{ J}/2 = 49 \text{ J}/10 = 5 \text{ J}$

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 10 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 2975 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 2975 \text{ Kg}_f * 0,0610 \text{ cm} = 181 \text{ J}$$

Refuerzo a tensión del concreto. Cemento CFB

$$5\ 000 \text{ PSI} \frac{1 \text{ plg}^2}{2,54 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ Lb}} = 352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se utiliza un trabajo del 10 % de tensión del concreto.

$$352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 10 \% = 35,23 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$35,23 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} * 5 \text{ cm} * 1 \text{ cm}^2 = 176 \text{ J}$$

3.5.3. Gráficas del panel 3, concreto sin refuerzo

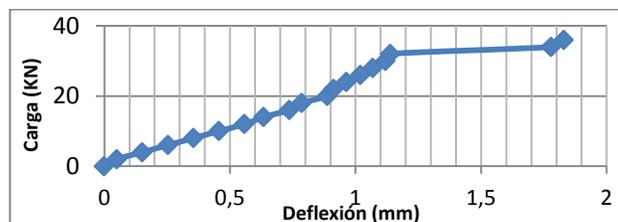
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XXV. Datos calculados en ensayos panel 3, concreto sin refuerzo

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	204	0,0051	0,051	2	1
3	400	407	0,0152	0,152	4	6
4	600	611	0,0254	0,254	6	16
5	800	815	0,0356	0,356	8	29
6	1 000	1 018	0,0457	0,457	10	47
7	1 200	1 222	0,0559	0,559	12	68
8	1 400	1 425	0,0635	0,635	14	90
9	1 600	1 629	0,0737	0,737	16	120
10	1 800	1 833	0,0787	0,787	18	144
11	2 000	2 036	0,0889	0,889	20	181
12	2 200	2 240	0,0914	0,914	22	205
13	2 400	2 444	0,0965	0,965	24	236
14	2 600	2 647	0,102	1,02	26	270
15	2 800	2 851	0,107	1,07	28	305
16	3 000	3 055	0,112	1,12	30	342
17	3 200	3 258	0,114	1,14	32	371
18	3 400	3 462	0,178	1,78	34	616
19	3 600	3 665	0,183	1,83	36	671

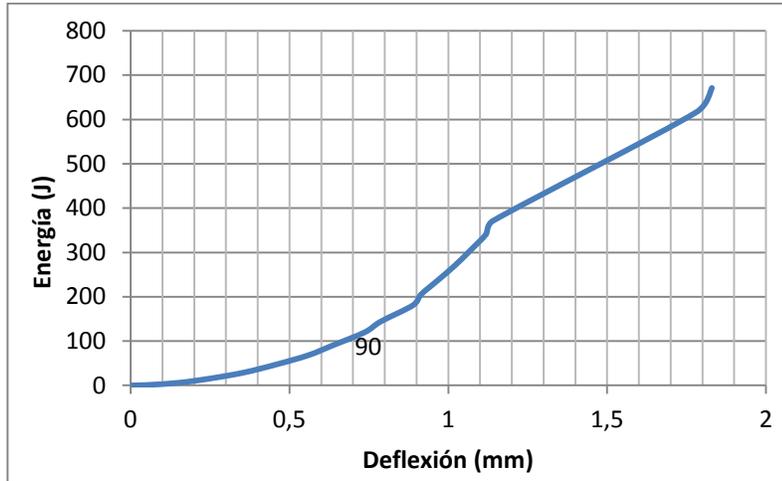
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Gráfica carga-deflexión panel 3, concreto sin refuerzo



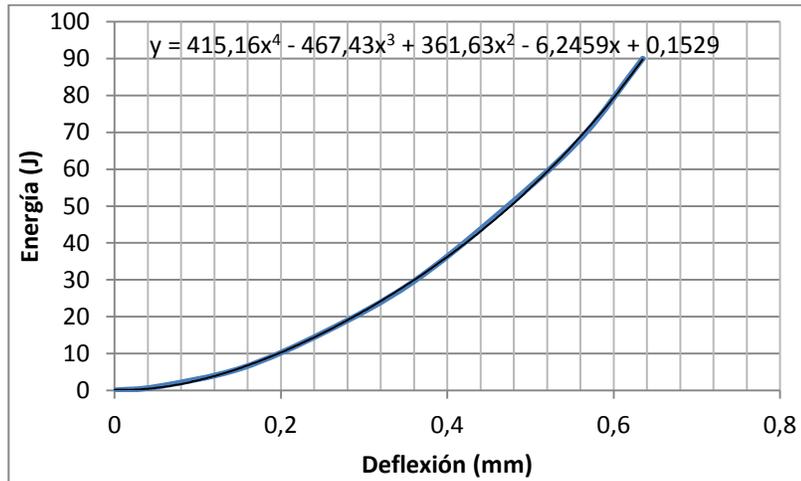
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Gráfica energía–deflexión panel 3, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Área a compresión panel 3, concreto sin refuerzo**



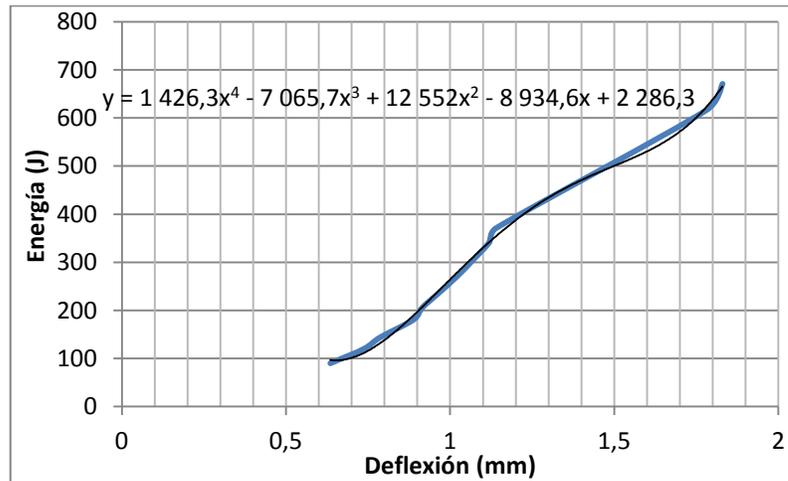
Fuente: elaboración propia.

$$\int_0^{0,635} (415,16x^4 - 467,43x^3 + 361,63x^2 - 6,2459x + 0,1529)dx$$

415,16	83,032	0,103	8,569
-467,43	-116,858	0,163	-19,001
361,63	120,544	0,256	30,859
-6,2459	-3,123	0,403	-1,260
0,1529	0,153	0,635	<u>0,097</u>
			Σ 19,265 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 19,265 J.

Figura 41. Área a tensión panel 3, concreto sin refuerzo



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{0,635}^{1,83} (1\,426,3x^4 - 7\,065,7x^3 + 12\,552x^2 - 8\,934,6x + 2\,286,3) dx$$

1 426,3	285,3	20,52	5 854,59	1 426,3	285,3	0,103	29,44
-7 065,7	-1 766,4	11,26	-19 810,63	-7 065,7	-1 766,4	0,166	-287,22
12 552	4 184	6,13	25 641,64	12 552	4 184	0,256	1 071,10
-8 934,6	-4 467,3	3,35	-14 960,54	-8 934,6	-4 467,3	0,403	-1 801,26
2 286,3	2 286,3	1,83	<u>4 183,93</u>	2 286,3	2 286,3	0,635	<u>1 451,80</u>
			Σ 908,99 J				Σ 463,91 J

Promedio = 908,990 – 463,91 = 445 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 445 J

Área a compresión + área a tensión = 464 J

Promedio de áreas = $464/2 = 232/10 = 23$ J

Calculando la absorción de energía del panel 3.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 10 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 2\,975 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 2\,975 \text{ Kg}_f * 0,0635 \text{ cm} = 189 \text{ J}$$

Refuerzo a tensión del concreto. Cemento CFB

$$5\,000 \text{ PSI} \frac{1 \text{ plg}^2}{2,54 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ Lb}} = 352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se utiliza un trabajo del 10 % de tensión del concreto.

$$352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 10 \% = 35,23 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$35,23 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} * 5 \text{ cm} * 1 \text{ cm}^2 = 176 \text{ J}$$

3.5.4. Gráficas del panel 4, concreto sin refuerzo

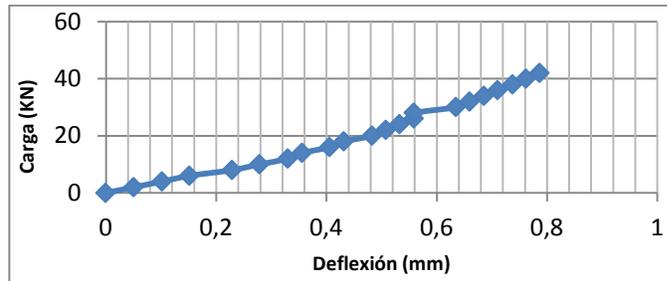
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XXVI. Datos calculados en ensayos panel 4, concreto sin refuerzo

Núm. de presión	Carga PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	204	0,0051	0,051	2	1
3	400	407	0,0102	0,102	4	4
4	600	611	0,0152	0,152	6	9
5	800	815	0,0229	0,229	8	19
6	1 000	1 018	0,0279	0,279	10	28
7	1 200	1 222	0,033	0,33	12	40
8	1 400	1 425	0,0356	0,356	14	51
9	1 600	1 629	0,0406	0,406	16	66
10	1 800	1 833	0,0432	0,432	18	79
11	2 000	2 036	0,0483	0,483	20	98
12	2 200	2 240	0,0508	0,508	22	114
13	2 400	2 444	0,0533	0,533	24	130
14	2 600	2 647	0,0559	0,559	26	148
15	2 800	2 851	0,0559	0,559	28	159
16	3 000	3 055	0,0635	0,635	30	194
17	3 200	3 258	0,066	0,66	32	215
18	3 400	3 462	0,0686	0,686	34	237
19	3 600	3 665	0,0711	0,711	36	261
20	3 800	3 869	0,0738	0,738	38	285
21	4 000	4 073	0,0762	0,762	40	310
22	4 200	4 276	0,0787	0,787	42	337

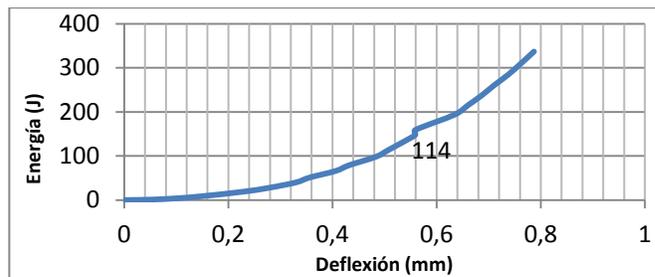
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Gráfica carga–deflexión panel 4, concreto sin refuerzo**



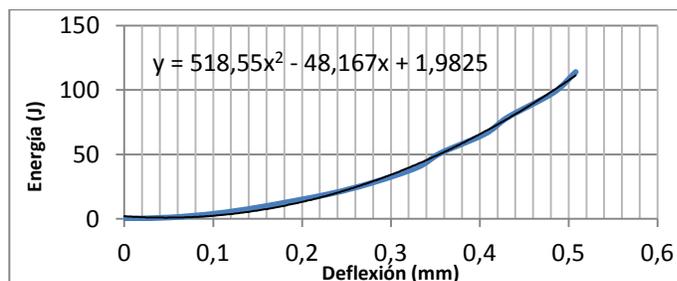
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Gráfica energía–deflexión panel 4, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Área a compresión panel 4, concreto sin refuerzo**



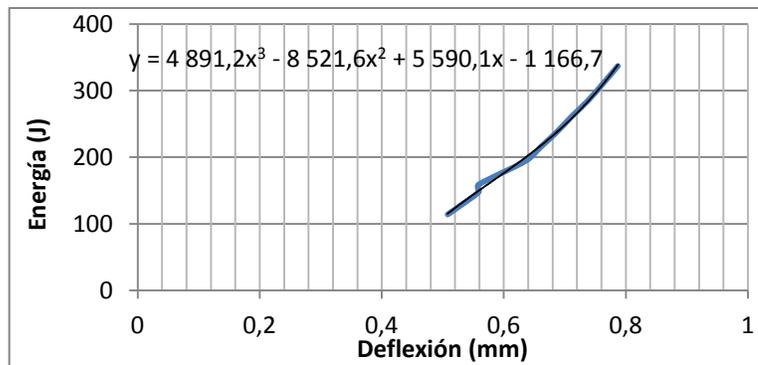
Fuente: elaboración propia.

$$\int_0^{0,508} (518,55x^2 - 48,167x + 1,9825)dx$$

518,55	172,85	0,131	22,66
-48,167	-24,084	0,258	-6,22
1,9825	1,983	0,508	<u>1,007</u>
			$\Sigma 17,45 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 17,45 J.

Figura 45. **Área a tensión panel 4, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia

$$\int_{0,508}^{0,787} (4 891,2x^3 - 8 521,6x^2 + 5 590,1x - 1 166,7)dx$$

4 891,2	1 222,8	0,384	469,07	4 891,2	1 222,8	0,067	81,44
-8 521,6	-2 840,5	0,487	-1 384,48	-8 521,6	-2 840,5	0,131	-372,40
5 590,1	2 795,1	0,620	1 731,25	5 590,1	2 795,1	0,258	721,40
-1 166,7	-1 166,7	0,787	<u>-918,20</u>	-1 166,7	-1 166,7	0,508	<u>-592,68</u>
			$\Sigma -102,35 \text{ J}$				$\Sigma -162,24 \text{ J}$

$$\text{Promedio} = -102,35 - (-162,24) = 60 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 60 J

$$\text{Área a compresión} + \text{área a tensión} = 77,45 \text{ J}$$

$$\text{Promedio de áreas} = 77,45/2 = 39/10 = 4 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía del panel 4.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 10 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 2975 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 2975 \text{ Kg}_f * 0,0508 \text{ cm} = 151 \text{ J}$$

Refuerzo a tensión del concreto. Cemento CFB

$$5000 \text{ PSI} \frac{1 \text{ plg}^2}{2,54 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ Lb}} = 352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se utiliza un trabajo del 10 % de tensión del concreto.

$$352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 10 \% = 35,23 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$35,23 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} * 5 \text{ cm} * 1 \text{ cm}^2 = 176 \text{ J}$$

3.5.5. Gráficas del panel 5, concreto sin refuerzo

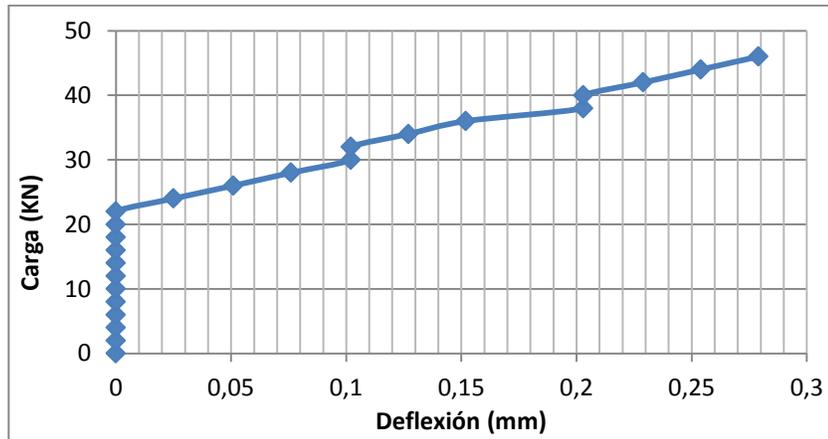
Último cálculo de panel sin refuerzo. Para un promedio total en el trabajo experimental de los cinco paneles, a vista del ingeniero civil, se tomará el criterio del comentario de la página 57.

Tabla XXVII. **Datos calculados en ensayos panel 5, concreto sin refuerzo**

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	204	0	0	2	0
3	400	407	0	0	4	0
4	600	611	0	0	6	0
5	800	815	0	0	8	0
6	1 000	1 018	0	0	10	0
7	1 200	1 222	0	0	12	0
8	1 400	1 425	0	0	14	0
9	1 600	1 629	0	0	16	0
10	1 800	1 833	0	0	18	0
11	2 000	2 036	0	0	20	0
12	2 200	2 240	0	0	22	0
13	2 400	2 444	0,0025	0,025	24	6
14	2 600	2 647	0,0051	0,051	26	13
15	2 800	2 851	0,0076	0,076	28	22
16	3 000	3 055	0,0102	0,102	30	31
17	3 200	3 258	0,0102	0,102	32	33
18	3 400	3 462	0,0127	0,127	34	44
19	3 600	3 665	0,0152	0,152	36	56
20	3 800	3 869	0,0203	0,203	38	79
21	4 000	4 073	0,0203	0,203	40	83
22	4 200	4 276	0,0229	0,229	42	98
23	4 400	4 480	0,0254	0,254	44	114
24	4 600	4 684	0,0279	0,279	46	131

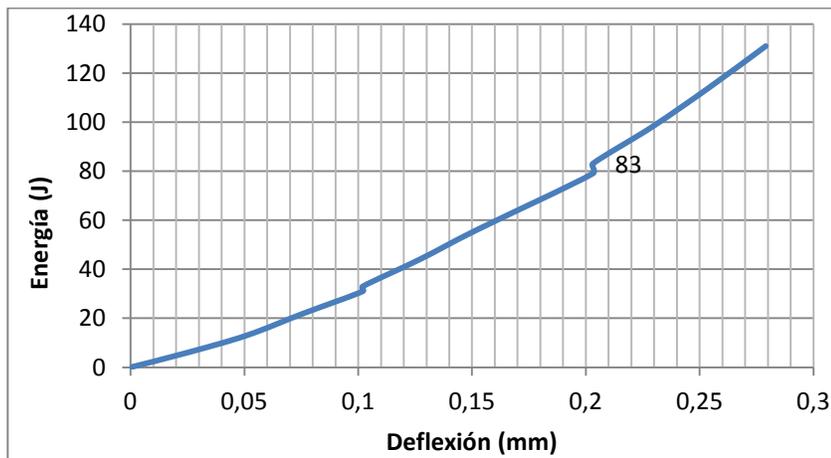
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Gráfica carga–deflexión panel 5, concreto sin refuerzo**



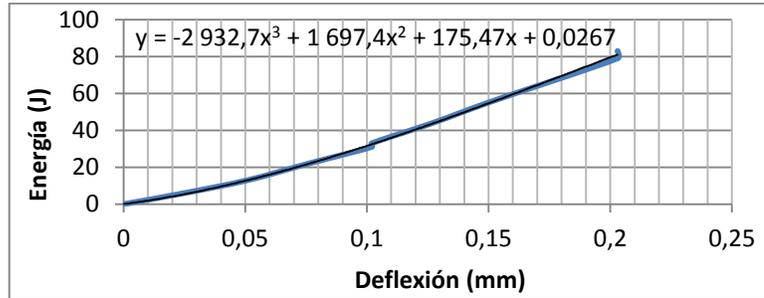
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Gráfica energía–deflexión panel 5, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Área a compresión panel 5, concreto sin refuerzo**



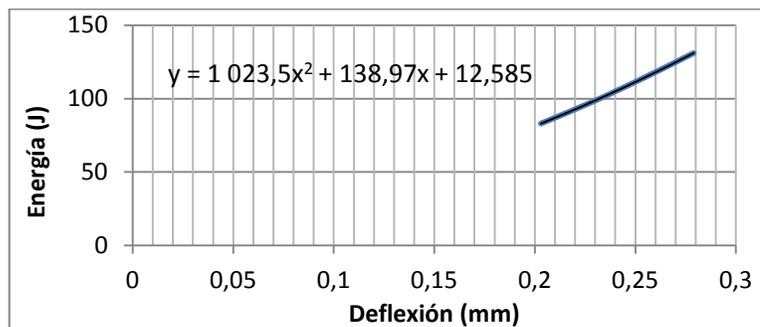
Fuente: elaboración propia.

$$\int_0^{0,203} (-2\,932,7x^3 + 1\,697,4x^2 + 175,47x + 0,0267)dx$$

-2 932,7	-733,175	0,0017	-1,245
1 697,4	565,8	0,0084	4,733
175,47	87,735	0,0412	3,616
0,0267	0,0267	0,203	<u>0,005</u>
			$\Sigma 7,109 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 7,109 J.

Figura 49. **Área a tensión panel 5, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{0,203}^{0,279} (1\,023,5x^2 + 138,97x + 12,585)dx$$

1 023,5	341,17	0,022	7,403	1 023,5	341,17	0,0084	2,854
138,97	69,49	0,078	5,406	138,97	69,49	0,0412	2,863
12,585	12,59	0,279	<u>3,511</u>	12,585	12,59	0,203	<u>2,555</u>
			Σ 16,32 J				Σ 8,27 J

$$\text{Promedio} = 16,32 - 8,272 = 8,05 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 8,05 J

$$\text{Área a compresión} + \text{área a tensión} = 15,16 \text{ J}$$

$$\text{Promedio de áreas} = 15,16/2 = 7,58/10 = 0,758 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía del panel 5.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 10 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 2\,975 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 2\,975 \text{ Kg}_f * 0,0203 \text{ cm} = 60,4 \text{ J}$$

Refuerzo a tensión del concreto. Cemento CFB

$$5\,000 \text{ PSI} \frac{1 \text{ plg}^2}{2,54 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ Lb}} = 352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se utiliza un trabajo del 10 % de tensión del concreto.

$$352,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 10 \% = 35,23 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$35,23 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} * 5 \text{ cm} * 1 \text{ cm}^2 = 176 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto sin refuerzo $(21 + 14,05 + 19,27 + 17,45 + 7,11)/5 = 16 \text{ J}$

3.5.6. Gráficas del panel 1, concreto con electromalla

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (25 toneladas inglesas) = dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{1\,032 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 469 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{2\,064 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 938 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{3\,096 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 1\,407 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$469 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\,690 \text{ N} \rightarrow 4,6 \text{ KN}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 9\,380 \text{ N} \rightarrow 9 \text{ KN}$$

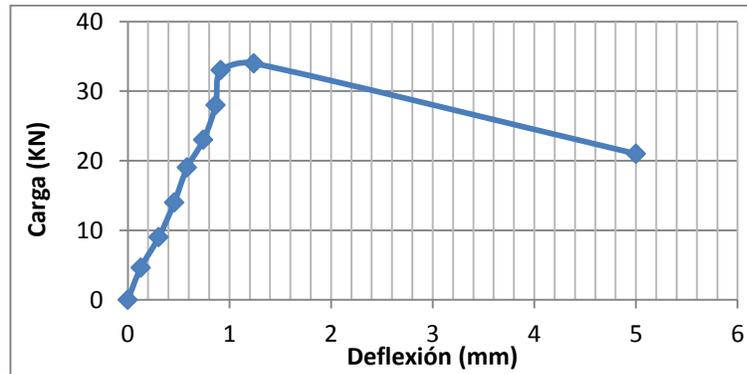
$$1\,407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 14\,070 \text{ N} \rightarrow 14 \text{ KN}$$

Tabla XXVIII. Datos calculados en ensayos panel 1, electromalla

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0127	0,127	4,6	6
3	400	938	0,0305	0,305	9	29
4	600	1 407	0,0457	0,457	14	64
5	800	1 876	0,0584	0,584	19	110
6	1 000	2 345	0,0744	0,744	23	174
7	1 200	2 815	0,0864	0,864	28	243
8	1 400	3 284	0,0914	0,914	33	300
9	1 450	3 401	0,124	1,24	34	422
10	900	2 111	0,5	5	21	1 055

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Gráfica carga–deflexión panel 1, concreto electromalla**



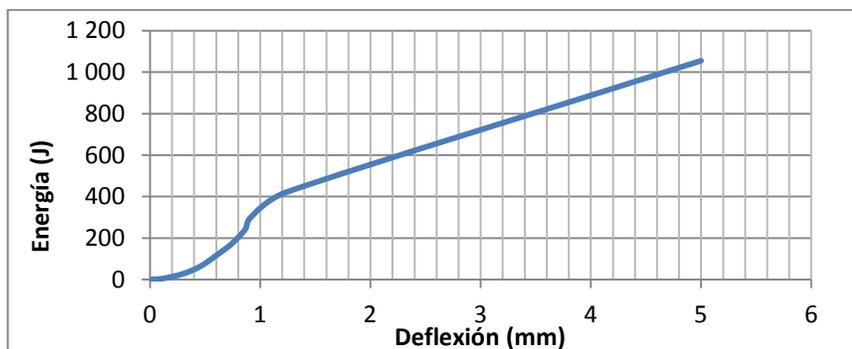
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$469 \text{ Kg}_f * 0,0127 \text{ Cm} = 6 \text{ J}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 0,0305 \text{ Cm} = 29 \text{ J}$$

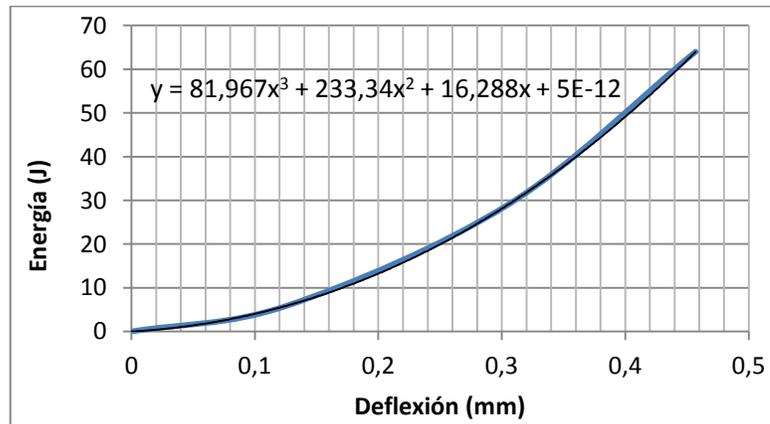
Figura 51. **Gráfica energía–deflexión panel 1, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,457–64), tomando en cuenta que el concreto trabaja de 8 a 12 % a tensión.

Figura 52. **Área a compresión panel 1, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación de integración definida para ecuaciones continuas en un intervalo cerrado.

$$\int_a^b f(x) dx$$

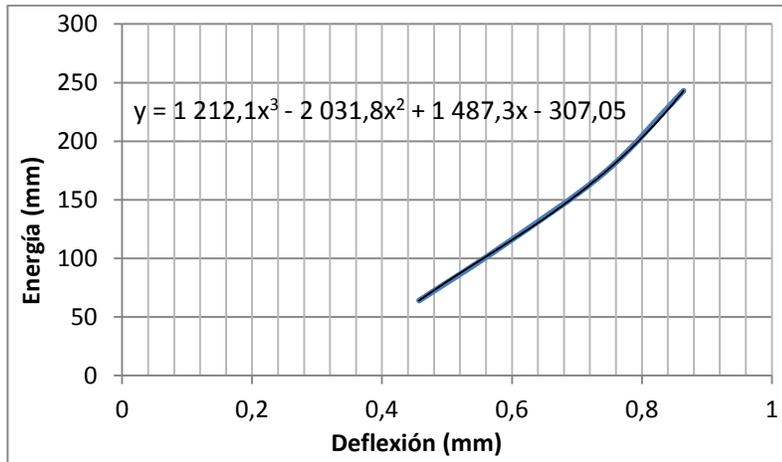
$$f(x) = 81,967x^3 + 233,34x^2 + 16,288x + 2E-12$$

$$\int_0^{0,457} (81,967x^3 + 233,34x^2 + 16,288x + 2E-12) dx$$

81,967	20,4918	0,0436	0,8939
233,34	77,78	0,0954	7,4233
16,288	8,144	0,2088	1,7005
2E-12	2E-12	0,457	<u>9E-13</u>
			$\Sigma 10,02 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 10,02 J.

Figura 53. Área a flexocompresión panel 1, concreto electromalla



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = 1\,212,1x^3 - 2\,031,8x^2 + 1\,487,3x - 307,05$$

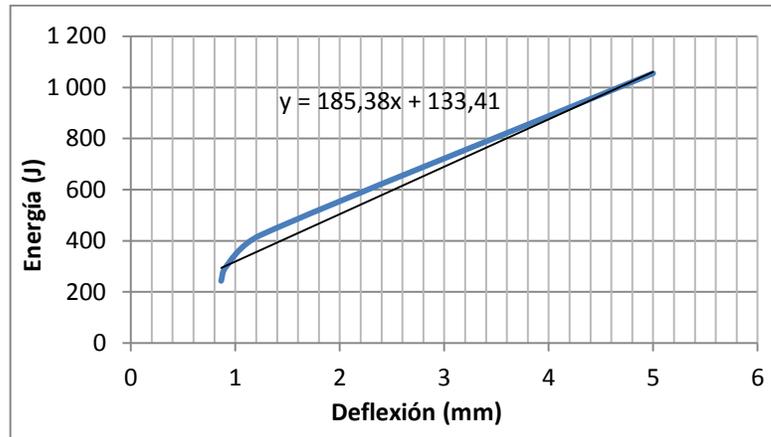
$$\int_{0,457}^{0,864} (1\,212,1x^3 - 2\,031,8x^2 + 1\,487,3x - 307,05)dx$$

1 212,1	303,025	0,557	168,85	1 212,1	303,03	0,044	13,218
-2 031,8	-677,267	0,645	-436,84	-2 031,8	-677,27	0,095	-64,638
1 487,3	743,65	0,747	555,14	1 487,3	743,65	0,209	155,274
-307,05	-307,05	0,864	<u>-265,29</u>	-307,05	-307,05	0,457	<u>-140,322</u>
			Σ 21,85 J				Σ -36,47 J

$$\text{Promedio} = 21,85 - (-36,47) = 58,32 \text{ J}$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 58,32 J

Figura 54. **Área a tensión panel 1, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{0,864}^{5,00} (185,38x + 133,41) dx$$

185,38	92,69	25	2 317,25	185,38	92,69	0,7465	69,20
133,41	133,41	5	<u>667,05</u>	133,41	133,41	0,864	<u>115,27</u>
			Σ 2 984,3 J				Σ 184,46 J

$$\text{Promedio} = 2\,984,3 - 184,46 = 2\,799,84 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 799,84 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 2 868,17 J

Promedio de áreas = $2\,868,17/3 = 956/10 = 95,6 \text{ J}$

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0457 \text{ cm} = 4\,079 \text{ J}$$

$$4\,079 \text{ J}/2 = 2\,039 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$2\,039 \text{ J}/60 = 34 \text{ J}$$

Electromalla grado 70

$$70\,000 \text{ PSI} \frac{1 \text{ plg}^2}{2,54 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ Lb}} = 4\,932 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$4\,932 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 0,113 \text{ cm}^2 = 557 \text{ Kg}_f$$

$$557 \text{ Kg}_f * 0,15 \text{ m} = 84 \text{ J}$$

3.5.7. Gráficas del panel 2, concreto con electromalla

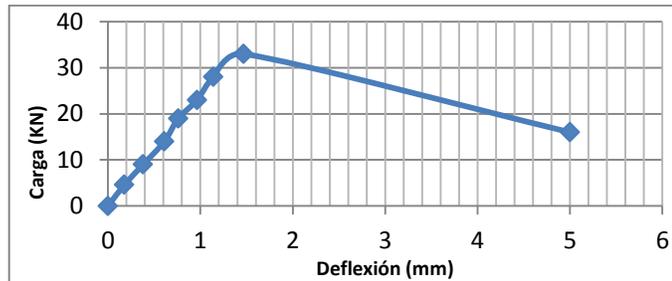
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla XXIX. Datos calculados en ensayos panel 2, electromalla

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0178	0,178	4,6	8
3	400	938	0,0381	0,381	9	36
4	600	1 407	0,061	0,61	14	86
5	800	1 876	0,0762	0,762	19	143
6	1 000	2 345	0,0965	0,965	23	226
7	1 200	2 815	0,114	1,14	28	321
8	1 400	3 284	0,147	1,47	33	483
9	700	1 642	0,5	5	16	821

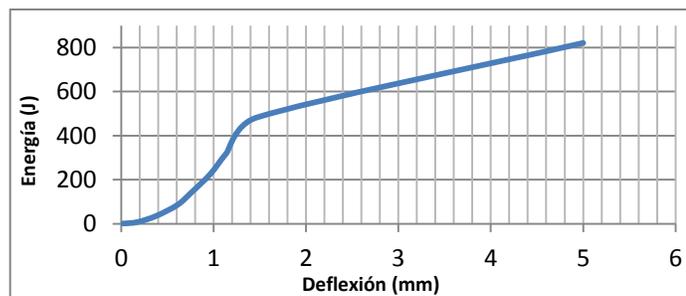
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Gráfica carga–deflexión panel 2, concreto electromalla**



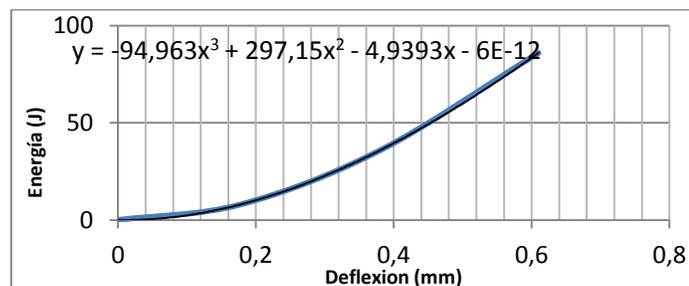
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Gráfica energía–deflexión panel 2, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Área a compresión panel 2, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

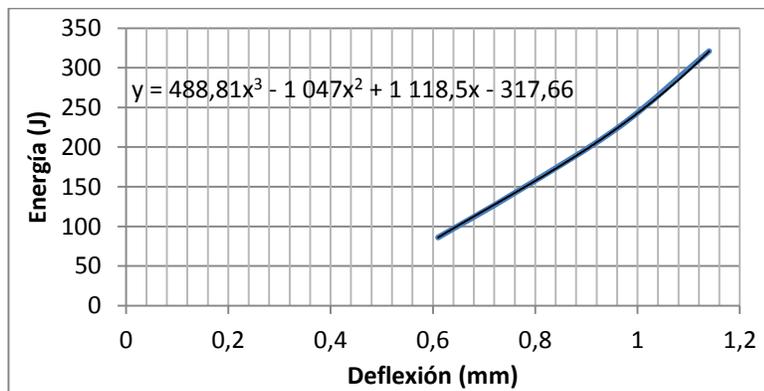
$$f(x) = -94,963x^3 + 297,15x^2 - 4,9393x - 2E-12$$

$$\int_0^{0,61} (-94,963x^3 + 297,15x^2 - 4,9393x - 2E-12)dx$$

-94,963	-23,741	0,14	-3,29
297,15	99,05	0,23	22,48
-4,939	-2,47	0,37	-0,92
-2E-12	-2E-12	0,61	<u>-1E-12</u>
			$\Sigma 18,28 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 18,28 J.

Figura 58. **Área a flexocompresión panel 2, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = 488,81x^3 - 1 047x^2 + 1 118,5x - 317,66$$

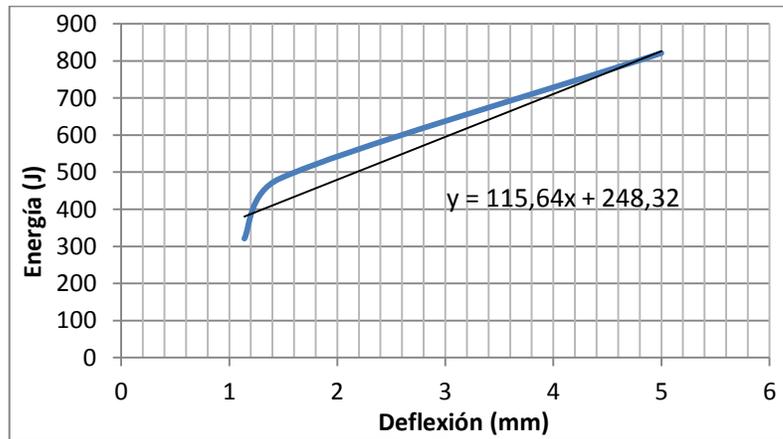
$$\int_{0,61}^{1,14} (488,81x^3 - 1 047x^2 + 1 118,5x - 317,66)dx$$

488,81	122,20	1,689	206,400	488,81	122,20	0,139	16,925
-1 047	-349	1,482	-517,044	-1 047	-349	0,227	-79,223
1 118,5	559,25	1,300	726,801	1 118,5	559,25	0,372	208,10
-317,66	-317,66	1,14	<u>-362,132</u>	-317,66	-317,66	0,61	<u>-193,773</u>
			$\Sigma 54,025 \text{ J}$				$\Sigma -47,974 \text{ J}$

$$\text{Promedio} = 54,025 - (-47,974) = 102 \text{ J}$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 102 J.

Figura 59. **Área a tensión panel 2, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{1,14}^{5,00} (115,64x + 248,32) dx$$

115,64	57,82	25	1 445,5	115,64	57,82	1,30	75,143
248,32	248,32	5	<u>1 241,6</u>	248,32	248,32	1,14	<u>283,085</u>
			Σ 2 687,1J				Σ 358,228J

$$\text{Promedio} = 2 687,1 - 358,228 = 2 328,87 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 328,87 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 2 449,15 J

Promedio de áreas = $2 449,15/3 = 816,38/10 = 82 \text{ J}$

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0610 \text{ cm} = 5\,444,25 \text{ J}$$

$$5\,444,25 \text{ J}/2 = 2\,722,125 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$2\,722,125 \text{ J}/60 = 45 \text{ J}$$

Electromalla grado 70

$$70\,000 \text{ PSI} \frac{1 \text{ plg}^2}{2,54 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ Lb}} = 4\,932 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$4\,932 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 0,113 \text{ cm}^2 = 557 \text{ Kg}_f$$

$$557 \text{ Kg}_f * 0,15 \text{ m} = 84 \text{ J}$$

3.5.8. Gráficas del panel 3, concreto con electromalla

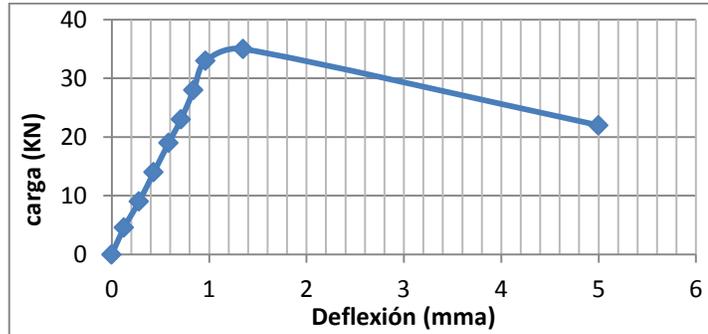
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XXX. Datos calculados en ensayos panel 3, electromalla

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0127	0,127	4,6	6
3	400	938	0,028	0,28	9	26
4	600	1 407	0,0432	0,432	14	61
5	800	1 876	0,0584	0,584	19	110
6	1 000	2 345	0,0711	0,711	23	167
7	1 200	2 815	0,084	0,84	28	236
8	1 400	3 284	0,0965	0,965	33	317
9	1 500	3 518	0,135	1,35	35	475
10	950	2 228	0,5	5	22	1 114

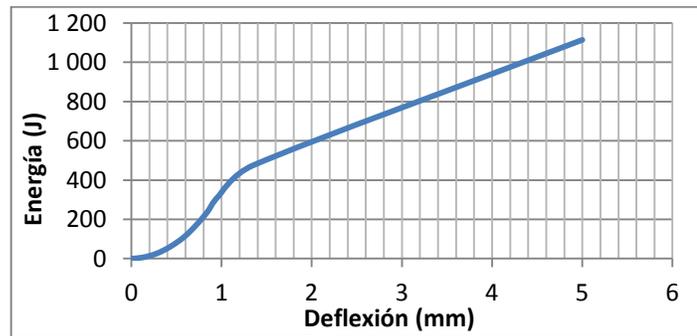
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Gráfica carga–deflexión panel 3, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Gráfica energía–deflexión panel 3, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 2,4172x^3 + 310,21x^2 + 6,3514x + 0,0429$

$$\int_0^{0,584} (2,4172x^3 + 310,21x^2 + 6,3514x + 0,0429)dx$$

2,4172	0,6043	0,11632	0,071
310,21	103,40333	0,19918	20,596
6,3514	3,1757	0,34105	1,0831
0,0429	0,0429	0,584	<u>0,025</u>
			$\Sigma 21,77 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 21,77 J.

Área a flexocompresión $f(x) = 336,19x^2 + 13,452x - 12,16$

$$\int_{0,584}^{0,965} (336,19x^2 + 13,452x - 12,16)dx$$

336,19	112,063	0,899	100,703	336,19	112,063	0,199	22,323
13,452	6,726	0,931	6,264	13,452	6,726	0,341	2,294
-12,516	-12,516	0,965	<u>-12,078</u>	-12,516	-12,516	0,584	<u>-7,309</u>
			Σ 94,889 J				Σ 17,308 J

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 77,58 J

Área a tensión $f(x) = 188,53x + 175,64$

$$\int_{0,965}^{5,00} (188,53x + 175,64)dx$$

188,53	94,265	25	2 356,63	188,53	94,265	0,931	87,78
175,64	175,64	5	<u>878,2</u>	175,64	175,64	0,965	<u>169,49</u>
			Σ 3 234,83 J				Σ 257,27 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 977,55 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 077 J

Promedio de áreas = $3\ 077/3 = 1\ 026/10 = 102$ J

Calculando la absorción de energía del panel 3.

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\ 250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\ 250 \text{ Kg}_f * 0,0584 \text{ cm} = 5\ 212 \text{ J}$$

$$5\ 212 \text{ J}/2 = 2\ 606 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$2\ 606 \text{ J}/60 = 43 \text{ J}$$

Electromalla grado 70 tiene una absorción de energía de 84 J

3.5.9. Gráficas del panel 4, concreto con electromalla

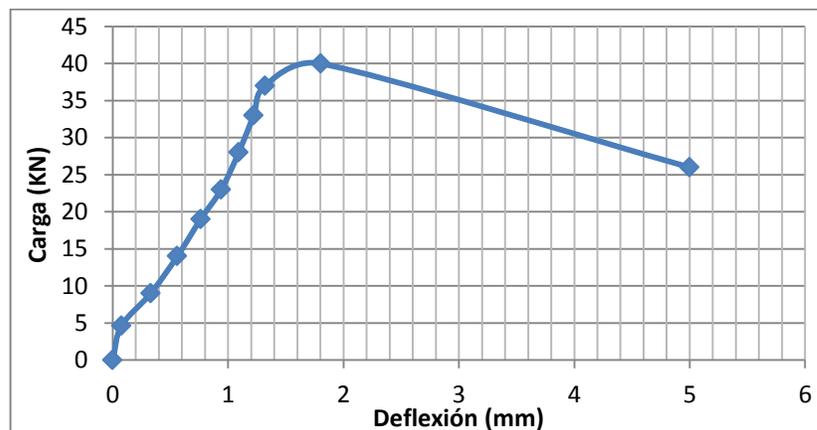
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XXXI. Datos calculados en ensayos panel 4, electromalla

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0075	0,075	4,6	4
3	400	938	0,033	0,33	9	31
4	600	1 407	0,056	0,56	14	79
5	800	1 876	0,0762	0,762	19	143
6	1 000	2 345	0,094	0,94	23	220
7	1 200	2 815	0,1092	1,092	28	307
8	1 400	3 284	0,122	1,22	33	401
9	1 600	3 753	0,1321	1,321	37	496
10	1 700	3 987	0,1803	1,803	40	719
11	1 100	2 580	0,5	5	26	1 290

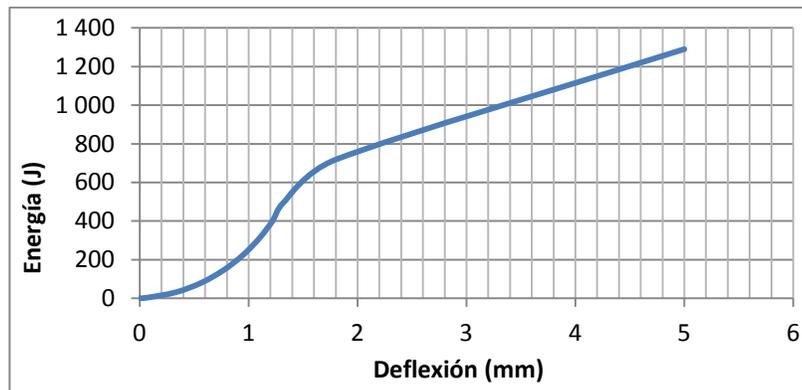
Fuente: elaboración propia.

Figura 62. Gráfica carga-deflexión panel 4, concreto electromalla



Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Gráfica energía–deflexión panel 4, concreto electromalla**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 70,699x^3 + 139,37x^2 + 40,48x + 0,0515$

$$\int_0^{0,94} (70,699x^3 + 139,37x^2 + 40,48x + 0,0515)dx$$

70,699	17,67	0,781	13,799
139,37	46,46	0,831	38,587
40,48	20,24	0,884	17,884
0,0515	0,0515	0,94	<u>0,0484</u>
			$\Sigma 70,32 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 70,32 J.

Área a flexocompresión $f(x) = 844,95x^3 - 2169,2x^2 + 2358,6x - 782,24$

$$\int_{0,94}^{1,321} (844,95x^3 - 2169,2x^2 + 2358,6x - 782,24)dx$$

844,95	211,24	3,045	643,26	844,95	211,24	0,781	164,91
-2 169,2	-723,07	2,305	-1 666,81	-2169,2	-723,07	0,831	-600,58
2 358,6	1 179,3	1,745	2 057,88	2 358,6	1 179,3	0,884	1 042,03
-782,24	-782,24	1,321	<u>-1 033,34</u>	-782,24	-782,24	0,94	<u>-735,31</u>
			$\Sigma 0,99 \text{ J}$				$\Sigma -128,94 \text{ J}$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 130 J

Área a tensión $f(x) = 202,35x + 287,03$

$$\int_{1,321}^{5,00} (202,35x + 287,03) dx$$

202,35	101,175	25	2 529,38	202,35	101,175	1,745	176,55
287,02	287,02	5	<u>1 435,1</u>	287,02	287,02	1,321	<u>379,15</u>
			Σ 3 964,48 J				Σ 555,70 J

Promedio = $3\,964,48 - 555,70 = 3\,408,77$ J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 408,77 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 609,10 J

Promedio de áreas = $3\,609/3 = 1\,203/10 = 120$ J

Calculando la absorción de energía del panel 4.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{Comp}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0940 \text{ cm} = 8\,390 \text{ J}$$

$$8\,390 \text{ J}/2 = 4\,195 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$4\,195 \text{ J}/60 = 70 \text{ J}$$

Electromalla grado 70 tiene una absorción de energía de 84 J

3.5.10. Gráficas del panel 5, concreto con electromalla

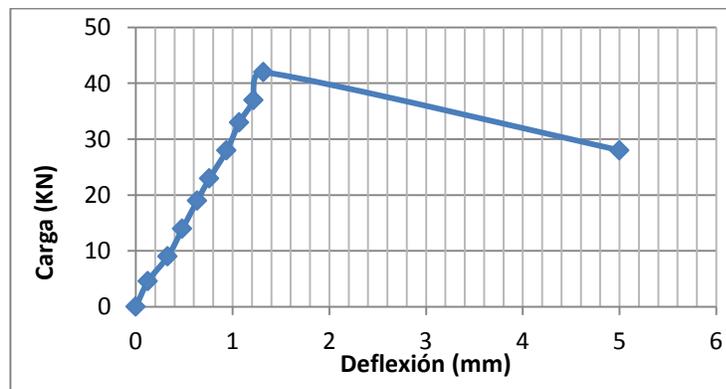
Promediando los cinco paneles con electromalla grado 70, se obtendrá la absorción de energía que se busca en los últimos cálculos del panel cinco.

Tabla XXXII. Datos calculados en ensayos panel 5, electromalla

No. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0127	0,127	4,6	6
3	400	938	0,033	0,33	9	31
4	600	1 407	0,0483	0,483	14	68
5	800	1 876	0,0635	0,635	19	119
6	1 000	2 345	0,0762	0,762	23	179
7	1 200	2 815	0,094	0,94	28	265
8	1 400	3 284	0,107	1,07	33	351
9	1 600	3 753	0,122	1,22	37	458
10	1 800	4 222	0,132	1,32	42	557
11	1 200	2 815	0,5	5	28	1 407

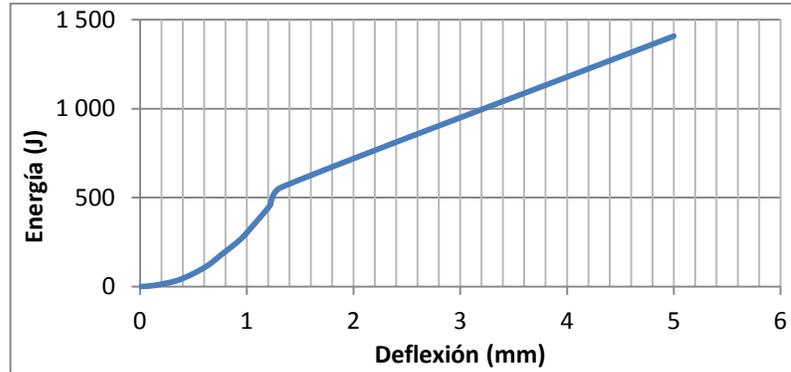
Fuente: elaboración propia.

Figura 64. Gráfica carga–deflexión panel 5, concreto electromalla



Fuente: elaboración propia.

Figura 65. Gráfica energía–deflexión panel 5, concreto electromalla



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 85,687x^3 + 219,1x^2 + 13,691x + 0,1469$

$$\int_0^{0,635} (85,687x^3 + 219,1x^2 + 13,691x + 0,1469)dx$$

85,687	21,4218	0,1626	3,483
219,1	73,0333	0,256	18,697
13,691	6,8455	0,4032	2,760
0,1469	0,1469	0,635	<u>0,093</u>
			$\Sigma 25,033 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 25,033 J.

Área a flexocompresión $f(x) = 1\,250,8x^3 - 2\,888x^2 + 2\,671,2x - 732,93$

$$\int_{0,635}^{1,07} (1\,250,8x^3 - 2\,888x^2 + 2\,671,2x - 732,93)dx$$

1 250,8	312,7	1,3108	409,89	1 250,8	312,7	0,163	50,85
-2 888	-962,67	1,225	-1 179,27	-2 888	-962,67	0,256	-246,44
2 671,2	1 335,6	1,1449	1 529,13	2 671,2	1 335,6	0,403	538,51
-732,93	-732,93	1,07	<u>-784,24</u>	-732,93	-732,93	0,635	<u>-465,41</u>
			$\Sigma -24,49 \text{ J}$				$\Sigma -122,50 \text{ J}$

$$\text{Promedio} = -24,49 - (-122,50) = 98 \text{ J}$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 98 J

Área a tensión $f(x) = 252,31x + 150,16$

$$\int_{1,07}^5 (252,31x + 150,16)dx$$

252,31	126,155	25	3 153,88	252,31	126,155	1,145	144,43
150,16	150,16	5	<u>750,8</u>	150,16	150,16	1,07	<u>160,67</u>
			Σ 3 904,68 J				Σ 305,10 J

$$\text{Promedio} = 3\,904,63 - 305,10 = 3\,600 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 600 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 723 J

Promedio de áreas = $3\,723/3 = 1\,241/10 = 124 \text{ J}$

Calculando la absorción de energía del panel 5.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0635 \text{ cm} = 5\,667,38 \text{ J}$$

$$5\,667,38 \text{ J}/2 = 2\,834 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$2\,834 \text{ J}/60 = 47 \text{ J}$$

Electromalla grado 70 tiene una absorción de energía de 84 J

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto con electromalla grado 70 $(34 + 45 + 43 + 70 + 47)/5 = 48 \text{ J}$

3.5.11. Gráficas del panel 1, concreto con fibra macrosintética baja

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (25 toneladas inglesas)= dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{1\ 032 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 469 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{2\ 064 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 938 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{3\ 096 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 1\ 407 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$469 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\ 690 \text{ N} \rightarrow 4,6 \text{ KN}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 9\ 380 \text{ N} \rightarrow 9 \text{ KN}$$

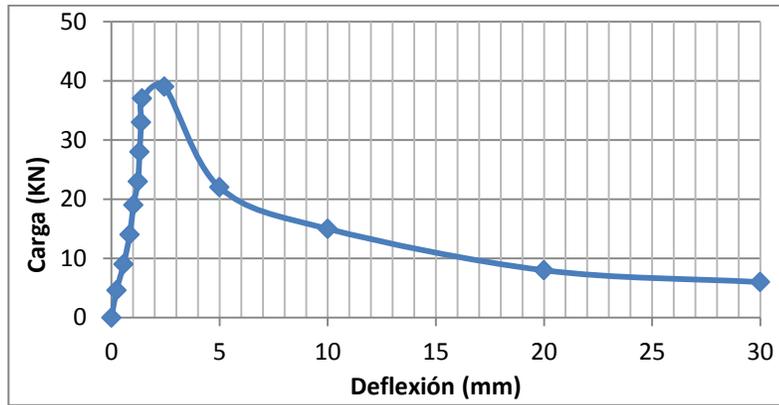
$$1\ 407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 14\ 070 \text{ N} \rightarrow 14 \text{ KN}$$

Tabla XXXIII. Datos calculados en ensayos panel 1, macrosintética baja

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,023	0,23	4,6	11
3	400	938	0,056	0,56	9	52
4	600	1 407	0,084	0,84	14	118
5	800	1 876	0,102	1,02	19	191
6	1 000	2 345	0,122	1,22	23	286
7	1 200	2 815	0,13	1,3	28	366
8	1 400	3 284	0,137	1,37	33	450
9	1 600	3 753	0,142	1,42	37	533
10	1 650	3 870	0,244	2,44	39	944
11	950	2 228	0,5	5	22	1 114
12	650	1 524	1	10	15	1 524
13	350	821	2	20	8	1 642
14	240	563	3	30	6	1 689

Fuente: elaboración propia.

Figura 66. **Gráfica carga–deflexión panel 1, macrosintética baja**



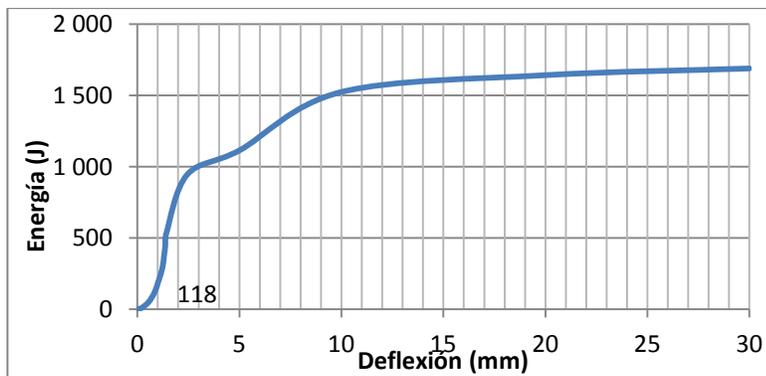
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$469 \text{ Kg}_f * 0,023 \text{ Cm} = 11 \text{ J}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 0,056 \text{ Cm} = 52 \text{ J}$$

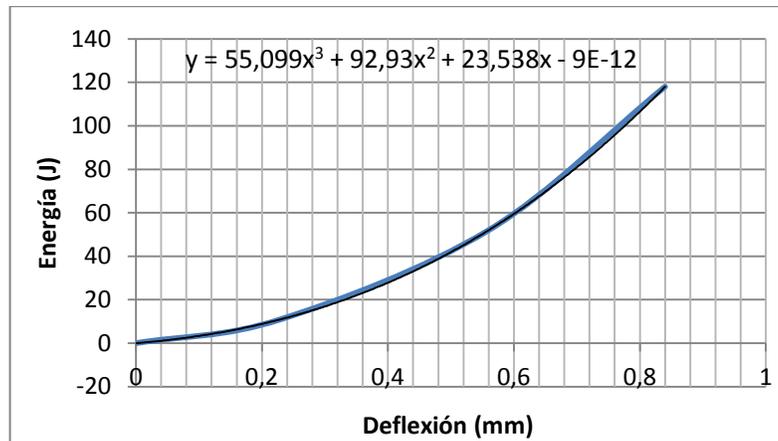
Figura 67. **Gráfica energía–deflexión panel 1, macrosintética baja**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,84 – 118)

Figura 68. **Área a compresión panel 1, macrosintética baja**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación de integración definida para ecuaciones continuas en un intervalo cerrado.

$$\int_a^b f(x) dx$$

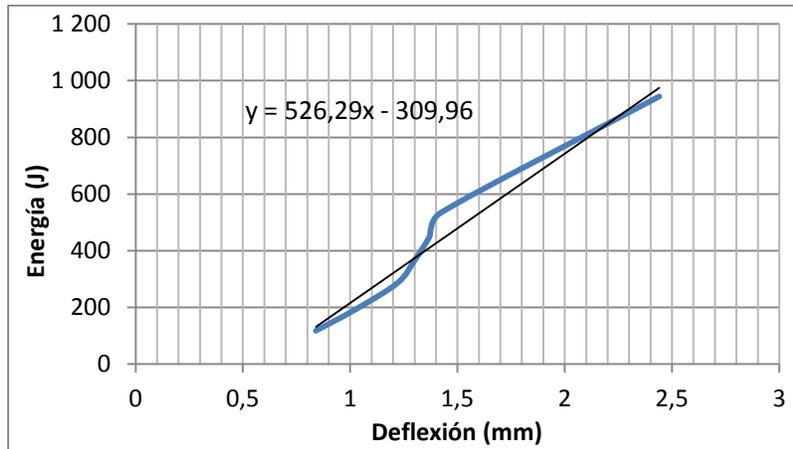
$$f(x) = 55,099x^3 + 92,93x^2 + 23,538x + 3E-12$$

$$\int_0^{0,84} (55,099x^3 + 92,93x^2 + 23,538x + 3E-12) dx$$

55,099	13,77475	0,4979	6,85845
92,93	30,976667	0,5927	18,3599
23,538	11,769	0,7056	8,30421
3E-12	3E-12	0,84	<u>2,5E-12</u>
			Σ 33,523 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 33,523 J.

Figura 69. Área a flexocompresión panel 1, macrosintética baja



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = 526,29x - 309,96$$

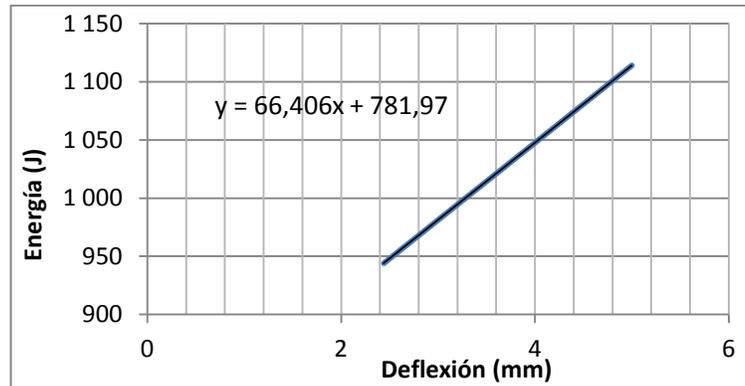
$$\int_{0,84}^{2,44} (526,29x - 309,96) dx$$

526,29	263,145	5,95	1 566,660	526,29	263,145	0,71	185,675
-309,96	-309,96	2,44	<u>-756,302</u>	-309,96	-309,96	0,84	<u>-260,366</u>
			Σ 810,358 J				Σ -74,691 J

$$\text{Promedio} = 810,358 - (-74,691) = 885,05 \text{ J}$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 885,05 J

Figura 70. **Área a tensión panel 1, macrosintética baja**



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{2,44}^{5,00} (66,406x + 781,97) dx$$

66,406	33,203	25	830,075	66,406	33,203	5,95	197,68
781,97	781,97	5	<u>3 909,85</u>	781,97	781,97	2,44	<u>1 908,01</u>
			Σ 4 739,93 J				Σ 2 105,68 J

$$\text{Promedio} = 4\,739,93 - 2\,105,68 = 2\,634,24 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 634,24 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 553 J

Promedio de áreas = $3\,553/3 = 1\,184/10 = 118 \text{ J}$

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0840 \text{ cm} = 7\,497 \text{ J}$$

$$7\,497 \text{ J}/2 = 3\,748,5 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$3\,748,5 \text{ J}/60 = 62,5 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,4)^2 \rightarrow 0,503 \text{ mm}^2$$

$$X * 0,503 \text{ mm}^2 = 14\,000 \text{ N} \rightarrow X = 27\,833 \text{ N/mm}^2$$

$$14\,000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1\,400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1\,400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

3.5.12. Gráficas del panel 2, fibra macrosintética baja

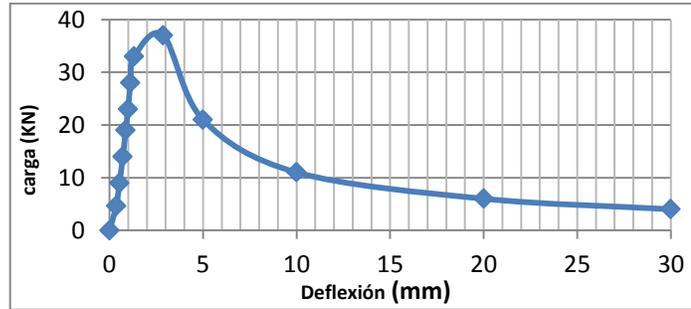
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla XXXIV. Datos calculados en ensayos panel 2, macrosintética baja

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0356	0,356	4,6	17
3	400	938	0,0533	0,533	9	50
4	600	1 407	0,0711	0,711	14	100
5	800	1 876	0,0864	0,864	19	162
6	1 000	2 345	0,0991	0,991	23	232
7	1 200	2 815	0,112	1,12	28	315
8	1 400	3 284	0,132	1,32	33	433
9	1 600	3 753	0,287	2,87	37	1 077
10	920	2 158	0,5	5	21	1 079
11	480	1 126	1	10	11	1 126
12	250	586	2	20	6	1 172
13	190	446	3	30	4	1 338

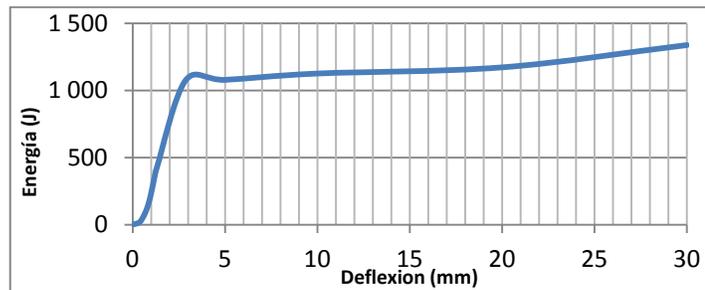
Fuente: elaboración propia.

Figura 71. **Gráfica carga–deflexión panel 2, macrosintética baja**



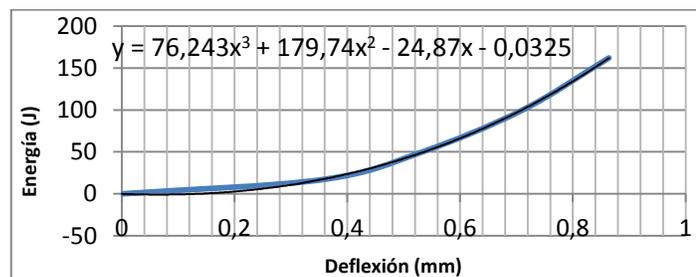
Fuente: elaboración propia.

Figura 72. **Gráfica energía–deflexión panel 2, macrosintética baja**



Fuente: elaboración propia.

Figura 73. **Área a compresión panel 2, macrosintética baja**



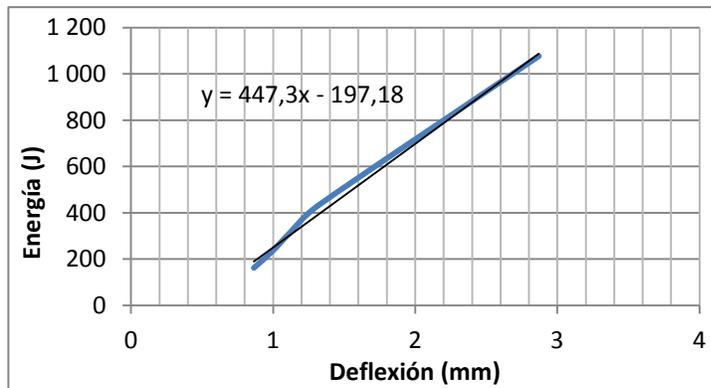
Fuente: elaboración propia.

$$\int_0^{0,864} (76,243x^3 + 179,74x^2 - 24,87x - 0,0325)dx$$

76,243	19,06075	0,5572	10,6206
179,74	59,913333	0,645	38,6441
24,87	12,435	0,7465	9,28273
-0,0325	-0,0325	0,864	<u>-0,0281</u>
			$\Sigma 58,5194 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 58,5194 J.

Figura 74. **Área a flexocompresión panel 2, macrosintética baja**



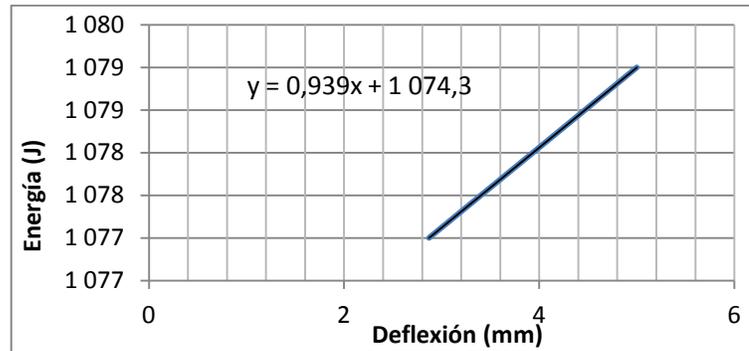
Fuente: elaboración propia.

$$\int_{0,864}^{2,87} (447,3x - 197,18)dx$$

447,3	223,65	8,2369	1 842,20		447,3	223,65	0,746	166,84
-197,18	-197,18	2,87	<u>-565,91</u>		-197,18	-197,18	0,864	<u>-170,36</u>
			$\Sigma 1 276,28 \text{ J}$					$\Sigma -3,52 \text{ J}$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 1 270,8 J

Figura 75. Área a tensión panel 2, macrosintética baja



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{2,87}^{5,00} (0,939x + 1074,3) dx$$

0,939	0,4695	25	11,74	0,939	0,4695	8,24	3,87
1 074,3	1 074,3	5	<u>5 371,5</u>	1 074,3	1 074,3	2,87	<u>3 083,24</u>
			Σ 5 383,24 J				Σ 3 087,12 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 296,13 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 634,45 J

Promedio de áreas = $3 634,45/3 = 1 211,5/10 = 121$ J

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89 250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89 250 \text{ Kg}_f * 0,0864 \text{ cm} = 7 711 \text{ J}$$

$$7 711 \text{ J}/2 = 3 855,5 \text{ J} \rightarrow 3 855,5 \text{ J}/60 = 64 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$A = \pi(0,4)^2 = 0,503 \text{ mm}^2$$

$$14 000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1 400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1 400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

3.5.13. Gráficas del panel 3, fibra macrosintética baja

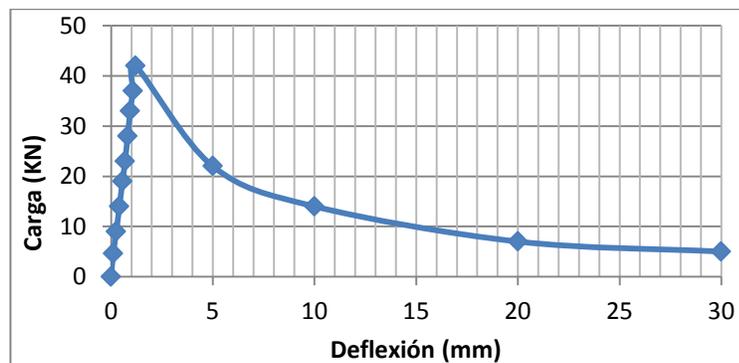
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XXXV. Datos calculados en ensayos panel 3, macrosintética baja

No. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0102	0,102	4,6	5
3	400	938	0,0254	0,254	9	24
4	600	1 407	0,0406	0,406	14	57
5	800	1 876	0,056	0,56	19	105
6	1 000	2 345	0,0686	0,686	23	161
7	1 200	2 815	0,0813	0,813	28	229
8	1 400	3 284	0,094	0,94	33	309
9	1 600	3 753	0,107	1,07	37	402
10	1 800	4 222	0,12	1,2	42	507
11	930	2 181	0,5	5	22	1 090
12	580	1 126	1	10	14	1 126
13	310	727	2	20	7	1 454
14	210	492	3	30	5	1 476

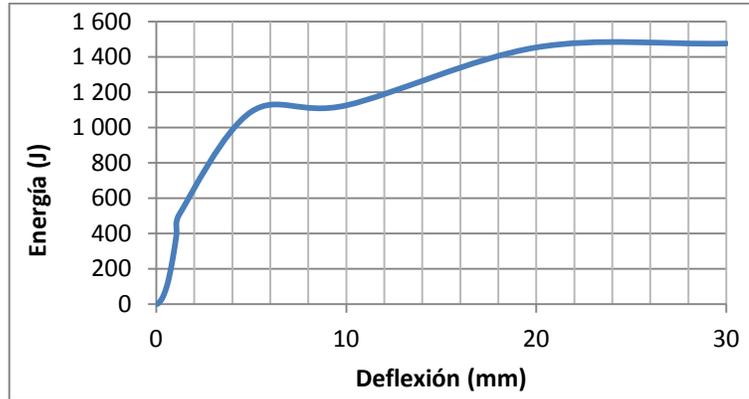
Fuente: elaboración propia.

Figura 76. Gráfica carga-deflexión panel 3, macrosintética baja



Fuente: elaboración propia.

Figura 77. Gráfica energía–deflexión panel 3, macrosintética baja



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 333,51x^2 + 3,1404x + 0,7$

$$\int_0^{0,686} (333,51x^2 + 3,1404x + 0,7)dx$$

333,51	111,17	0,3228	35,8857
3,1404	1,5702	0,4706	0,73894
0,7	0,7	0,686	<u>0,4802</u>
			Σ 37,1048 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 37,1048 J.

Área a flexocompresión $f(x) = 350,14x^2 + 12,995x - 12,773$

$$\int_{0,686}^{1,2} (350,14x^2 + 12,995x - 12,773)dx$$

350,14	116,71	1,728	201,68	350,14	116,71	0,323	37,68
12,995	6,498	1,44	9,36	12,995	6,498	0,471	3,058
-12,773	-12,773	1,2	<u>-15,33</u>	-12,773	-12,773	0,686	<u>-8,76</u>
			Σ 195,71J				Σ 31,97 J

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 163,74 J

Área a tensión $f(x) = 153,42x + 322,89$

$$\int_{1,2}^{5,00} (153,42x + 322,89)dx$$

153,42	76,71	25	1 917,75		153,42	76,71	1,44	110,46
322,89	322,89	5	<u>1 614,45</u>		322,89	322,89	1,2	<u>387,47</u>
			Σ 3 532,2 J					Σ 497,93 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 034,27 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 235,30 J

Promedio de áreas = $3\ 235,30/3 = 1\ 078,43/10 = 108\ J$

Calculando la absorción de energía del panel 3.

$$C = 0,85 * 350\ \text{kg/cm}^2 * 300\ \text{cm}^2 = 89\ 250\ \text{Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\ 250\ \text{Kg}_f * 0,0686\ \text{cm} = 6\ 122,55\ \text{J}$$

$$6\ 122,55\ \text{J}/2 = 3\ 061,27\ \text{J} \rightarrow 3\ 061,27\ \text{J}/60 = 51\ \text{J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$A = \pi(0,4)^2 = 0,503\ \text{mm}^2$$

$$14\ 000\ \text{N}/10\ \text{m/s}^2 = 1\ 400\ \text{Kg}_f \rightarrow 1\ 400\ \text{Kg}_f * 0,055\ \text{m} = 77\ \text{J}$$

3.5.14. Gráficas del panel 4, fibra macrosintética baja

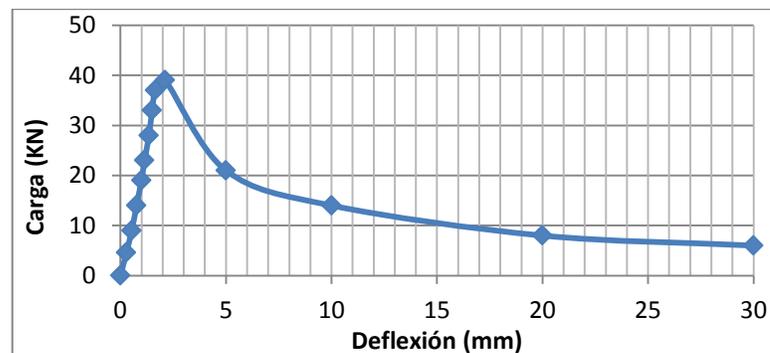
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XXXVI. Datos calculados en ensayos panel 4, macrosintética baja

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,028	0,28	4,6	13
3	400	938	0,0533	0,533	9	50
4	600	1 407	0,0762	0,762	14	107
5	800	1 876	0,0991	0,991	19	186
6	1 000	2 345	0,114	1,14	23	267
7	1 200	2 815	0,135	1,35	28	380
8	1 400	3 284	0,15	1,5	33	493
9	1 600	3 753	0,165	1,65	37	619
10	1 650	3 870	0,211	2,11	39	817
11	910	2 134	0,5	5	21	1 067
12	600	1 407	1	10	14	1 407
13	350	821	2	20	8	1 642
14	240	563	3	30	6	1 689

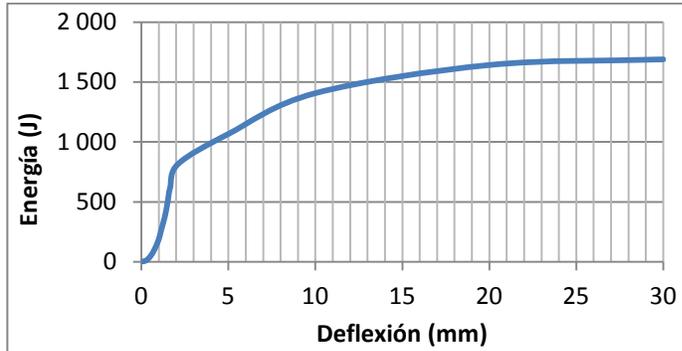
Fuente: elaboración propia.

Figura 78. Gráfica carga–deflexión panel 4, macrosintética baja



Fuente: elaboración propia.

Figura 79. Gráfica energía–deflexión panel 4, macrosintética baja



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = -38,652x^4 + 94,633x^3 + 130,12x^2 + 3,4253x + 5E-11$

$$\int_0^{0,991} (-38,652x^4 + 94,633x^3 + 130,12x^2 + 3,4253x + 5E-11)dx$$

-38,65	-7,73	0,9558	-7,388
94,633	23,65825	0,9645	22,818
130,12	43,3733333	0,9732	42,211
3,4253	1,71265	0,9821	1,682
5E-11	5E-11	0,991	<u>4,955E-11</u>
			Σ 59,323 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 59,323 J.

Área a flexocompresión $f(x) = -613,66x^3 + 2\,747,9x^2 - 3\,345,5x + 1\,403,6$

$$\int_{0,991}^{2,11} (-613,66x^3 + 2\,747,9x^2 - 3\,345,5x + 1\,403,6)dx$$

-613,66	-153,415	19,82	-3\,040,69	-613,66	-153,42	0,965	-147,97
2\,747,9	915,97	9,4	8\,610,09	2\,747,9	915,97	0,973	891,42
-3\,343,5	-1\,671,75	4,4521	-7\,442,80	-3\,343,5	-1\,671,75	0,982	-1\,641,83
1\,403,6	1\,403,6	2,11	<u>2\,961,60</u>	1\,403,6	1\,403,6	0,991	<u>1\,390,97</u>
			Σ 1\,088,20 J				Σ 492,60 J

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 595,6 J.

Área a tensión $f(x) = 86,505x + 634,47$

$$\int_{2.11}^5 (86,505x + 634,47) dx$$

86,505	43,253	25	1 081,31	86,505	43,253	4,4521	192,56
634,47	634,47	5	<u>3 172,35</u>	634,47	634,47	2,11	<u>1 338,73</u>
			Σ 4 253,66 J				Σ 1 531,30 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 722,37 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 377,29 J

Promedio de áreas = $3\,377,29/3 = 1\,125,76/10 = 112,57$ J

Calculando la absorción de energía del panel 4.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0991 \text{ cm} = 8\,844,67 \text{ J}$$

$$8\,844,67 \text{ J}/2 = 4\,422,34 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$4\,422,34 \text{ J}/60 = 74 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética = 77 J

3.5.15. Gráficas del panel 5, fibra macrosintética baja

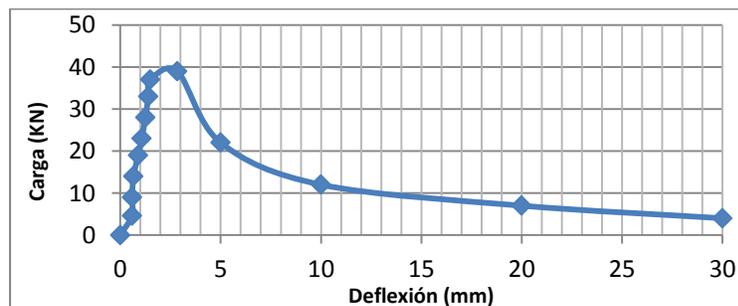
Promediando los cinco paneles con macrosintética baja, se obtendrá la absorción de energía que se busca en los últimos cálculos del panel cinco.

Tabla XXXVII. Datos calculados en ensayos panel 5, macrosintética baja

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0584	0,584	4,6	27
3	400	938	0,0584	0,584	9	55
4	600	1 407	0,066	0,66	14	93
5	800	1 876	0,0889	0,889	19	167
6	1 000	2 345	0,107	1,07	23	251
7	1 200	2 815	0,125	1,25	28	352
8	1 400	3 284	0,14	1,4	33	460
9	1 600	3 753	0,15	1,5	37	563
10	1 650	3 870	0,284	2,84	39	1 099
11	950	2 228	0,5	5	22	1 140
12	520	1 220	1	10	12	1 220
13	300	704	2	20	7	1 408
14	210	492	3	30	4	1 476

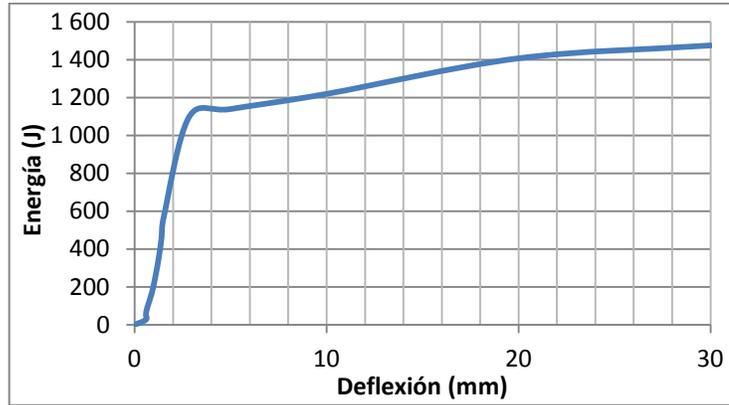
Fuente: elaboración propia.

Figura 80. Gráfica carga-deflexión panel 5, macrosintética baja



Fuente: elaboración propia.

Figura 81. **Gráfica energía–deflexión panel 5, macrosintética baja**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 46,233x$

$f(x) = 357x - 148,83$

$$\int_0^{0,584} (46,233x)dx$$

$$\int_{0,584}^{0,889} (357x - 148,83)dx$$

46,233	23,1165	0,341	7,88
			<u>34,75</u>
			Σ 42,63 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 42,63 J.

Área a flexocompresión $f(x) = -100,78 x^2 + 865,09 x - 543,34$

$$\int_{0,889}^{2,84} (-613,66x^3 + 2747,9x^2 - 3345,5x + 1403,6)dx$$

-100,78	-33,5933	22,91	-769,62	-100,78	-33,59333	0,702	-23,58
865,09	432,545	8,06	3486,31	865,09	432,545	0,79	341,71
-543,34	-543,34	2,84	<u>-1543,09</u>	-543,34	-543,34	0,889	<u>-483,03</u>
			Σ 1173,60 J				Σ -164,90 J

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 1 338,5 J.

$$\text{Área a tensión } f(x) = 18,981x + 1\,045,1$$

$$\int_{2,84}^5 (18,981x + 1\,045,1) dx$$

18,981	9,4905	25	237,26	18,981	9,4905	8,06	76,49
1\,045,1	1\,045,1	5	<u>5\,225,5</u>	1\,045,1	1\,045,1	2,84	<u>2\,968,08</u>
			Σ 5\,462,76 J				Σ 3\,044,58 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 418 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 799,13 J

Promedio de áreas = $3\,799,13/3 = 1\,266,38/10 = 127$ J

Calculando la absorción de energía del panel 5.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0889 \text{ cm} = 7\,934,3 \text{ J}$$

$$7\,934,3 \text{ J}/2 = 3\,967 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$3\,967 \text{ J}/60 = 66 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,4)^2 \rightarrow 0,503 \text{ mm}^2$$

$$X * 0,503 \text{ mm}^2 = 14\,000 \text{ N} \rightarrow X = 27\,833 \text{ N/mm}^2$$

$$14\,000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1\,400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1\,400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto con fibra macrosintética baja $(62,5 + 64 + 51 + 74 + 66)/5 = 63,5$ J

3.5.16. Gráficas del panel 1, concreto y fibra macrosintética media

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (25 toneladas inglesas)= dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{1\ 032 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 469 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{2\ 064 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 938 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{3\ 096 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 1\ 407 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$469 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\ 690 \text{ N} \rightarrow 4,6 \text{ KN}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 9\ 380 \text{ N} \rightarrow 9 \text{ KN}$$

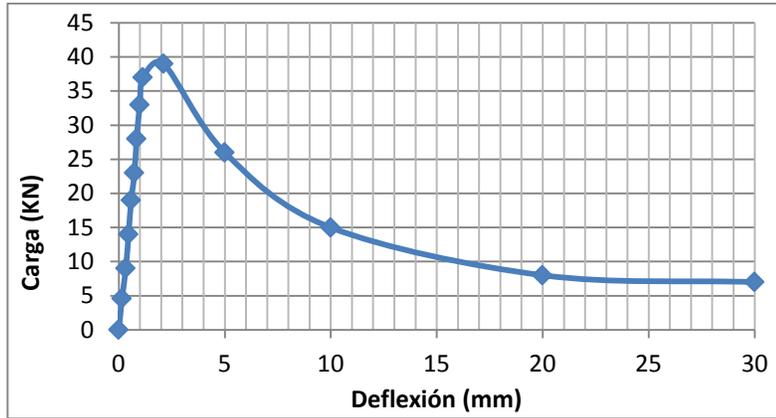
$$1\ 407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 14\ 070 \text{ N} \rightarrow 14 \text{ KN}$$

Tabla XXXVIII. Datos en ensayos panel 1, macrosintética media

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0152	0,152	4,6	7
3	400	938	0,033	0,33	9	31
4	600	1 407	0,046	0,46	14	65
5	800	1 876	0,0584	0,584	19	110
6	1 000	2 345	0,074	0,74	23	174
7	1 200	2 815	0,0838	0,838	28	236
8	1 400	3 284	0,0991	0,991	33	325
9	1 600	3 753	0,1143	1,143	37	429
10	1 650	3 870	0,2108	2,108	39	816
11	1 100	2 580	0,5	5	26	1 290
12	650	1 524	1	10	15	1 524
13	350	821	2	20	8	1 642
14	240	563	3	30	7	1 689

Fuente: elaboración propia.

Figura 82. **Gráfica carga–deflexión panel 1, macrosintética media**



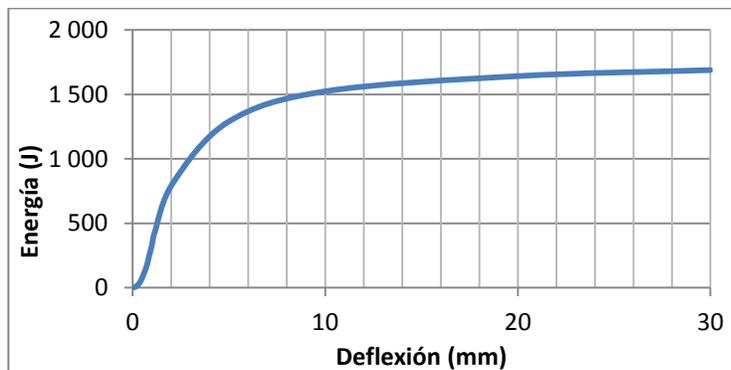
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$469 \text{ Kg}_f * 0,0152 \text{ Cm} = 7 \text{ J}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 0,033 \text{ Cm} = 31 \text{ J}$$

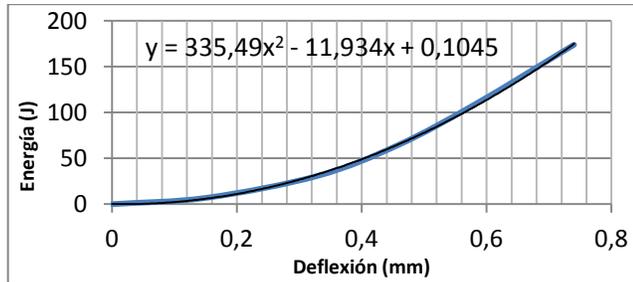
Figura 83. **Gráfica energía–deflexión panel 1, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,74 – 174)

Figura 84. **Área a compresión panel 1, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

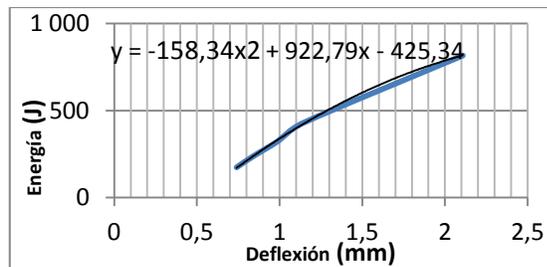
$$f(x) = 335,49x^2 - 11,934x + 0,1045$$

$$\int_0^{0,74} (335,49x^2 - 11,934x + 0,1045) dx$$

335,49	111,83	0,405	45,30
-11,934	-5,967	0,548	-3,27
0,1045	0,05225	0,74	0,04
			Σ 42,06 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 42,06 J.

Figura 85. **Área a flexocompresión panel 1, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = -158,34x^2 + 922,79x - 425,34$$

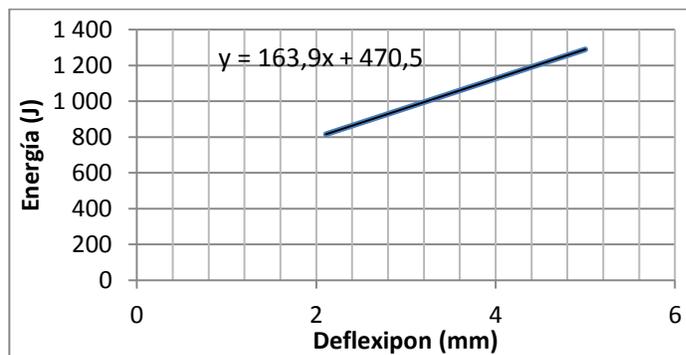
$$\int_{0,74}^{2,108} (-158,34x^2 + 922,79x - 425,34)dx$$

-158,34	-52,78	9,37	-494,55	-158,34	-52,78	0,405	-21,38
922,79	461,395	4,44	2 048,60	922,79	461,395	0,548	252,84
-425,34	-425,34	2,108	<u>-896,62</u>	-425,34	-425,34	0,74	<u>-314,75</u>
			Σ 657,43 J				Σ -83,28 J

$$\text{Promedio} = 657,43 - (-83,28) = 741 \text{ J}$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 741 J

Figura 86. **Área a tensión panel 1, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{2,108}^{5,00} (163,9x + 470,5)dx$$

163,9	81,95	25	2 048,75	163,9	81,95	4,44	363,86
470,5	470,5	5	<u>2 352,5</u>	470,5	470,5	2,108	<u>991,81</u>
			Σ 4 401,25 J				Σ 1 355,67 J

$$\text{Promedio} = 4 401,25 - 1 355,67 = 3 045,58 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 045,58 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 828,68 J

Promedio de áreas = 3 828,68/3 = 1 276/10 = 128 J

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89 250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89 250 \text{ Kg}_f * 0,074 \text{ cm} = 6 604,5 \text{ J}$$

$$7 497 \text{ J}/2 = 3 302,25 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$3 302,25 \text{ J}/60 = 55 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,4)^2 \rightarrow 0,503 \text{ mm}^2$$

$$X * 0,503 \text{ mm}^2 = 14 000 \text{ N} \rightarrow X = 27 833 \text{ N/mm}^2$$

$$14 000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1 400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1 400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

3.5.17. Gráficas del panel 2, fibra macrosintética media

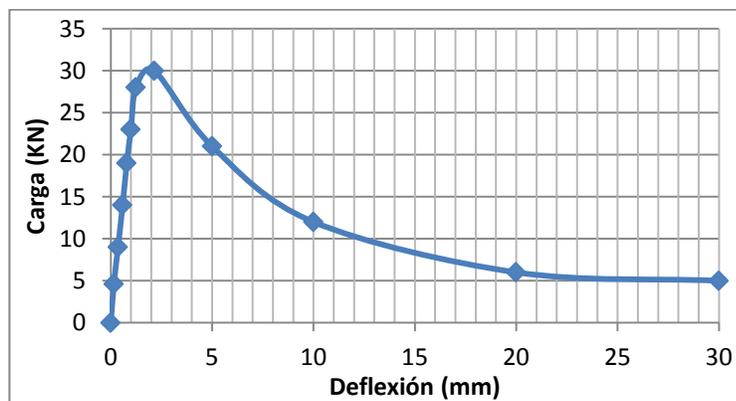
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla XXXIX. Datos en ensayos panel 2, macrosintética media

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0152	0,152	4,6	7
3	400	938	0,0356	0,356	9	33
4	600	1 407	0,0584	0,584	14	82
5	800	1 876	0,0787	0,787	19	148
6	1 000	2 345	0,0991	0,991	23	232
7	1 200	2 815	0,124	1,24	28	349
8	1 300	3 049	0,214	2,14	30	652
9	900	2 111	0,5	5	21	1 055
10	500	1 173	1	10	12	1 173
11	280	657	2	20	6	1 314
12	220	516	3	30	5	1 548

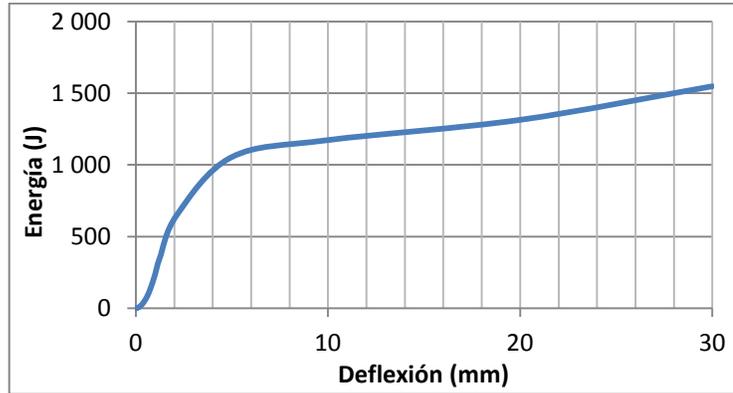
Fuente: elaboración propia.

Figura 87. Gráfica carga-deflexión panel 2, macrosintética media



Fuente: elaboración propia.

Figura 88. Gráfica energía–deflexión panel 2, macrosintética media



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 225,14x^2 + 10,18x + 0,1823$

$$\int_0^{0,787} (225,14x^2 + 10,18x + 0,1823)dx$$

225,14	75,05	0,487	36,55
10,18	5,09	0,619	3,15
0,1823	0,1823	0,787	<u>0,14</u>
			$\Sigma 39,84 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 39,84 J.

Área a flexocompresión $f(x) = -74,474x^2 + 593,05x - 275,77$

$$\int_{0,787}^{2,14} (-74,474x^2 + 593,05x - 275,77)dx$$

-74,474	-24,8247	9,8	-243,28	-74,474	-24,82467	0,487	-12,09
593,05	296,525	4,58	1 358,08	593,05	296,525	0,619	183,55
-275,77	-275,77	2,14	<u>-590,15</u>	-275,77	-275,77	0,787	<u>-217,03</u>
			$\Sigma 524,65 \text{ J}$				$\Sigma -45,57 \text{ J}$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 570,22 J

Área a tensión $f(x) = 140,91x + 350,45$

$$\int_{2,14}^{5,00} (140,91x + 350,45)dx$$

140,91	70,455	25	1 761,38	140,91	70,455	4,58	322,68
350,45	350,45	5	<u>1 752,25</u>	350,45	350,45	2,14	<u>749,96</u>
			Σ 3 513,63 J				Σ 1 072,65 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 441 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 051 J

Promedio de áreas = $3\ 051/3 = 1\ 017/10 = 102$ J

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\ 250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\ 250 \text{ Kg}_f * 0,0787 \text{ cm} = 7\ 024 \text{ J}$$

$$7\ 024 \text{ J}/2 = 3\ 512 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$3\ 512 \text{ J}/60 = 58,5 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$14\ 000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1\ 400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1\ 400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

3.5.18. Gráficas del panel 3, fibra macrosintética media

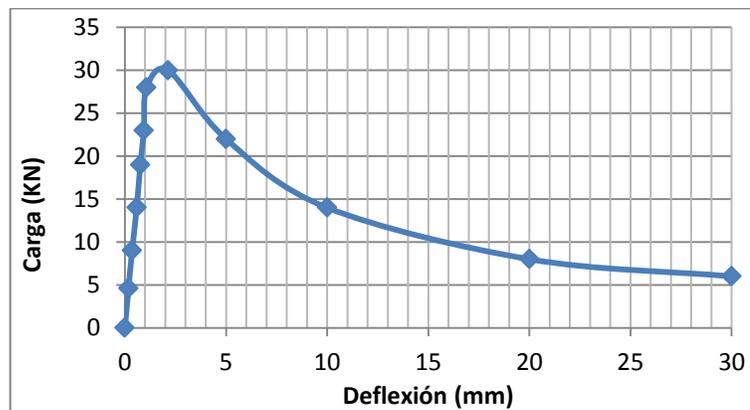
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XL. Datos en ensayos panel 3, macrosintética media

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0178	0,178	4,6	8
3	400	938	0,0356	0,356	9	33
4	600	1 407	0,0584	0,584	14	82
5	800	1 876	0,0762	0,762	19	143
6	1 000	2 345	0,094	0,94	23	220
7	1 200	2 815	0,107	1,07	28	300
8	1 400	3 049	0,214	2,14	30	652
9	950	2 228	0,5	5	22	1 114
10	630	1 478	1	10	14	1 478
11	350	821	2	20	8	1 642
12	240	563	3	30	6	1 689

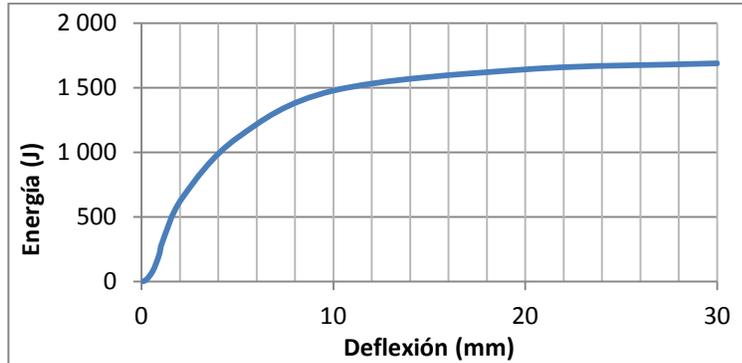
Fuente: elaboración propia.

Figura 89. Gráfica carga–deflexión panel 3, macrosintética media



Fuente: elaboración propia.

Figura 90. **Gráfica energía–deflexión panel 3, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 242,32x^2 + 1,7204x + 0,2052$

$$\int_0^{0,762} (242,32x^2 + 1,7204x + 0,2052)dx$$

242,32	80,773333	0,442	35,70
1,7204	0,8602	0,581	0,50
0,2052	0,2052	0,762	<u>0,16</u>
			$\Sigma 36,36 \text{ J}$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 36,36 J.

Área a flexocompresión $f(x) = -119,2x^2 + 718,29x - 339,09$

$$\int_{0,762}^{2,14} (-119,2x^2 + 718,29x - 339,09)dx$$

-119,2	-39,7333	9,8	-389,39	-119,2	-39,73333	0,442	-17,56
718,29	359,145	4,6	1 652,07	718,29	359,145	0,58	208,30
-339,09	-339,09	2,14	<u>-725,65</u>	-339,09	-339,09	0,762	<u>-258,39</u>
			$\Sigma 537,03 \text{ J}$				$\Sigma -67,64 \text{ J}$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 604,66 J

Área a tensión $f(x) = 161,54x + 306,31$

$$\int_{2,14}^{5,00} (161,54x + 306,31)dx$$

161,54	80,77	25	2 019,25	161,54	80,77	4,58	369,93
306,31	306,31	5	<u>1 531,55</u>	306,31	306,31	2,14	<u>655,50</u>
			Σ 3 550,8 J				Σ 1 025,43 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 525,37 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 166 J

Promedio de áreas = $3\ 166/3 = 1\ 055/10 = 105,5$ J

Calculando la absorción de energía del panel 3.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\ 250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\ 250 \text{ Kg}_f * 0,0762 \text{ cm} = 6\ 801 \text{ J}$$

$$6\ 801 \text{ J}/2 = 3\ 400,5 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$3\ 400,5 \text{ J}/60 = 57 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$14\ 000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1\ 400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1\ 400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

3.5.19. Gráficas del panel 4, fibra macrosintética media

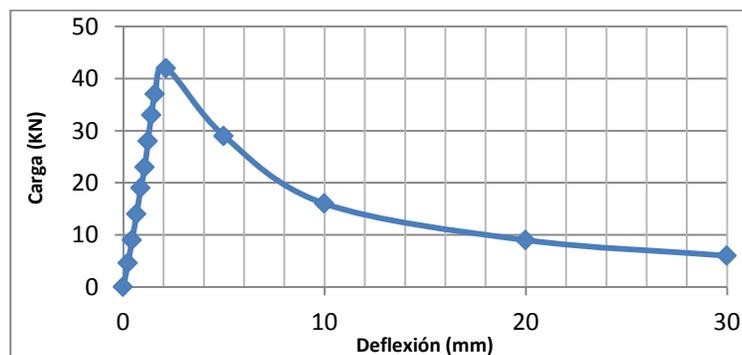
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XLI. Datos en ensayos panel 4, macrosintética media

Núm. de presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,023	0,23	4,6	11
3	400	938	0,0432	0,432	9	41
4	600	1 407	0,066	0,66	14	93
5	800	1 876	0,0864	0,864	19	162
6	1 000	2 345	0,1067	1,067	23	250
7	1 200	2 815	0,122	1,22	28	343
8	1 400	3 284	0,1397	1,397	33	459
9	1 600	3 753	0,1575	1,575	37	591
10	1 800	4 222	0,213	2,13	42	899
11	1 230	2 885	0,5	5	29	1 442
12	670	1 571	1	10	16	1 571
13	380	891	2	20	9	1 782
14	260	610	3	30	6	1 830

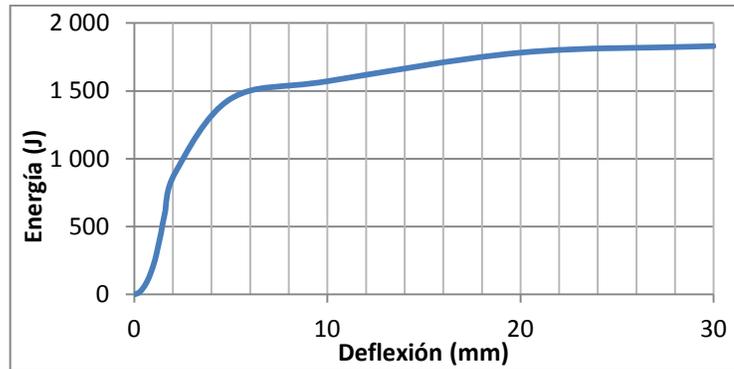
Fuente: elaboración propia.

Figura 91. Gráfica carga-deflexión panel 4, macrosintética media



Fuente: elaboración propia.

Figura 92. Gráfica energía–deflexión panel 4, macrosintética media



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $f(x) = 218,4x^2 - 1,7228x + 0,0577$

$$\int_0^{0,864} (218,4x^2 - 1,7228x + 0,0577)dx$$

218,4	72,8	0,645	46,96
-1,7228	-0,8614	0,746	-0,64
0,0577	0,0577	0,864	<u>0,050</u>
			Σ 46,36 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 46,36 J.

Área a flexocompresión $f(x) = -342,97x^3 + 1\,532,7x^2 - 1\,563,7x + 590,23$

$$\int_{0,864}^{2,13} (-342,97x^3 + 1\,532,7x^2 - 1\,563,7x + 590,23)dx$$

-342,97	-85,74	20,58	-1\,764,58	-342,97	-85,74	0,557	-47,76
1\,532,7	510,9	9,66	4\,935,29	1\,532,7	510,9	0,645	329,53
-1\,563,7	-781,85	4,54	-3\,549,60	-1\,563,7	-781,85	0,746	-583,26
590,23	590,23	2,13	<u>1\,257,19</u>	590,23	590,23	0,864	<u>509,96</u>
			Σ 878,30 J				Σ 208,47 J

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 670 J

Área a tensión $f(x) = 189,2x + 496,01$

$$\int_{2,13}^{5,00} (189,2x + 496,01)dx$$

189,2	94,6	25	2365	189,2	94,6	4,54	429,484
496,01	496,01	5	<u>2 480,05</u>	496,01	496,01	2,13	<u>1 056,501</u>
			Σ 4 845,05 J				Σ 1 485,985 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 359 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 4 075 J

Promedio de áreas = $4\ 075/3 = 1\ 358/10 = 136$ J

Calculando la absorción de energía del panel 4.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\ 250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\ 250 \text{ Kg}_f * 0,0864 \text{ cm} = 7\ 711 \text{ J}$$

$$7\ 711 \text{ J}/2 = 3\ 856 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$3\ 856 \text{ J}/60 = 64 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$14\ 000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1\ 400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1\ 400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

3.5.20. Gráficas del panel 5, fibra macrosintética media

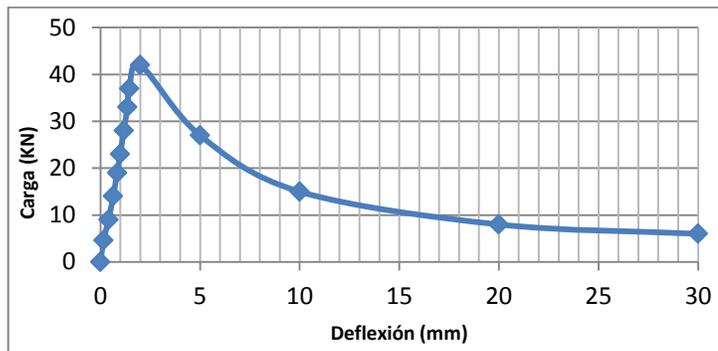
Promediando los cinco paneles con macrosintética media, se obtendrá la absorción de energía que se busca en los últimos cálculos del panel cinco.

Tabla XLII. Datos en ensayos panel 5, macrosintética media

No. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0152	0,152	4,6	7
3	400	938	0,0406	0,406	9	38
4	600	1 407	0,0635	0,635	14	89
5	800	1 876	0,0838	0,838	19	157
6	1 000	2 345	0,0991	0,991	23	232
7	1 200	2 815	0,117	1,17	28	329
8	1 400	3 284	0,135	1,35	33	443
9	1 600	3 753	0,145	1,45	37	544
10	1 800	4 222	0,2	2	42	844
11	1 150	2 697	0,5	5	27	1 348
12	650	1 524	1	10	15	1 524
13	360	844	2	20	8	1 688
14	260	610	3	30	6	1 830

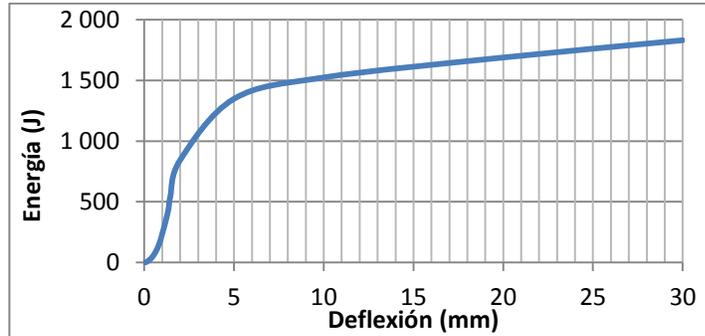
Fuente: elaboración propia.

Figura 93. Gráfica carga-deflexión panel 5, macrosintética media



Fuente: elaboración propia.

Figura 94. **Gráfica energía–deflexión panel 5, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{0,838} (219,57x^2 + 1,7667x + 0,683)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 21,36 J.

Área flexocompresión $\int_{0,838}^{2,00} (-454,22x^3 + 1914,3x^2 - 1947,1x + 715,38)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 589,20 J

Área a tensión $\int_{2,00}^{5,00} (168x + 508)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 288 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 899 J

Promedio de áreas = $3\ 899/3 = 1\ 300/10 = 130\ J$

Calculando la absorción de energía del panel 5.

Energía = $89\ 250\ Kg_f \cdot 0,0838\ cm = 7\ 479\ J$

$7\ 479\ J/2 = 3\ 739,5\ J$

$3\ 739,5\ J/60 = 62\ J \rightarrow$ Energía de fibra macrosintética = 77 J

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto con fibra macrosintética media $(55 + 58,5 + 57 + 64 + 62)/5 = 59\ J$

3.5.21. Gráficas del panel 1, concreto con fibra macrosintética alta

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (25 toneladas inglesas)= dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{1\ 032 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 469 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{2\ 064 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 938 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{3\ 096 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 1\ 407 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$469 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\ 690 \text{ N} \rightarrow 4,6 \text{ KN}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 9\ 380 \text{ N} \rightarrow 9 \text{ KN}$$

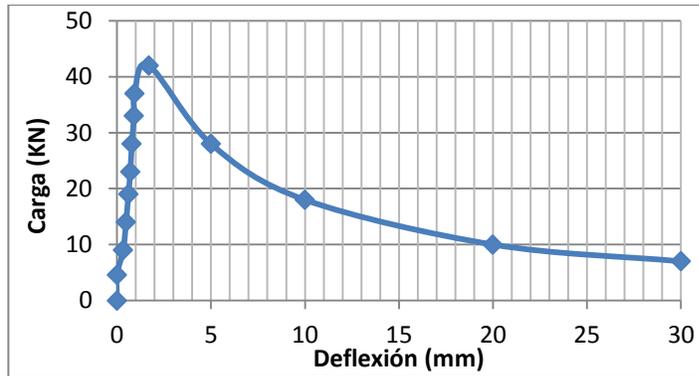
$$1\ 407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 14\ 070 \text{ N} \rightarrow 14 \text{ KN}$$

Tabla XLIII. Datos en ensayos panel 1, macrosintética alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0	0	4,6	0
3	400	938	0,033	0,33	9	31
4	600	1 407	0,0483	0,483	14	68
5	800	1 876	0,061	0,61	19	114
6	1 000	2 345	0,0711	0,711	23	167
7	1 200	2 815	0,079	0,79	28	222
8	1 400	3 284	0,091	0,91	33	299
9	1 600	3 753	0,094	0,94	37	353
10	1 800	4 222	0,17	1,7	42	718
11	1 200	2 814	0,5	5	28	1 407
12	780	1 829	1	10	18	1 829
13	420	985	2	20	10	1 970
14	290	680	3	30	7	2 040

Fuente: elaboración propia.

Figura 95. **Gráfica carga–deflexión panel 1, macrosintética alta**



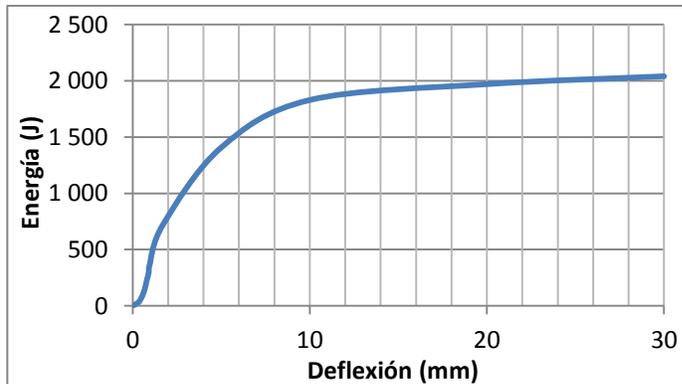
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$469 \text{ Kg}_f * 0,00 \text{ Cm} = 0 \text{ J}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 0,033 \text{ Cm} = 31 \text{ J}$$

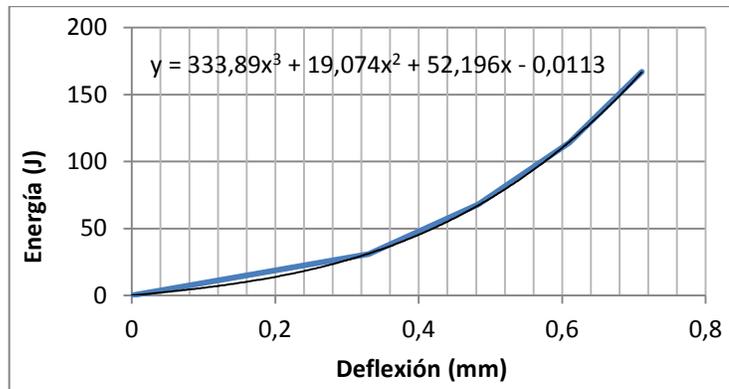
Figura 96. **Gráfica energía–deflexión panel 1, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,711 – 167)

Figura 97. **Área a compresión panel 1, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación de integración definida para ecuaciones continuas en un intervalo cerrado.

$$\int_a^b f(x) dx$$

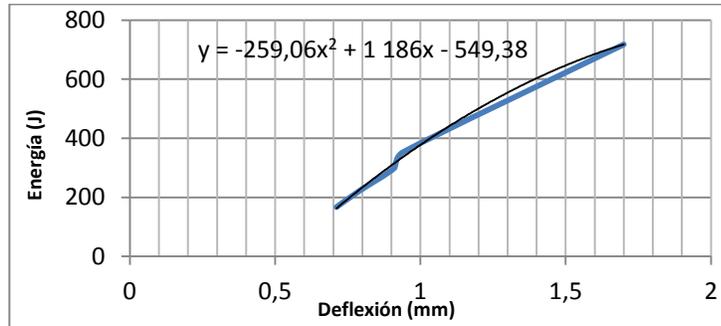
$$f(x) = 333,89x^3 + 19,074x^2 + 52,196x - 0,0113$$

$$\int_0^{0,711} (333,89x^3 + 19,074x^2 + 52,196x - 0,0113) dx$$

333,89	83,4725	0,255	21,29
19,074	6,358	0,359	2,28
52,196	26,098	0,505	13,18
-0,0113	-0,0113	0,711	<u>-0,01</u>
			Σ36,74 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 36,74 J.

Figura 98. **Área a flexocompresión panel 1, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

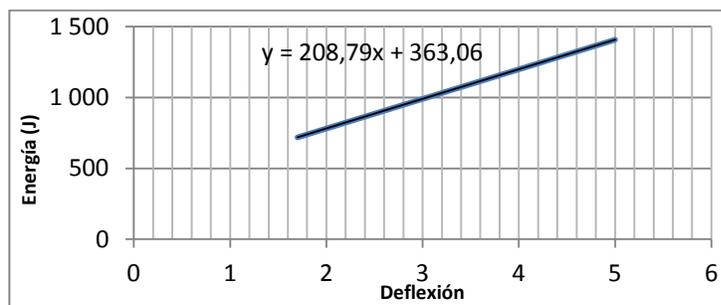
$$f(x) = -259,06x^2 + 1\,186x - 549,38$$

$$\int_{0,711}^{1,7} (-259,06x^2 + 1\,186x - 549,38)dx$$

-259,06	-86,35	4,913	-424,25	-259,06	-86,35	0,36	-31,09
1 186	593	2,89	1 713,77	1 186	593	0,505	299,47
-549,38	-549,38	1,7	<u>-933,95</u>	-549,38	-549,38	0,711	<u>-390,61</u>
			Σ 355,57 J				Σ -122,23 J

$$\text{Promedio} = 355,57 - (-122,23) = 478 \text{ J}$$

Figura 99. **Área a tensión panel 1, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

$$\int_{1,7}^{5,00} (208,79x + 363,06) dx$$

208,79	104,395	25	2 609,88	208,79	104,395	2,89	301,70
363,06	363,06	5	<u>1 815,3</u>	363,06	363,06	1,7	<u>617,20</u>
			Σ 4 425,18 J				Σ 918,90 J

Promedio = 4 425,18 – 918,90 = 3 506,27 J

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 506,27 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 4 021 J

Promedio de áreas = 4 021/3 = 1 340/10 = 134 J

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{Comp}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89 250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89 250 \text{ Kg}_f * 0,0711 \text{ cm} = 6 346 \text{ J}$$

$$6 346 \text{ J}/2 = 3 173 \text{ J}$$

Dividido por la unidad de longitud.

$$3 173 \text{ J}/60 = 53 \text{ J}$$

Energía de fibra macrosintética

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,4)^2 \rightarrow 0,503 \text{ mm}^2$$

$$X * 0,503 \text{ mm}^2 = 14 000 \text{ N} \rightarrow X = 27 833 \text{ N/mm}^2$$

$$14 000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 1 400 \text{ Kg}_f \rightarrow 1 400 \text{ Kg}_f * 0,055 \text{ m} = 77 \text{ J}$$

3.5.22. Gráficas del panel 2, fibra macrosintética alta

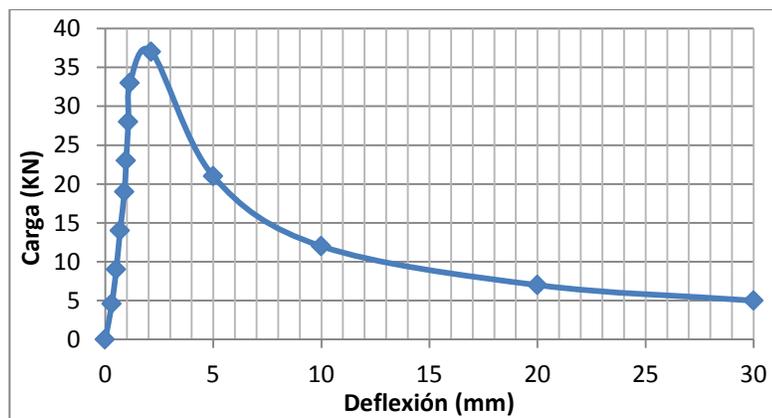
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla XLIV. Datos en ensayos panel 2, macrosintética alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0306	0,306	4,6	14
3	400	938	0,0508	0,508	9	48
4	600	1 407	0,0686	0,686	14	96
5	800	1 876	0,0889	0,889	19	167
6	1 000	2 345	0,0965	0,965	23	226
7	1 200	2 815	0,107	1,07	28	301
8	1 400	3 284	0,1143	1,143	33	375
9	1 600	3 753	0,2134	2,134	37	801
10	920	2 158	0,5	5	21	1 079
11	500	1 173	1	10	12	1 173
12	290	680	2	20	7	1 360
13	210	492	3	30	5	1 476

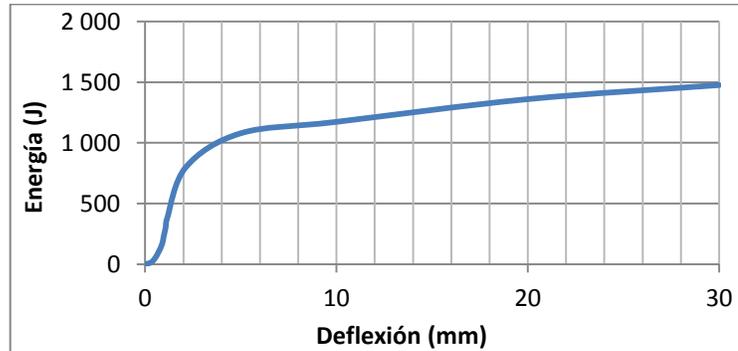
Fuente: elaboración propia.

Figura 100. Gráfica carga-deflexión panel 2, macrosintética alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 101. **Gráfica energía–deflexión panel 2, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión

$$\int_0^{0,889} (-150,60x^4 + 263,1x^3 + 103,53x^2 - 6,2454x - 2E - 10)dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 46,142 J.

Área flexocompresión $\int_{0,889}^{2,134} (489,6x - 233,2)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 631 J

Área a tensión $\int_{2,134}^{5,00} (96,999x + 594)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 694,02 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 371,16 J

Promedio de áreas = $3\ 371,16/3 = 1\ 123,72/10 = 112,37\ J$

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$\text{Energía} = 89\ 250\ \text{Kg}_f \cdot 0,0889\ \text{cm} = 7\ 934,32\ \text{J}$$

$$7\ 934,32\ \text{J}/2 = 3\ 967,16\ \text{J}$$

$$3\ 967,16\ \text{J}/60 = 66\ \text{J}$$

Energía de fibra macrosintética = 77 J

3.5.23. Gráficas del panel 3, fibra macrosintética alta

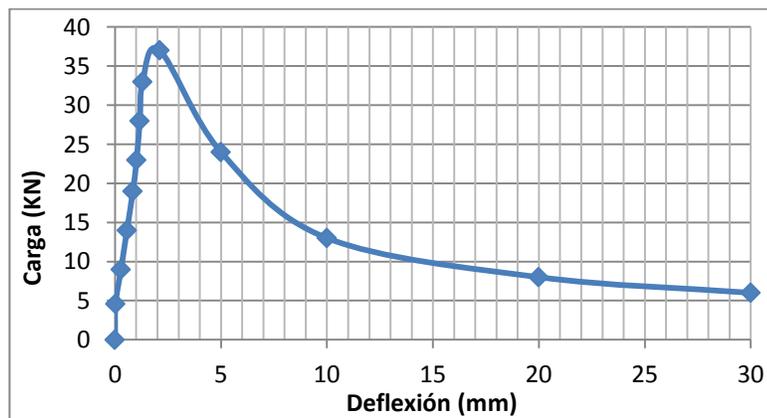
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XLV. Datos en ensayos panel 3, macrosintética alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0025	0,025	4,6	1
3	400	938	0,028	0,28	9	26
4	600	1 407	0,056	0,56	14	79
5	800	1 876	0,084	0,84	19	157
6	1 000	2 345	0,1016	1,016	23	238
7	1 200	2 815	0,1168	1,168	28	329
8	1 400	3 284	0,13	1,3	33	427
9	1 600	3 753	0,211	2,11	37	792
10	1 020	2 392	0,5	5	24	1 196
11	550	1 290	1	10	13	1 290
12	350	821	2	20	8	1 642
13	250	586	3	30	6	1 758

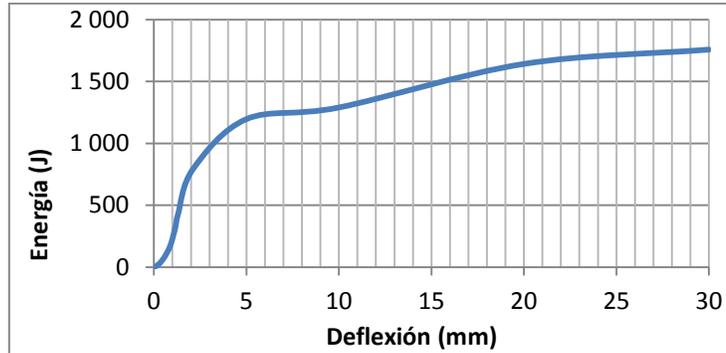
Fuente: elaboración propia.

Figura 102. Gráfica carga-deflexión panel 3, macrosintética alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 103. **Gráfica energía–deflexión panel 3, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{0,84} (-15,39x^3 + 184,98x^2 + 42,474x - 0,0811)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 49,5735 J.

Área flexocompresión $\int_{0,84}^{2,11} (-80,792x^2 + 746,89x - 423,13x)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 625,79 J

Área a tensión $\int_{2,11}^{5,00} (139,79x + 497,04)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 872,80 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 448,16 J

Promedio de áreas = $3\ 448,16/3 = 1\ 149,39$ J

Calculando la absorción de energía del panel 3.

Energía = $89\ 250\ Kg_f * 0,084\ cm = 7\ 497\ J$

$7\ 497\ J/2 = 3\ 748,5\ J$

$3\ 748,5\ J/60 = 62,5\ J$

Energía de fibra macrosintética = 77 J

3.5.24. Gráficas del panel 4, fibra macrosintética alta

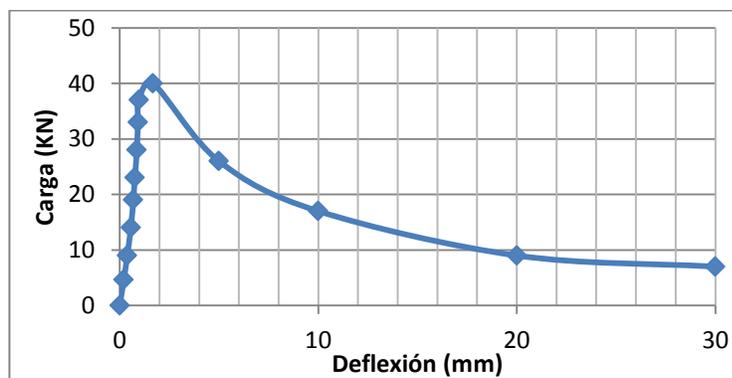
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla XLVI. Datos en ensayos panel 4, macrosintética alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0203	0,203	4,6	10
3	400	938	0,0381	0,381	9	36
4	600	1 407	0,056	0,56	14	79
5	800	1 876	0,0686	0,686	19	129
6	1 000	2 345	0,0762	0,762	23	179
7	1 200	2 815	0,0864	0,864	28	243
8	1 400	3 284	0,0914	0,914	33	300
9	1 600	3 753	0,0965	0,965	37	362
10	1 700	3 987	0,168	1,68	40	670
11	1 100	2 580	0,5	5	26	1 290
12	720	1 689	1	10	17	1 689
13	400	938	2	20	9	1 876
14	290	680	3	30	7	2 040

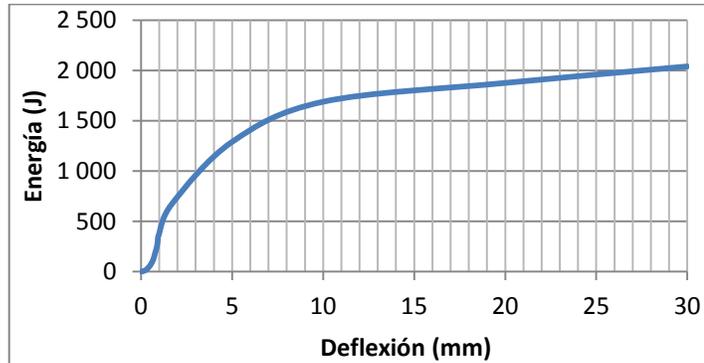
Fuente: elaboración propia.

Figura 104. Gráfica carga–deflexión panel 4, macrosintética alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 105. **Gráfica energía–deflexión panel 4, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión

$$\int_0^{0,762} (2\,630,1x^5 - 4\,084,7x^4 + 2\,311,5x^3 - 304,93x^2 + 45,61x + 3E - 09)dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 39,0302 J.

Área flexocompresión $\int_{0,762}^{1,68} (-457,33x^2 + 1\,662,8x - 832,45x)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 442,11 J

Área a tensión $\int_{1,68}^{5,00} (186,75x + 356,27)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 253,87 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 735 J

Promedio de áreas = $3\,735/3 = 1\,245/10 = 124,5$ J

Calculando la absorción de energía del panel 4.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f \cdot 0,0762 \text{ cm} = 6\,801 \text{ J}$$

$$6\,801 \text{ J}/2 = 3\,400,5 \text{ J}$$

$$3\,400,5 \text{ J}/60 = 57 \text{ J} \rightarrow \text{Energía de fibra macrosintética} = 77 \text{ J}$$

3.5.25. Gráficas del panel 5, fibra macrosintética alta

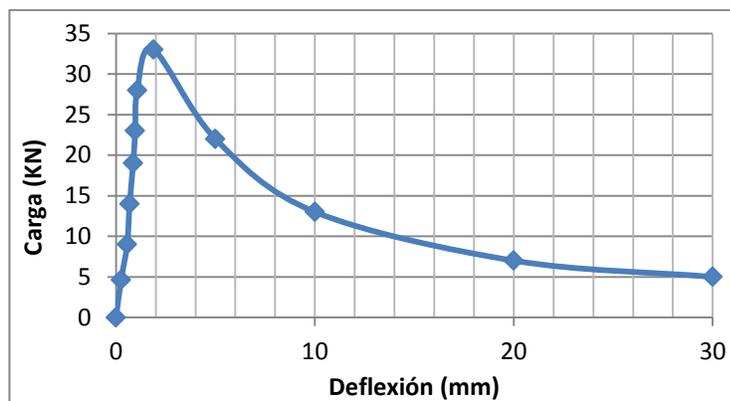
Promediando los cinco paneles con macrosintética alta, se obtendrá la absorción de energía que se busca en los últimos cálculos del panel cinco.

Tabla XLVII. Datos en ensayos panel 5, macrosintética alta

No. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0254	0,254	4,6	12
3	400	938	0,056	0,56	9	52
4	600	1 407	0,0686	0,686	14	96
5	800	1 876	0,0864	0,864	19	162
6	1 000	2 345	0,0965	0,965	23	226
7	1 200	2 815	0,1067	1,067	28	300
8	1 400	3 284	0,188	1,88	33	597
9	960	2 251	0,5	5	22	1 125
10	560	1 313	1	10	13	1 313
11	290	680	2	20	7	1 360
12	210	492	3	30	5	1 476

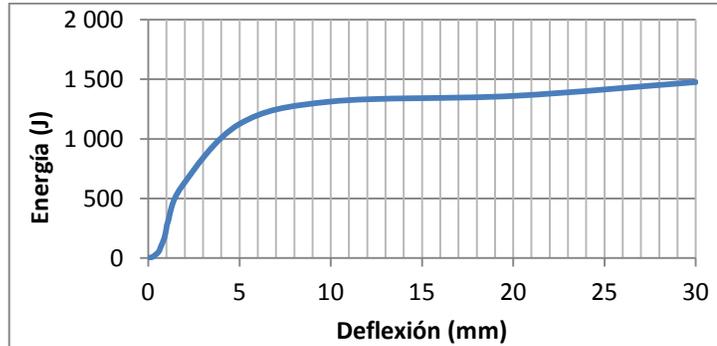
Fuente: elaboración propia.

Figura 106. Gráfica carga–deflexión panel 5, macrosintética alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 107. **Gráfica energía–deflexión panel 5, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

Área compresión $\int_0^{0,864} (155,78x^3 + 68,299x^2 + 12,974x + 0,3412)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 41,5107 J.

Área flexocompresión $\int_{0,864}^{1,818} (-290,89x^2 + 1\,238,6x - 693,3)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 442,11 J

Área a tensión $\int_{1,818}^{5,00} (165,93x + 295,33)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 740 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 182,5 J

Promedio de áreas = $3\,182,5/3 = 1\,060,8/10 = 106\,8$ J

Calculando la absorción de energía del panel 5.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f \cdot 0,0864 \text{ cm} = 7\,711,2 \text{ J}$$

$$7\,711,2 \text{ J}/2 = 3\,855,6 \text{ J}$$

$$3\,855,6 \text{ J}/60 = 64 \text{ J} \rightarrow \text{Energía de fibra macrosintética} = 77 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto con fibra macrosintética alta $(53 + 66 + 62,5 + 57 + 64)/5 = 60,5$ J.

3.5.26. Gráficas del panel 1, fibra metálica baja

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (25 toneladas inglesas)= dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{1\ 032 \text{ Lbs} * 1 \text{ kgf}}{2,2 \text{ Lbs}} = 469 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{2\ 064 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 938 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{3\ 096 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 1\ 407 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$469 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\ 690 \text{ N} \rightarrow 4,6 \text{ KN}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 9\ 380 \text{ N} \rightarrow 9 \text{ KN}$$

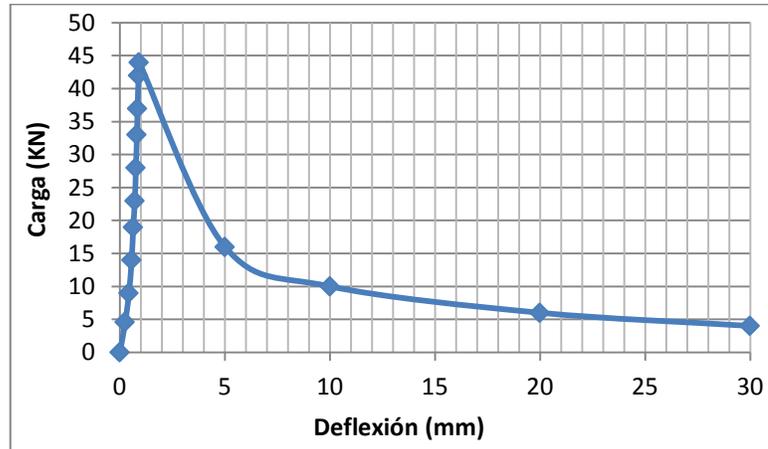
$$1\ 407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 14\ 070 \text{ N} \rightarrow 14 \text{ KN}$$

Tabla XLVIII. Datos calculados en ensayos panel 1, metálica baja

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0254	0,254	4,6	12
3	400	938	0,0432	0,432	9	41
4	600	1 407	0,0559	0,559	14	79
5	800	1 876	0,0635	0,635	19	119
6	1 000	2 345	0,0711	0,711	23	167
7	1 200	2 815	0,0762	0,762	28	215
8	1 400	3 284	0,0813	0,813	33	267
9	1 600	3 753	0,084	0,84	37	315
10	1 800	4 222	0,089	0,89	42	376
11	1 900	4 456	0,091	0,91	44	405
12	700	1 641	0,5	5	16	821
13	425	1 000	1	10	10	1 000
14	250	586	2	20	6	1 173
15	175	410	3	30	4	1 231

Fuente: elaboración propia.

Figura 108. **Gráfica carga–deflexión panel 1, metálica baja**



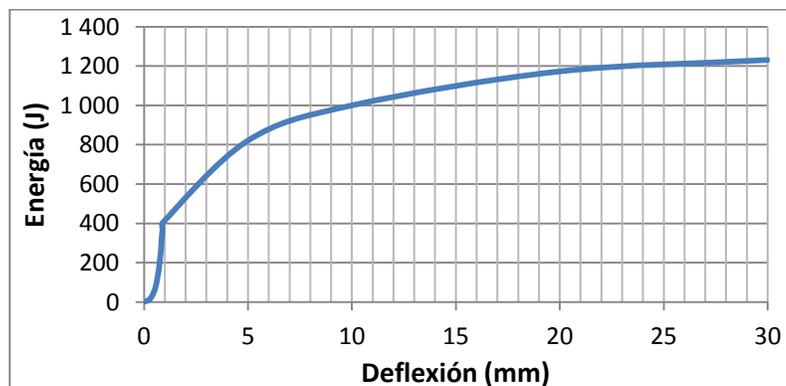
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$469 \text{ Kg}_f * 0,0254 \text{ Cm} = 12 \text{ J}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 0,0432 \text{ Cm} = 41 \text{ J}$$

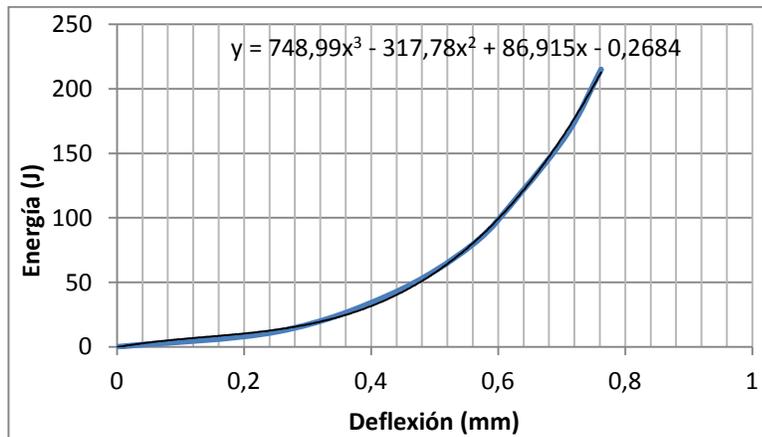
Figura 109. **Gráfica energía–deflexión panel 1, metálica baja**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,762 – 215)

Figura 110. **Área a compresión panel 1, metálica baja**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación de integración definida para ecuaciones continuas en un intervalo cerrado.

$$\int_a^b f(x) dx$$

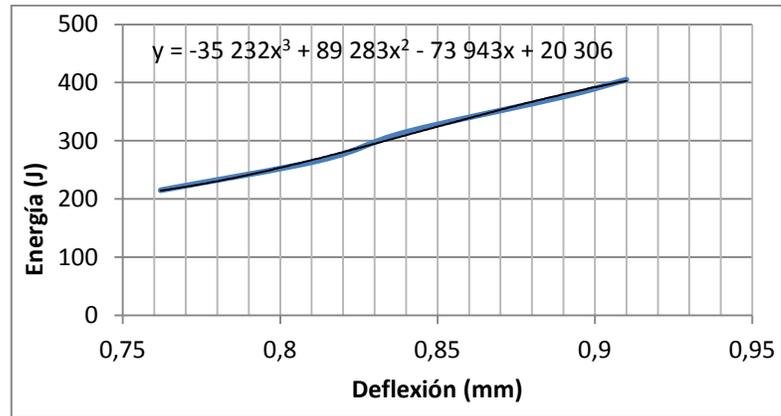
$$f(x) = 748,99x^3 - 317,78x^2 + 86,915x - 0,2684$$

$$\int_0^{0,762} (748,99x^3 - 317,78x^2 + 86,915x - 0,2684) dx$$

748,99	187,25	0,3336	62,47
-317,78	-105,93	0,439	-46,50
86,915	43,4575	0,5776	25,10
-0,2684	-0,2684	0,76	<u>-0,20</u>
			Σ 40,86 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 40,86 J.

Figura 111. Área a flexocompresión panel 1, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = -35\,232x^3 + 89\,283x^2 - 73\,943x + 20\,306$$

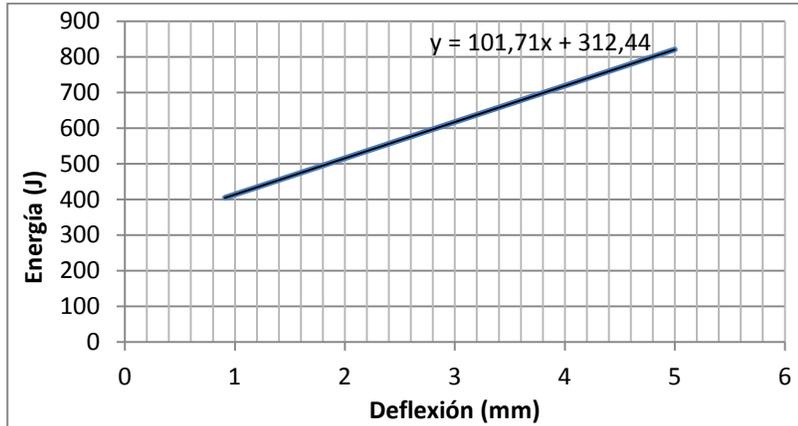
$$\int_{0,762}^{0,91} (-35\,232x^3 + 89\,283x^2 - 73\,943x + 20\,306)dx$$

-35 232	-8 808	0,6857	-6 039,65	-35 232	-8 808	0,3336	-2 938,35
89 283	29 761	0,7536	22 427,89	89 283	29 761	0,439	13 065,08
-73 943	-36 971,5	0,8281	-30 616,1	-73 943	-36 971,5	0,5776	-21 354,7
20 306	20 306	0,91	<u>18 478,46</u>	20 306	20 306	0,76	<u>15 432,56</u>
			Σ 4 250,60 J				Σ 4 204,55 J

$$\text{Promedio} = 4\,250,60 - 4\,204,55 = 46,05 \text{ J}$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 46,05 J

Figura 112. Área a tensión panel 1, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = 101,71x + 312,44$$

$$\int_{0,91}^{5,00} (101,71x + 312,44) dx$$

101,71	50,855	25	1 271,38	101,71	50,855	0,8281	42,11
312,44	312,67	5	<u>1 563,35</u>	312,44	312,67	0,91	<u>284,53</u>
			Σ 2 834,73 J				Σ 326,64 J

$$\text{Promedio} = 2\ 834,73 - 326,64 = 2\ 508,08\ \text{J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 508,08 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 2 595 J

Promedio de áreas = $2\ 595/3 = 865/10 = 86,5\ \text{J}$

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$
$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0762 \text{ cm} = 6\,800,85 \text{ J}$$

$$6\,800,85 \text{ J}/2 = 3\,400,43 \text{ J}$$

Dividiendo por la unidad de longitud

$$3\,400,43 \text{ J}/60 = 57 \text{ J}$$

Energía de fibra metálica

$$A = \pi(0,25)^2 = 0,20 \text{ mm}^2$$

$$1\,200 \text{ N/mm}^2 * 0,20 \text{ mm}^2 = 240 \text{ N}$$

$$240 \text{ N} * 0,1 \text{ Kg} = 24 \text{ Kg}_f$$

$$24 \text{ Kg}_f * 3 \text{ cm} = 72 \text{ J}$$

3.5.27. Gráficas del panel 2, fibra metálica baja

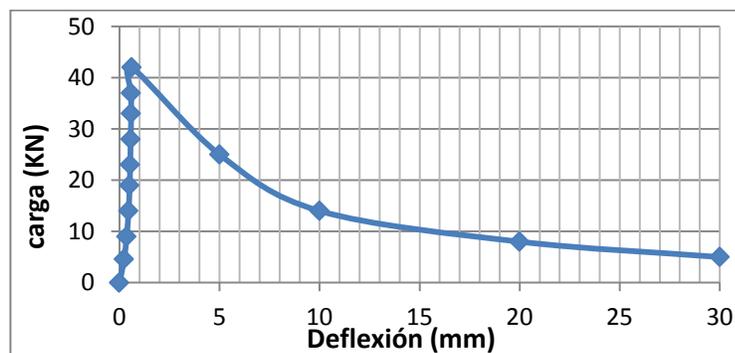
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla XLIX. Datos calculados en ensayos panel 2, metálica baja

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía J
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0229	0,229	4,6	11
3	400	938	0,0356	0,356	9	33
4	600	1 407	0,0455	0,455	14	64
5	800	1 876	0,0508	0,508	19	95
6	1 000	2 345	0,0533	0,533	23	125
7	1 200	2 815	0,0559	0,559	28	157
8	1 400	3 284	0,0584	0,584	33	191
9	1 600	3 753	0,0584	0,584	37	219
10	1 800	4 222	0,061	0,61	42	258
11	1 642	2 500	0,5	5	25	1 250
12	600	1 407	1	10	14	1 407
13	350	821	2	20	8	1 642
14	245	575	3	30	5	1 725

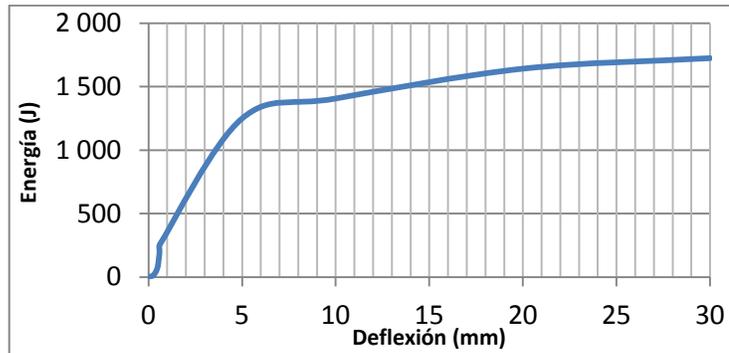
Fuente: elaboración propia.

Figura 113. Gráfica carga-deflexión panel 2, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

Figura 114. **Gráfica energía–deflexión panel 2, metálica dosis baja**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión

$$\int_0^{0,559} (25\,436x^5 - 28\,463x^4 + 11\,407x^3 - 1\,563,6x^2 + 79,667x + 0,0006) dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 18,2092 J.

Área flexocompresión $\int_{0,559}^{0,61} (1\,981x - 951,13) dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 10,53 J

Área a tensión $\int_{0,61}^{5,00} (225,97x + 120,16) dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 310,09 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 339 J

Promedio de áreas = $3\,339/3 = 1\,113/10 = 111,3$ J

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f \cdot 0,0559 \text{ cm} = 4\,989,075 \text{ J}$$

$$4\,989,075 \text{ J}/2 = 2\,494,538 \text{ J}$$

$$2\,494,538 \text{ J}/60 = 42 \text{ J} \rightarrow \text{Energía de fibra metálica} = 72 \text{ J}$$

3.5.28. Gráficas del panel 3, fibra metálica baja

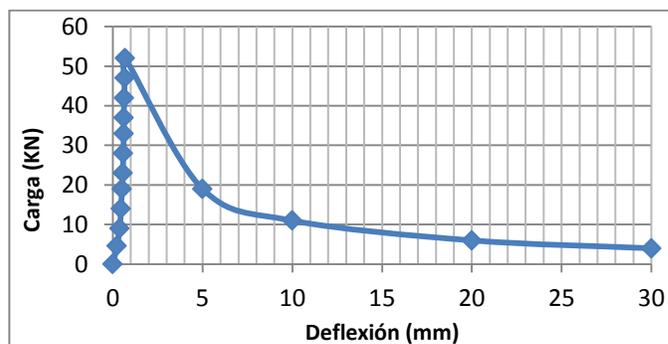
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla L. Datos calculados en ensayos panel 3, metálica baja

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía J
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0229	0,229	4,6	11
3	400	938	0,0381	0,381	9	36
4	600	1 407	0,0457	0,457	14	64
5	800	1 876	0,0508	0,508	19	95
6	1 000	2 345	0,0559	0,559	23	131
7	1 200	2 815	0,0584	0,584	28	164
8	1 400	3 284	0,061	0,61	33	200
9	1 600	3 753	0,061	0,61	37	229
10	1 800	4 222	0,0635	0,635	42	268
11	2 000	4 691	0,066	0,66	47	310
12	2 200	5 160	0,0685	0,685	52	353
13	800	1 876	0,5	5	19	938
14	450	1 055	1	10	11	1 055
15	250	586	2	20	6	1 172
16	170	398	3	30	4	1 194

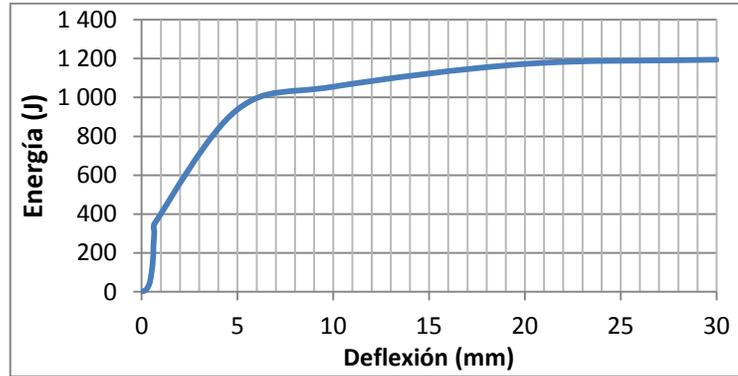
Fuente: elaboración propia.

Figura 115. Gráfica carga-deflexión panel 3, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

Figura 116. Gráfica energía–deflexión panel 3, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{0,61} (2\ 884,9x^3 - 1\ 711,8x^2 + 312,59x - 0,7419)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 28,068 J.

Área flexocompresión $\int_{0,61}^{0,685} (133\ 333x^3 - 263\ 200x^2 + 174\ 801x - 38\ 741)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 50,74 J

Área a tensión $\int_{0,685}^{5,00} (135,57x + 260,13)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 785,2812 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 2 864,0892 J

Promedio de áreas = $2\ 864,0892/3 = 954,6964/10 = 95,47\ J$

Calculando la absorción de energía del panel 3.

$$\text{Energía} = 89\ 250\ \text{Kg}_f \cdot 0,0610\ \text{cm} = 5\ 444,25\ \text{J}$$

$$5\ 444,25\ \text{J}/2 = 2\ 722,125\ \text{J}$$

$$2\ 722,125\ \text{J}/60 = 45\ \text{J}$$

$$\text{Energía de fibra metálica} = 72\ \text{J}$$

3.5.29. Gráficas del panel 4, fibra metálica baja

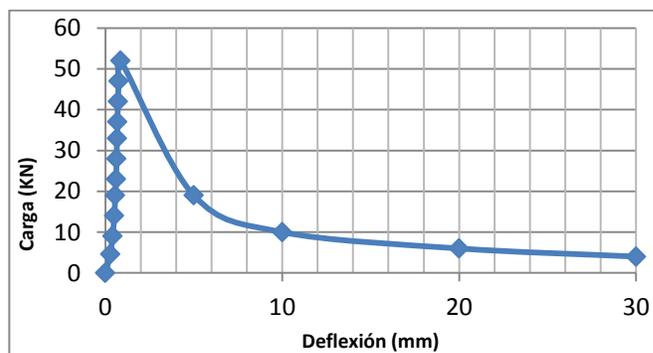
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla LI. Datos calculados en ensayos panel 4, metálica baja

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0279	0,279	4,6	13
3	400	938	0,0406	0,406	9	38
4	600	1 407	0,0508	0,508	14	71
5	800	1 876	0,0559	0,559	19	105
6	1 000	2 345	0,061	0,61	23	143
7	1 200	2 815	0,0635	0,635	28	179
8	1 400	3 284	0,066	0,66	33	217
9	1 600	3 753	0,0686	0,686	37	257
10	1 800	4 222	0,0711	0,711	42	300
11	2 000	4 691	0,0762	0,762	47	357
12	2 200	5 160	0,0864	0,864	52	446
13	800	1 876	0,5	5	19	938
14	440	1 032	1	10	10	1 032
15	250	586	2	20	6	1 172
16	170	398	3	30	4	1 194

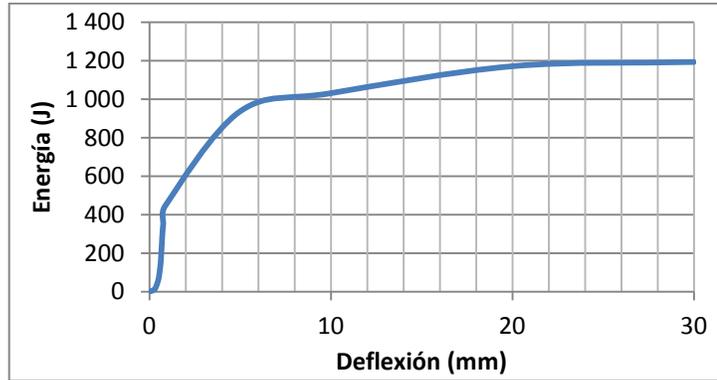
Fuente: elaboración propia.

Figura 117. Gráfica carga-deflexión panel 4, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

Figura 118. Gráfica energía–deflexión panel 4, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Área a compresión } \int_0^{0,66} (2\,225,2x^3 - 1\,415,8x^2 + 285,19x - 0,4191)dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 31,69 J.

$$\text{Área flexocompresión } \int_{0,66}^{0,864} (8\,920,2x^3 - 22\,965x^2 + 20\,495x - 5\,871,7)dx$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 71,22 J

$$\text{Área a tensión } \int_{0,864}^{5,00} (118,96x + 343,22)dx$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 862,16 J

$$\text{Área a compresión} + \text{área a flexocompresión} + \text{área a tensión} = 2\,965,07\text{ J}$$

$$\text{Promedio de áreas} = 2\,965,07/3 = 988,35/10 = 99\text{ J}$$

Calculando la absorción de energía del panel 4.

$$\text{Energía} = 89\,250\text{ Kg}_r * 0,066\text{ cm} = 5\,890,5\text{ J}$$

$$5\,890,5\text{ J}/2 = 2\,945,25\text{ J}$$

$$2\,945,25\text{ J}/60 = 49\text{ J}$$

$$\text{Energía de fibra metálica} = 72\text{ J}$$

3.5.30. Gráficas del panel 5, fibra metálica baja

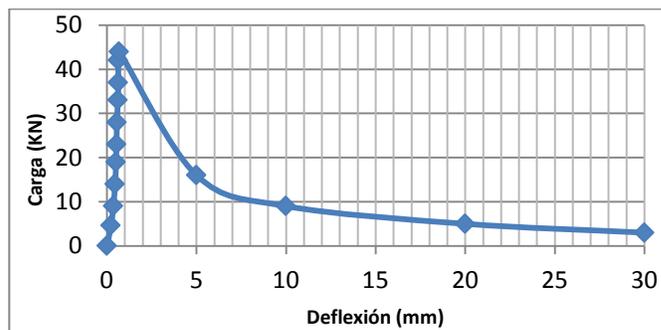
Promediando los cinco paneles con metálica baja, se obtendrá la absorción de energía que se busca en los últimos cálculos del panel cinco.

Tabla LII. Datos calculados en ensayos panel 5, metálica baja

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0229	0,229	4,6	11
3	400	938	0,0356	0,356	9	33
4	600	1 407	0,0457	0,457	14	64
5	800	1 876	0,0508	0,508	19	95
6	1 000	2 345	0,0533	0,533	23	125
7	1 200	2 815	0,0559	0,559	28	157
8	1 400	3 284	0,061	0,61	33	200
9	1 600	3 753	0,0635	0,635	37	238
10	1 800	4 222	0,0635	0,635	42	268
11	1 900	4 456	0,0686	0,686	44	322
12	700	1 641	0,5	5	16	821
13	400	938	1	10	9	938
14	250	528	2	20	5	1 056
15	150	352	3	30	3	1 056

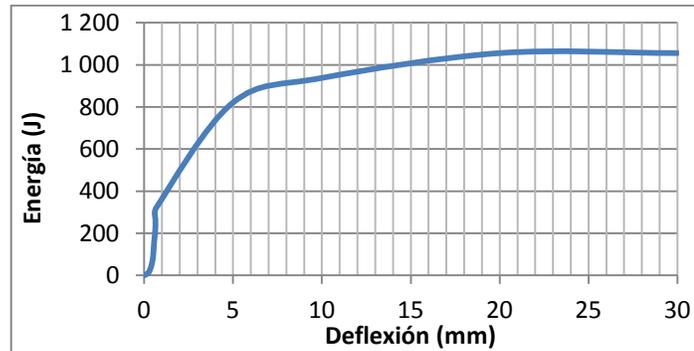
Fuente: elaboración propia.

Figura 119. Gráfica carga–deflexión panel 5, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

Figura 120. Gráfica energía–deflexión panel 5, metálica baja



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{0,61} (2\ 047,4x^3 - 977,16x^2 + 169,13x - 0,0377)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 28,40 J.

Área flexocompresión $\int_{0,61}^{0,686} (1\ 550,5x - 737,67)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 20,61 J

Área a tensión $\int_{0,686}^{5,00} (115,67x + 242,65)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 465,45 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 2 514,45 J

Promedio de áreas = $2\ 514,45/3 = 838,15/10 = 84\ J$

Calculando la absorción de energía del panel 5.

Energía = $89\ 250\ Kg_f \cdot 0,061\ cm = 5\ 444,25\ J$

$5\ 444,25\ J/2 = 2\ 722,13\ J$

$2\ 722,13\ J/60 = 45\ J \rightarrow$ Energía de fibra metálica = 72 J

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto con fibra metálica baja $(57 + 42 + 45 + 49 + 45)/5 = 48\ J$

3.5.31. Gráficas del panel 1, fibra metálica media

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (25 toneladas inglesas)= dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{1\ 032 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 469 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{2\ 064 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 938 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{3\ 096 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 1\ 407 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$469 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\ 690 \text{ N} \rightarrow 4,6 \text{ KN}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 9\ 380 \text{ N} \rightarrow 9 \text{ KN}$$

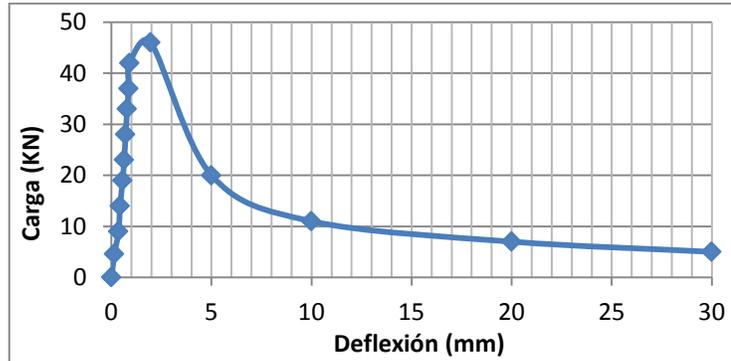
$$1\ 407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 14\ 070 \text{ N} \rightarrow 14 \text{ KN}$$

Tabla LIII. Datos calculados en ensayos panel 1, metálica media

No. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0152	0,152	4,6	7
3	400	938	0,0356	0,356	9	33
4	600	1 407	0,0432	0,432	14	61
5	800	1 876	0,056	0,56	19	105
6	1 000	2 345	0,0635	0,635	23	149
7	1 200	2 815	0,0711	0,711	28	200
8	1 400	3 284	0,0787	0,787	33	258
9	1 600	3 753	0,0864	0,864	37	324
10	1 800	4 222	0,0914	0,914	42	386
11	1 950	4 574	0,196	1,96	46	896
12	850	1 994	0,5	5	20	997
13	490	1 149	1	10	11	1 149
14	285	668	2	20	7	1 336
15	200	469	3	30	5	1 407

Fuente: elaboración propia.

Figura 121. **Gráfica carga–deflexión panel 1, metálica media**



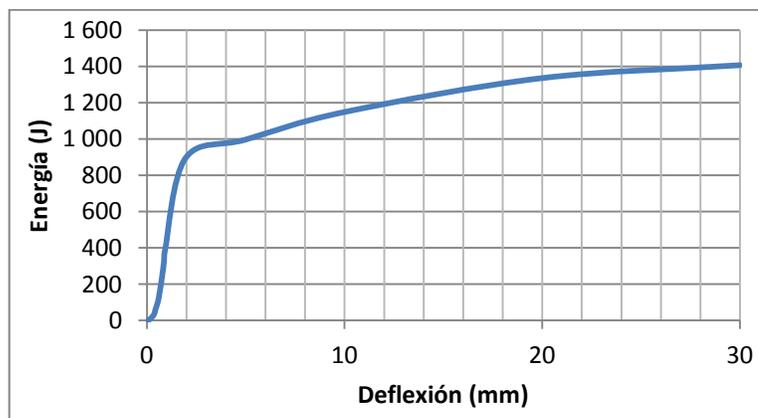
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la Gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$469 \text{ Kg}_f * 0,0152 \text{ Cm} = 7 \text{ J}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 0,0356 \text{ Cm} = 33 \text{ J}$$

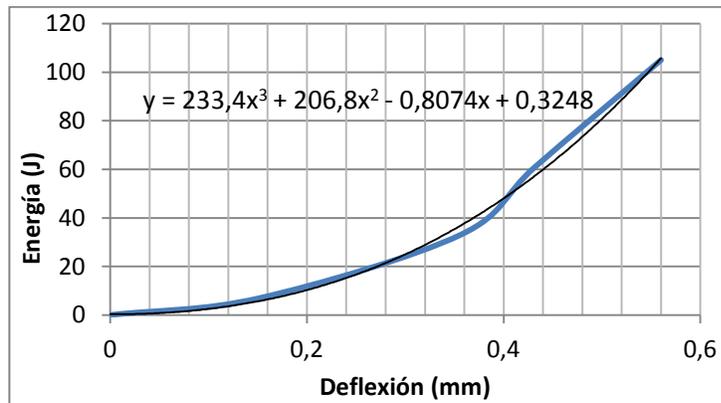
Figura 122. **Gráfica energía–deflexión panel 1, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,56 – 105)

Figura 123. **Área a compresión panel 1, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación de integración definida para ecuaciones continuas en un intervalo cerrado.

$$\int_a^b f(x) dx$$

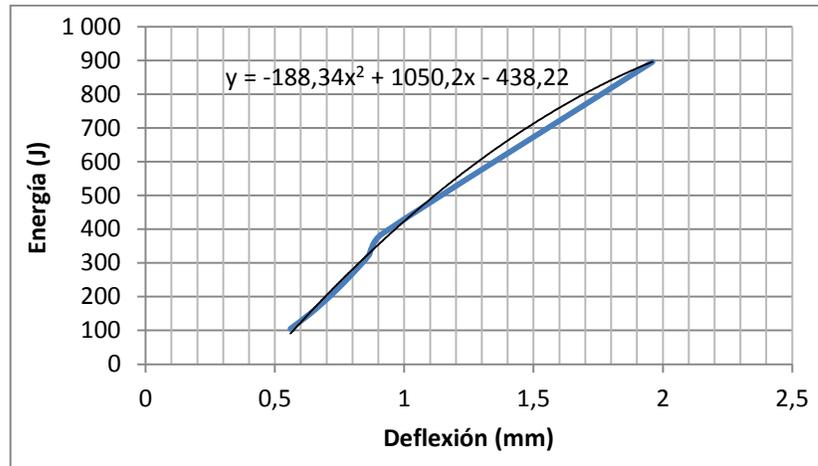
$$f(x) = 233,4x^3 + 206,8x^2 - 0,8074x + 0,3248$$

$$\int_0^{0,56} (233,4x^3 + 206,8x^2 - 0,8074x + 0,3248) dx$$

233,4	58,35	0,098	5,72
206,8	68,93	0,176	12,10
-0,8074	-0,404	0,314	-0,13
0,3248	0,3248	0,56	<u>0,18</u>
			Σ 17,88 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 17,88 J.

Figura 124. Área a flexocompresión panel 1, metálica media



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = -188,34x^2 + 1050,2x - 438,22$$

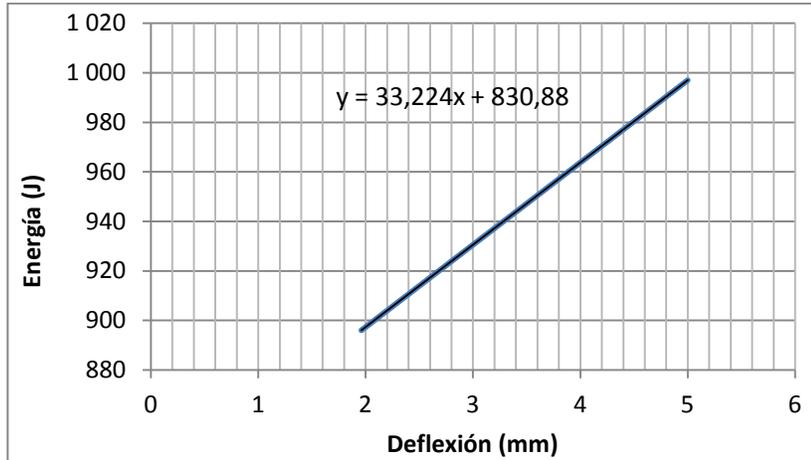
$$\int_{0,56}^{1,96} (-188,34x^2 + 1050,2x - 438,22) dx$$

-188,34	-62,78	7,53	-472,73	-188,34	-62,78	0,18
1 050,2	525,1	3,84	2 016,38	1 050,2	525,1	0,31
-438,22	-438,22	1,96	<u>-858,91</u>	-438,22	-438,22	<u>0,56</u>
			$\Sigma 684,74J$			$\Sigma 1,05 J$

$$\text{Promedio} = 684,74 - 1,05 = 683,70 J$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 683,70 J

Figura 125. Área a tensión panel 1, metálica media



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = 33,224x + 830,88$$

$$\int_{1,96}^{5,00} (33,224x + 830,88) dx$$

33,224	16,612	25	415,3	33,224	16,612	3,842	63,823
830,88	830,88	5	<u>4 154,4</u>	830,88	830,88	1,96	<u>1 628,525</u>
			Σ 4 569,7 J				Σ 1 692,348 J

$$\text{Promedio} = 4\,569,7 - 1\,692,348 = 2\,877,35 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 877,35 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 578,93 J

Promedio de áreas = $3\,578,93/3 = 1\,193/10 = 119,30 \text{ J}$

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,056 \text{ cm} = 4\,998 \text{ J}$$

$$4\,998 \text{ J}/2 = 2\,499 \text{ J}$$

Dividiendo por la unidad de longitud

$$2\,499 \text{ J}/60 = 42 \text{ J}$$

Energía de fibra metálica

$$A = \pi(0,25)^2 = 0,20 \text{ mm}^2$$

$$1\,200 \text{ N/mm}^2 * 0,20 \text{ mm}^2 = 240 \text{ N}$$

$$240 \text{ N} * 0,1 \text{ Kg} = 24 \text{ Kg}_f$$

$$24 \text{ Kg}_f * 3 \text{ cm} = 72 \text{ J}$$

3.5.32. Gráficas del panel 2, fibra metálica media

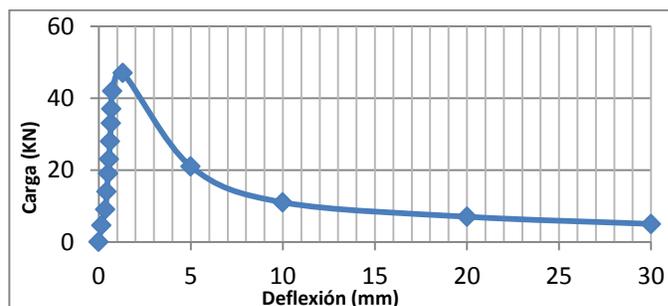
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla LIV. Datos calculados en ensayos panel 2, metálica media

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0152	0,152	4,6	7
3	400	938	0,0356	0,356	9	33
4	600	1 407	0,0432	0,432	14	61
5	800	1 876	0,0508	0,508	19	95
6	1 000	2 345	0,056	0,56	23	131
7	1 200	2 815	0,061	0,61	28	172
8	1 400	3 284	0,066	0,66	33	217
9	1 600	3 753	0,0686	0,686	37	257
10	1 800	4 222	0,074	0,74	42	312
11	2 000	4 691	0,13	1,3	47	610
12	875	2 052	0,5	5	21	1 026
13	490	1 149	1	10	11	1 149
14	285	668	2	20	7	1 336
15	200	469	3	30	5	1 407

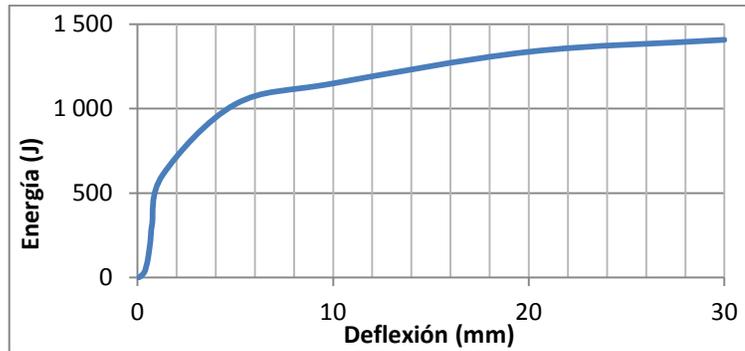
Fuente: elaboración propia.

Figura 126. Gráfica carga-deflexión panel 2, metálica media



Fuente: elaboración propia.

Figura 127. **Gráfica energía–deflexión panel 2, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Área a compresión } \int_0^{0,56} (1\,038,5x^3 - 277,75x^2 + 62,881x + 0,0373)dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 19,1441 J.

$$\text{Área flexocompresión } \int_{0,56}^{1,3} (625,92x - 192,12)dx$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 573 J

$$\text{Área a tensión } \int_{1,3}^{5,00} (112,43 + 463,84)dx$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 027 J

$$\text{Área a compresión} + \text{área a flexocompresión} + \text{área a tensión} = 3\,619,14 \text{ J}$$

$$\text{Promedio de áreas} = 3\,619,14/3 = 1\,206,38/10 = 121 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,056 \text{ cm} = 4\,998 \text{ J}$$

$$4\,998 \text{ J}/2 = 2\,499 \text{ J}$$

$$2\,499 \text{ J}/60 = 42 \text{ J}$$

$$\text{Energía de fibra metálica} = 72 \text{ J}$$

3.5.33. Gráficas del panel 3, fibra metálica media

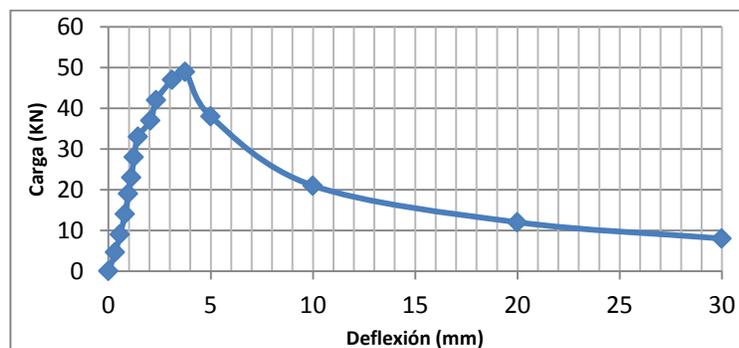
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla LV. Datos calculados en ensayos panel 3, metálica media

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía J
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,033	0,33	4,6	15
3	400	938	0,056	0,56	9	53
4	600	1 407	0,0813	0,813	14	114
5	800	1 876	0,0965	0,965	19	181
6	1 000	2 345	0,112	1,12	23	263
7	1 200	2 815	0,125	1,25	28	352
8	1 400	3 284	0,145	1,45	33	476
9	1 600	3 753	0,206	2,06	37	773
10	1 800	4 222	0,234	2,34	42	988
11	2 000	4 691	0,312	3,12	47	1 776
12	2 100	4 925	0,376	3,76	49	1 852
13	1 600	3 753	0,5	5	38	1 876
14	900	2 111	1	10	21	2 111
15	500	1 173	2	20	12	2 346
16	350	821	3	30	8	2 463

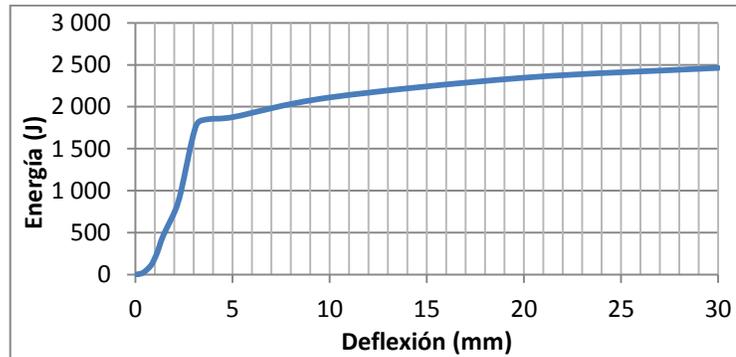
Fuente: elaboración propia.

Figura 128. Gráfica carga-deflexión panel 3, metálica media



Fuente: elaboración propia.

Figura 129. **Gráfica energía–deflexión panel 3, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{1,12} (131,53x^3 + 40,466x^2 + 24,849x - 0,3194)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 85,92 J.

Área flexocompresión $\int_{1,12}^{2,06} (-169,14x^2 + 1\,080,2x - 734,36)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 510,46 J

Área a tensión $\int_{2,06}^{5,00} (67,026x^3 - 964,85x^2 + 4\,552,7x - 5\,148,4)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 4 893,02 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 5 489,4 J

Promedio de áreas = $5\,489,4/3 = 1\,829,8/10 = 183$ J

Calculando la absorción de energía del panel 3.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f \cdot 0,112 \text{ cm} = 9\,996 \text{ J}$$

$$9\,996 \text{ J}/2 = 4\,998 \text{ J}$$

$$4\,998 \text{ J}/60 = 83 \text{ J}$$

$$\text{Energía de fibra metálica} = 72 \text{ J}$$

3.5.34. Gráficas del panel 4, fibra metálica media

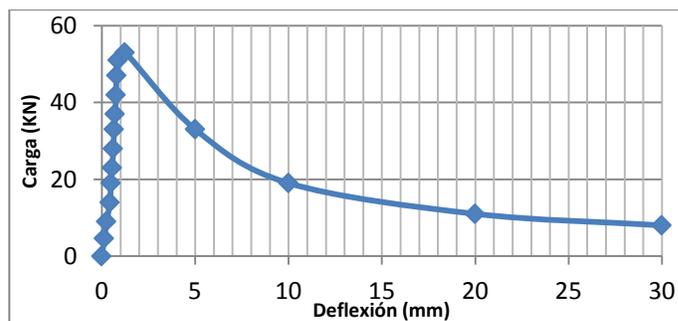
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla LVI. Datos calculados en ensayos panel 4, metálica media

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0127	0,127	4,6	6
3	400	938	0,0254	0,254	9	24
4	600	1 407	0,0432	0,432	14	61
5	800	1 876	0,0483	0,483	19	91
6	1 000	2 345	0,0559	0,559	23	131
7	1 200	2 815	0,061	0,61	28	172
8	1 400	3 284	0,066	0,66	33	217
9	1 600	3 753	0,0711	0,711	37	267
10	1 800	4 222	0,0762	0,762	42	322
11	2 000	4 574	0,0787	0,787	47	369
12	2 200	5 160	0,0864	0,864	51	446
13	2 250	5 277	0,124	1,24	53	654
14	1 400	3 284	0,5	5	33	1 642
15	800	1 876	1	10	19	1 876
16	480	1 126	2	20	11	2 252
17	350	821	3	30	8	2 463

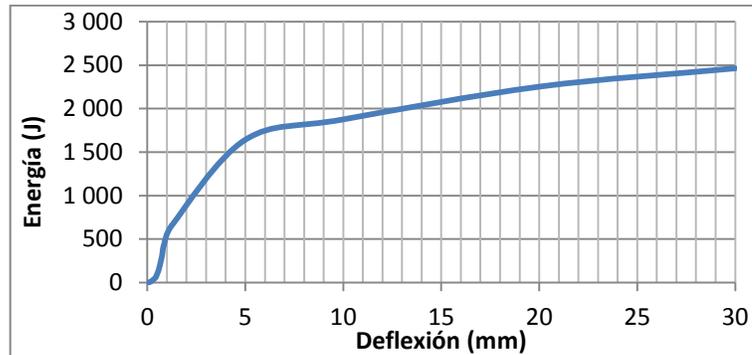
Fuente: elaboración propia.

Figura 130. Gráfica carga-deflexión panel 4, metálica media



Fuente: elaboración propia.

Figura 131. **Gráfica energía–deflexión panel 4, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión

$$\int_0^{0,61} (1\,417,3x^4 - 782,61x^3 + 384,43x^2 + 17,643x - 0,2043)dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 29,073 J.

Área flexocompresión $\int_{0,61}^{0,787} (25\,374x^3 - 50\,941x^2 + 34\,933x - 7\,941,8)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 47 J

Área a tensión $\int_{0,787}^{5,00} (288,53x + 208,55)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 4 396 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 4 472 J

Promedio de áreas = $4\,472/3 = 1\,491/10 = 149$ J

Calculando la absorción de energía del panel 4.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f \cdot 0,0610 \text{ cm} = 5\,444,25 \text{ J}$$

$$5\,444,25 \text{ J}/2 = 2\,722,13 \text{ J}$$

$$2\,722,13 \text{ J}/60 = 45 \text{ J} \rightarrow \text{Energía de fibra metálica} = 72 \text{ J}$$

3.5.35. Gráficas del panel 5, fibra metálica media

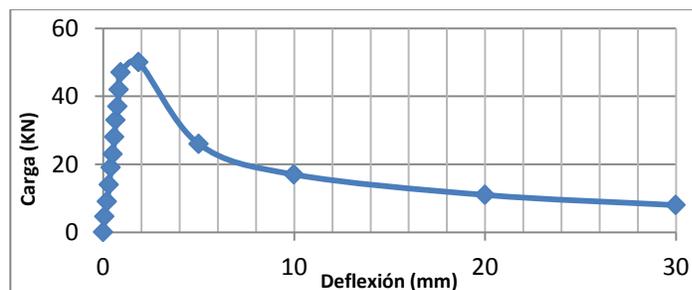
Promediando los cinco paneles con metálica media, se obtendrá la absorción de energía que se busca en los últimos cálculos del panel cinco.

Tabla LVII. Datos calculados en ensayos panel 5, metálica media

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía J
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0076	0,076	4,6	4
3	400	938	0,0203	0,203	9	19
4	600	1 407	0,0305	0,305	14	43
5	800	1 876	0,0406	0,406	19	76
6	1 000	2 345	0,0508	0,508	23	119
7	1 200	2 815	0,0584	0,584	28	164
8	1 400	3 284	0,066	0,66	33	217
9	1 600	3 753	0,0762	0,762	37	286
10	1 800	4 222	0,0813	0,813	42	343
11	2 000	4 691	0,0914	0,914	47	429
12	2 150	5 043	0,185	1,85	50	933
13	1 100	2 580	0,5	5	26	1 290
14	750	1 759	1	10	17	1 759
15	470	1 102	2	20	11	2 204
16	360	844	3	30	8	2 532

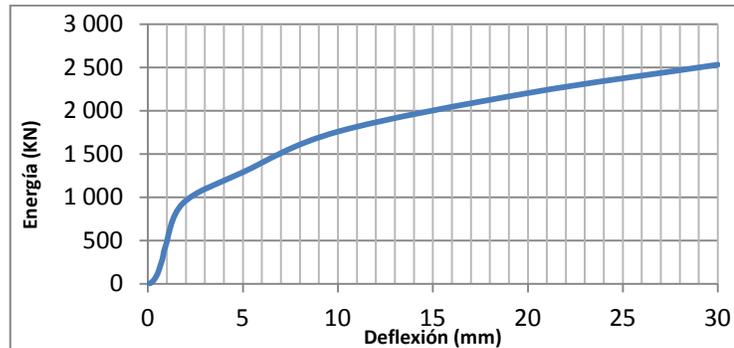
Fuente: elaboración propia.

Figura 132. Gráfica carga-deflexión panel 5, metálica media



Fuente: elaboración propia.

Figura 133. **Gráfica energía–deflexión panel 5, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{0,762} (77,318x^3 + 444,41x^2 - 6,693x + 0,8955)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 70,806 J.

Área flexocompresión $\int_{0,762}^{1,85} (574,2x - 125,11)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 680 J

Área a tensión $\int_{1,85}^{5,00} (113,33x + 723,33)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 501,18 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 4 252 J

Promedio de áreas = $4\ 252/3 = 1\ 417/10 = 142\ J$

Calculando la absorción de energía del panel 5.

Energía = $89\ 250\ Kg_f * 0,0762\ cm = 6\ 800,85\ J/2 = 3\ 400,42\ J$

$3\ 400,42\ J/60 = 57\ J \rightarrow$ Energía de fibra metálica = 72 J

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto con fibra metálica media $(42 + 42 + 83 + 45 + 57)/5 = 54\ J$

3.5.36. Gráficas del panel 1, fibra metálica alta

Obtención de las cargas en kilogramo fuerza (Kg_f).

Presión aplicada * área del gato hidráulico (25 toneladas inglesas)= dato en libras (conversión en kilogramos)

$$200 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{1\ 032 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 469 \text{ Kg}_f$$

$$400 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{2\ 064 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 938 \text{ Kg}_f$$

$$600 \text{ PSI} * 5,16 \text{ Plg}^2 = \frac{3\ 096 \text{ Lbs} * 1 \text{ Kg}_f}{2,2 \text{ Lbs}} = 1\ 407 \text{ Kg}_f$$

Obtención de la carga en KN

$$469 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 4\ 690 \text{ N} \rightarrow 4,6 \text{ KN}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 9\ 380 \text{ N} \rightarrow 9 \text{ KN}$$

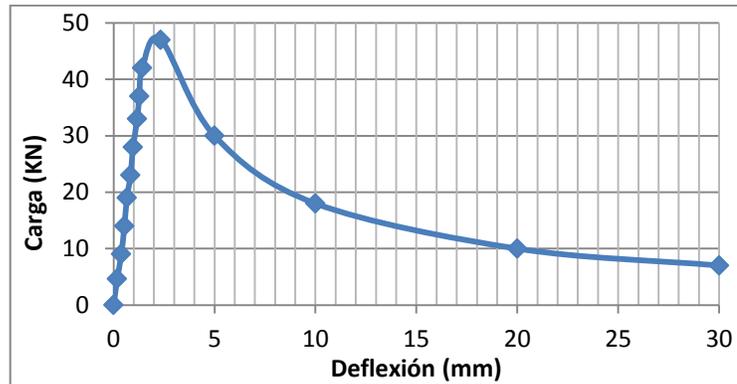
$$1\ 407 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 14\ 070 \text{ N} \rightarrow 14 \text{ KN}$$

Tabla LVIII. Datos calculados en ensayos panel 1, metálica alta

Núm. de Presión	presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0178	0,178	4,6	8
3	400	938	0,0381	0,381	9	36
4	600	1 407	0,0533	0,533	14	75
5	800	1 876	0,066	0,66	19	124
6	1 000	2 345	0,0838	0,838	23	197
7	1 200	2 815	0,0965	0,965	28	272
8	1 400	3 284	0,117	1,17	33	384
9	1 600	3 753	0,127	1,27	37	477
10	1 800	4 222	0,142	1,42	42	600
11	2 000	4 691	0,234	2,34	47	1 098
12	1 300	3 049	0,5	5	30	1 524
13	790	1 853	1	10	18	1 853
14	450	1 055	2	20	10	2 110
15	320	750	3	30	7	2 250

Fuente: elaboración propia.

Figura 134. **Gráfica carga–deflexión panel 1, metálica alta**



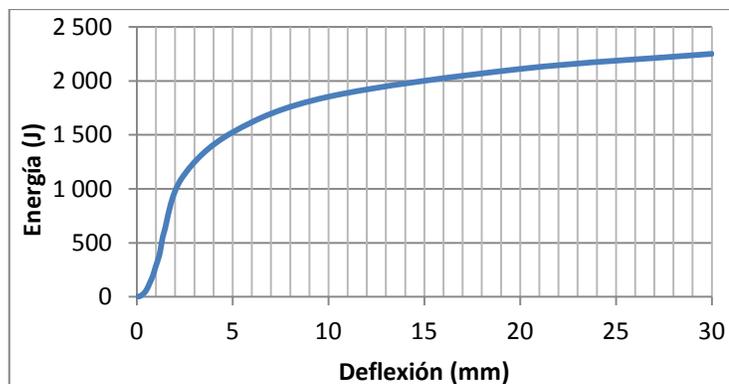
Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación de kilogramos fuerza * centímetro en los datos de la gráfica esfuerzo-deformación para la obtención de los puntos de la gráfica de energía en Joule (J).

$$469 \text{ Kg}_f * 0,0178 \text{ Cm} = 8 \text{ J}$$

$$938 \text{ Kg}_f * 0,0381 \text{ Cm} = 36 \text{ J}$$

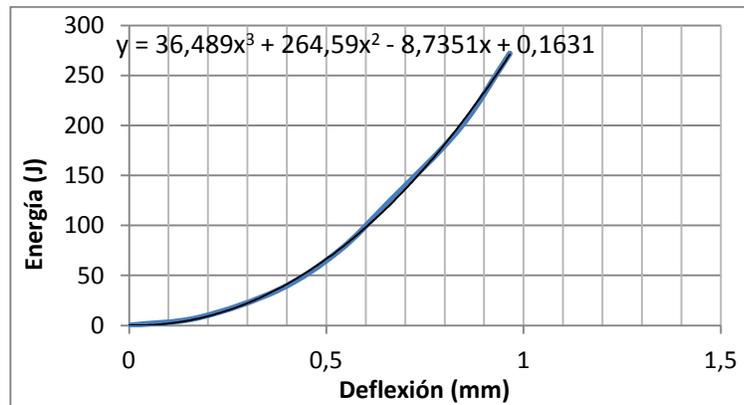
Figura 135. **Gráfica energía–deflexión panel 1, metálica alta**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la energía en el área a compresión (punto 0,965 – 272)

Figura 136. **Área a compresión panel 1, metálica alta**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación de integración definida para ecuaciones continuas en un intervalo cerrado.

$$\int_a^b f(x) dx$$

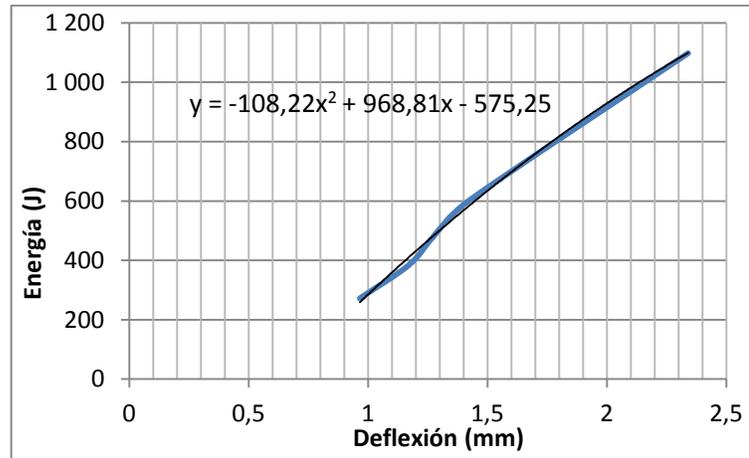
$$f(x) = 36,489x^3 + 264,59x^2 - 8,7351x + 0,1631$$

$$\int_0^{0,965} (36,489x^3 + 264,59x^2 - 8,7351x + 0,1631) dx$$

36,489	9,12225	0,8672	7,91082
264,59	88,196667	0,8986	79,2535
-8,7351	-4,36755	0,9312	-4,0671
0,1631	0,1631	0,965	<u>0,15739</u>
			Σ 83,25 J

Área a compresión tiene una absorción de energía de 83,25 J

Figura 137. Área a flexocompresión panel 1, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = -108,22x^2 + 968,81x - 575,25$$

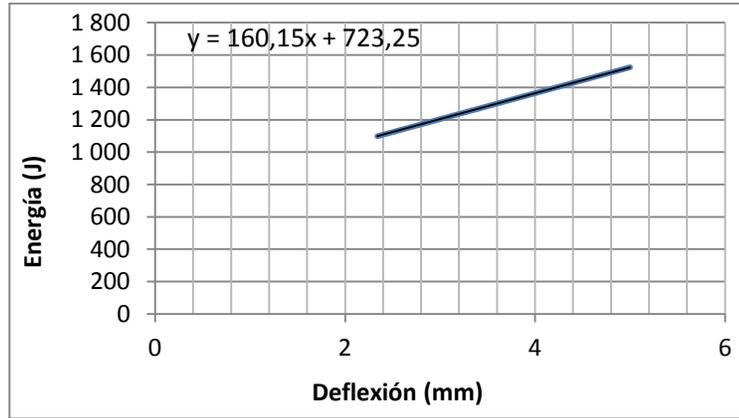
$$\int_{0,865}^{2,34} (-108,22x^2 + 968,81x - 575,25) dx$$

-108,22	-36,0733	12,813	-462,21	-108,22	-36,07333	0,8986	-32,42
968,81	484,405	5,4756	2 652,41	968,81	484,405	0,9312	451,08
-575,25	-575,25	2,34	<u>-1 346,09</u>	-575,25	-575,25	0,965	<u>-555,12</u>
			Σ 844,12 J				Σ -136,45 J

$$\text{Promedio} = 844,12 - (-136,45) = 980,57 \text{ J}$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 980,57 J

Figura 138. Área a tensión panel 1, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

$$f(x) = 160,15x + 723,25$$

$$\int_{2,34}^{5,00} (160,15x + 723,25) dx$$

160,15	80,075	25	2 001,875	160,15	80,075	5,4756	438,46
723,25	723,25	5	<u>3 616,25</u>	723,25	723,25	2,34	<u>1 692,41</u>
			Σ 5 618,13 J				Σ 2 130,86 J

$$\text{Promedio} = 5\,618,13 - 2\,130,86 = 3\,487,26 \text{ J}$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 487,26 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 4 551,08 J

Promedio de áreas = 4 551,08/3 = 1 517/10 = 152 J

Calculando la absorción de energía del panel 1.

$$C = 0,85 * f'c * \text{área}_{\text{Comp}}$$
$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}^2 = 89\,250 \text{ Kg}_f$$
$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f * 0,0965 \text{ cm} = 8\,613 \text{ J}$$
$$8\,613 \text{ J}/2 = 4\,306 \text{ J}$$

Dividiendo por la unidad de longitud

$$4\,306 \text{ J}/60 = 72 \text{ J}$$

Energía de fibra metálica

$$A = \pi(0,25)^2 = 0,20 \text{ mm}^2$$
$$1\,200 \text{ N/mm}^2 * 0,20 \text{ mm}^2 = 240 \text{ N}$$

$$240 \text{ N} * 0,1 \text{ Kg} = 24 \text{ Kg}_f$$

$$24 \text{ Kg}_f * 3 \text{ cm} = 72 \text{ J}$$

3.5.37. Gráficas del panel 2, fibra metálica alta

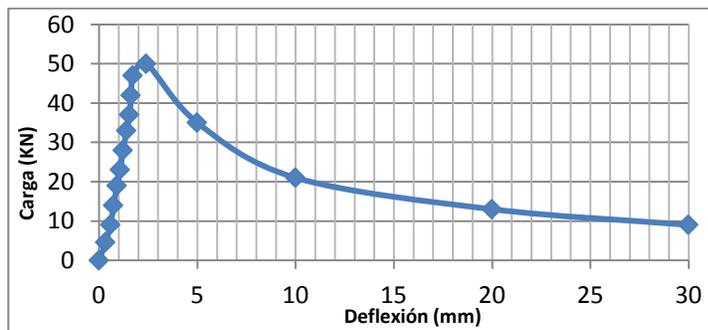
Los cálculos se omitirán por ser una secuencia de la gráfica anterior.

Tabla LIX. Datos calculados en ensayos panel 2, metálica alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,033	0,33	4,6	15
3	400	938	0,0584	0,584	9	55
4	600	1 407	0,074	0,74	14	104
5	800	1 876	0,0914	0,914	19	171
6	1 000	2 345	0,107	1,07	23	251
7	1 200	2 815	0,122	1,22	28	343
8	1 400	3 284	0,14	1,4	33	460
9	1 600	3 753	0,155	1,55	37	582
10	1 800	4 222	0,163	1,63	42	688
11	2 000	4 691	0,173	1,73	47	812
12	2 150	5 043	0,241	2,41	50	1 215
13	1 480	3 471	0,5	5	35	1 735
14	900	2 111	1	10	21	2 111
15	550	1 290	2	20	13	2 580
16	400	938	3	30	9	2 814

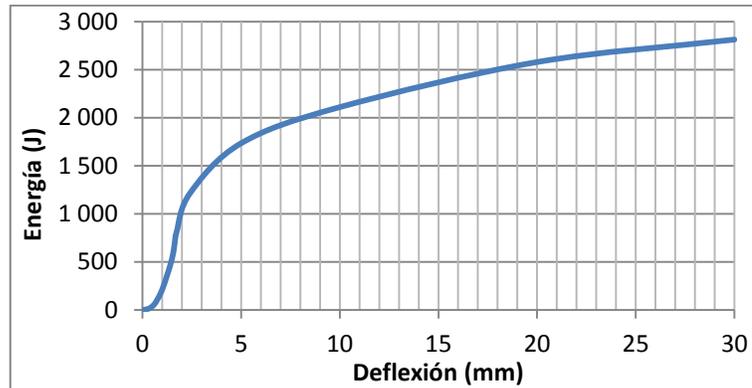
Fuente: elaboración propia.

Figura 139. Gráfica carga–deflexión panel 2, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 140. Gráfica energía–deflexión panel 2, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión

$$\int_0^{0,74} (257x^3 - 43,074x^2 + 31,681x + 2E - 11)dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 22,13 J.

Área flexocompresión $\int_{0,74}^{1,4} (-284,97x^3 + 1\,194x^2 - 1\,006x + 310,18)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 172,81 J

Área a tensión $\int_{1,4}^{5,00} (75,703x^3 - 823,77x^2 + 3\,059,7x - 2\,432)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 4 678,20 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 4 873,14 J

Promedio de áreas = $4\,873,14/3 = 1\,624,38/10 = 162\,438$ J

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f \cdot 0,074 \text{ cm} = 6\,604,5 \text{ J}$$

$$6\,604,5 \text{ J}/2 = 3\,302,25 \text{ J}$$

$$3\,302,25 \text{ J}/60 = 55 \text{ J} \rightarrow \text{Energía de fibra metálica} = 72 \text{ J}$$

3.5.38. Gráficas del panel 3, fibra metálica alta

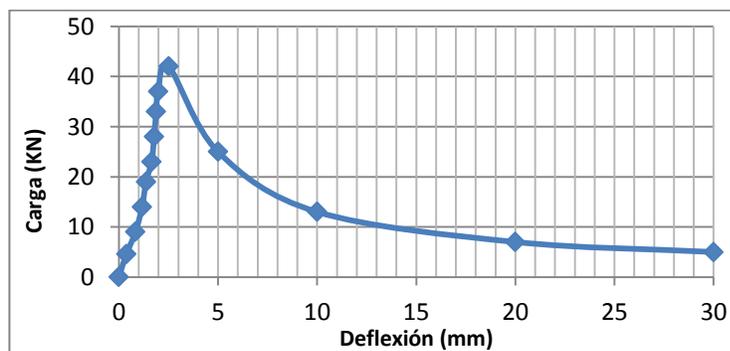
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla LX. Datos calculados en ensayos panel 3, metálica alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0381	0,381	4,6	18
3	400	938	0,0838	0,838	9	79
4	600	1 407	0,117	1,17	14	165
5	800	1 876	0,137	1,37	19	257
6	1 000	2 345	0,165	1,65	23	387
7	1 200	2 815	0,178	1,78	28	501
8	1 400	3 284	0,188	1,88	33	618
9	1 600	3 753	0,198	1,98	37	743
10	1 800	4 222	0,251	2,51	42	1 060
11	1 050	2 463	0,5	5	25	1 231
12	570	1 337	1	10	13	1 337
13	290	680	2	20	7	1 360
14	200	469	3	30	5	1 407

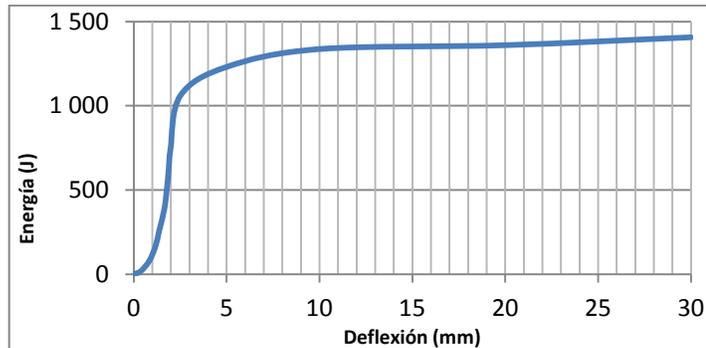
Fuente: elaboración propia.

Figura 141. Gráfica carga-deflexión panel 3, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 142. **Gráfica energía–deflexión panel 3, metálica alta**



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Área a compresión } \int_0^{1,17} (48,058x^3 + 44,323x^2 + 23,381x + 4E - 12)dx$$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 62,18 J.

$$\text{Área flexocompresión } \int_{1,17}^{2,51} (-660x^3 + 3\,731x^2 - 6\,071,2x + 3\,232,5)dx$$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 797,02 J

$$\text{Área a tensión } \int_{2,51}^{5,00} (68,675x + 887,63)dx$$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 852,31 J

$$\text{Área a compresión} + \text{área a flexocompresión} + \text{área a tensión} = 3\,711,51 \text{ J}$$

$$\text{Promedio de áreas} = 3\,711,51/3 = 1\,237,17/10 = 123 \text{ J}$$

Calculando la absorción de energía del panel 2.

$$\text{Energía} = 89\,250 \text{ Kg}_f \cdot 0,117 \text{ cm} = 10\,442,25 \text{ J}$$

$$10\,442,25 \text{ J}/2 = 5\,221,125 \text{ J}$$

$$5\,221,125 \text{ J}/60 = 87 \text{ J}$$

$$\text{Energía de fibra metálica} = 72 \text{ J}$$

3.5.39. Gráficas del panel 4, fibra metálica alta

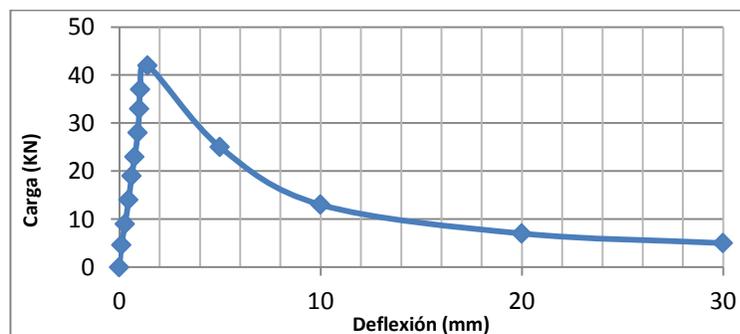
Los cálculos son una misma secuencia como las gráficas anteriores.

Tabla LXI. Datos calculados en ensayos panel 4, metálica alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0102	0,102	4,6	5
3	400	938	0,028	0,28	9	26
4	600	1 407	0,0458	0,458	14	64
5	800	1 876	0,061	0,61	19	114
6	1 000	2 345	0,0762	0,762	23	179
7	1 200	2 815	0,0914	0,914	28	257
8	1 400	3 284	0,0991	0,991	33	325
9	1 600	3 753	0,104	1,04	37	390
10	1 800	4 222	0,14	1,4	42	591
11	1 050	2 463	0,5	5	25	1 231
12	570	1 337	1	10	13	1 337
13	290	680	2	20	7	1 360
14	200	469	3	30	5	1 407

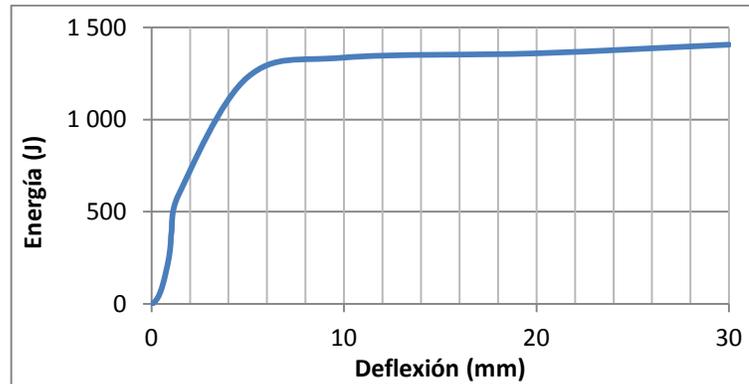
Fuente: elaboración propia.

Figura 143. Gráfica carga–deflexión panel 4, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 144. Gráfica energía–deflexión panel 4, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{0,458} (261,08x^2 + 19,897x + 0,0841)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 10,48 J.

Área flexocompresión $\int_{0,458}^{1,04} (6\,914,4x^4 - 19\,086x^3 + 19\,657x^2 - 8\,524,5x + 1\,374,2)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 108,44 J

Área a tensión $\int_{1,04}^{5,00} (198,35x + 245,43)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 3 344 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 463 J

Promedio de áreas = $3\,463/3 = 1\,154/10 = 115\text{ J}$

Calculando la absorción de energía del panel 4

Energía = $89\,250\text{ Kg}_f \cdot 0,0458\text{ cm} = 4\,087,65\text{ J}$

$4\,087,65\text{ J}/2 = 2\,044\text{ J}$

$2\,044\text{ J}/60 = 34\text{ J}$

Energía de fibra metálica = 72 J

3.5.40. Gráficas del panel 5, fibra metálica alta

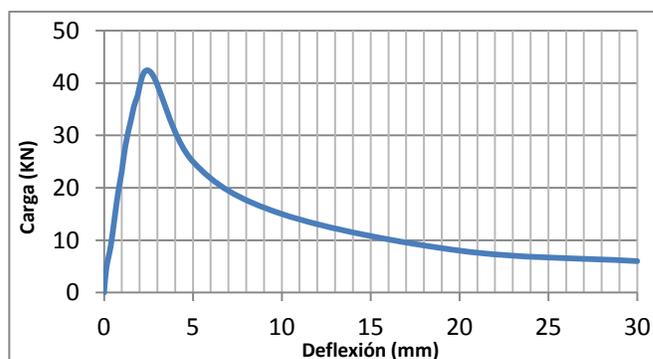
Promediando los cinco paneles con metálica alta, se obtendrá la absorción de energía que se busca en los últimos cálculos del panel cinco.

Tabla LXII. Datos calculados en ensayos panel 5, metálica alta

Núm. de Presión	Presión PSI	Carga Kg f	Def. cm	Def. mm	carga KN	Energía (J)
1	0	0	0	0	0	0
2	200	469	0,0127	0,127	4,6	6
3	400	938	0,0381	0,381	9	36
4	600	1 407	0,0584	0,584	14	82
5	800	1 876	0,0787	0,787	19	148
6	1 000	2 345	0,0991	0,991	23	232
7	1 200	2 815	0,12	1,2	28	338
8	1 400	3 284	0,152	1,52	33	499
9	1 600	3 753	0,183	1,83	37	687
10	1 800	4 222	0,264	2,64	42	1 115
11	1 050	2 463	0,5	5	25	1 231
12	600	1 407	1	10	15	1 407
13	340	797	2	20	8	1 594
14	250	586	3	30	6	1 758

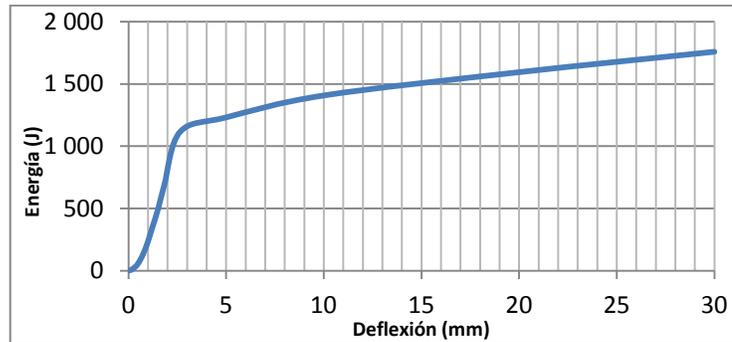
Fuente: elaboración propia.

Figura 145. Gráfica carga–deflexión panel 5, metálica alta



Fuente: elaboración propia.

Figura 146. **Gráfica energía–deflexión panel 5, metálica alta**



Fuente: elaboración propia.

Área a compresión $\int_0^{0,584} (219,66x^2 + 11,205x + 0,3545)dx$

Área a compresión tiene una absorción de energía de 16,70 J.

Área flexocompresión $\int_{0,584}^{2,64} (-66,79x^3 + 361,54x^2 - 71,78x + 13,861)dx$

Área a flexocompresión tiene una absorción de energía de 1 174,89 J

Área a tensión $\int_{2,64}^{5,00} (49,153x + 985,24)dx$

Área a tensión tiene una absorción de energía de 2 768,29 J

Área a compresión + área a flexocompresión + área a tensión = 3 960 J

Promedio de áreas = $3\ 960/3 = 1\ 320/10 = 132\ J$

Calculando la absorción de energía del panel 5

$$\text{Energía} = 89\ 250\ \text{Kg}_f \cdot 0,0584\ \text{cm} = 5\ 212,2\ \text{J}/2 = 2\ 606,10\ \text{J}$$

$$2\ 606,10\ \text{J}/60 = 43\ \text{J} \rightarrow \text{Energía de fibra metálica} = 72\ \text{J}$$

Calculando la absorción de energía, promediando los 5 paneles de concreto con fibra metálica alta $(72 + 55 + 87 + 34 + 43)/5 = 58\ \text{J}$

3.6. Aplicación de las ecuaciones para el cálculo de la energía en la gráfica esfuerzo–deformación

Para la aplicación de ecuaciones en los gráficos, se hace referencia en la muestra de cada número de panel con su dosificación de fibra planteada y su tipo de fibra utilizada.

En cada tipo de fibra utilizada y nivel de dosificación de cada una de las fibras se muestra el panel uno, como ejemplo de todos los cálculos utilizados y evaluados con las ecuaciones necesarias para los resultados requeridos, ya que en los paneles de dos a cinco en cada tipo de fibra se realiza un resumen de gráficos y cálculos planteados.

Se plantea la realización de todas las ecuaciones para los cálculos en todos los gráficos de esfuerzo–deformación y energía–deformación, promediando los cinco paneles por dosificación de fibra para la obtención de resultados de absorción de energía.

El resumen de las gráficas de compresión, flexocompresión y tensión se realiza en la integración de áreas, ya que es un cálculo que todo ingeniero realiza sin ninguna dificultad, como la utilización de conversiones necesarias.

3.7. Análisis de resultados obtenidos

Para los resultados obtenidos en cada promedio, se analizará la absorción de energía obtenida, como también el punto donde varía o converge la similitud de resistencia de la misma por cada dosis de fibra.

3.7.1. Paneles de concreto sin refuerzo

En los paneles de concreto utilizados en los ensayos y vistos en las fotografías, se observa que aproximadamente en el eje neutro de los mismos, se manifiesta la separación de las fallas ocurridas a tensión, abajo del eje neutro, con la falla a compresión sobre el eje neutro, a una distancia de 5 cm de distancia de la luz; absorbiendo energía en el área a tensión de 176 Joule.

Para el panel uno y cuatro, la absorción de energía trabaja en el área a compresión del concreto, trabajando con mayor ductilidad, siendo estos resultados menores a 176 Joule.

Para el panel dos y tres tiene una absorción de energía en el área a tensión del concreto, llegando al módulo de tenacidad de 176 Joule.

La solución de absorción de energía para el panel cinco puede ser desechada debido a los malos resultados obtenidos en el ensayo del panel, estos resultados son causados por la diferencia de lechadas del concreto y el descanso prolongado del mismo, no importando tener las mismas dosificaciones y proporciones del concreto, estos resultados provocan junta fría en el resultado del concreto seco.

El promedio de los cinco paneles de concreto se realizarán en el área a compresión en cada uno de los paneles de concreto sin refuerzo ensayados, para obtener la absorción de energía general de los paneles.

3.7.2. Paneles de concreto con electromalla grado 70

Como un refuerzo tradicional la electromalla grado 70 puede resistir una absorción de energía de 84 Joule. Trabajando en un mismo sistema con el concreto se comporta adecuadamente, como el acero soportando una absorción de energía por panel menor al límite de resistencia de 84 Joule.

El promedio de los cinco valores de los paneles de concreto con electromalla, da un valor óptimo de absorción de energía de 48 Joule menor al dato de absorción de energía de la electromalla.

3.7.3. Paneles de concreto con fibra macrosintética baja

El material de fibra macrosintética tiene un resultado teórico de absorción de energía calculado de 77 Joule, dato incluido para los tres tipos de dosificaciones diferentes en el concreto, los diferentes valores obtenidos en los cinco paneles de concreto con fibra macrosintética baja, son valores óptimos ya que son menores a la resistencia máxima de la fibra macrosintética de 77 Joule.

El promedio de los cinco paneles será la absorción de energía utilizada para la cantidad de dosificación de fibra macrosintética mezclada con el concreto, el dato promedio es comparado con los promedios de las dosificaciones media y alta para dar las conclusiones finales óptimas de la absorción de energía en el concreto.

3.7.4. Paneles de concreto con fibra macrosintética medias

Los valores obtenidos de absorción de energía en cada uno de los paneles de concreto con fibra macrosintética media, son datos menores a la absorción de energía de la fibra 77 Joule, por tal razón siguen siendo correctos en el uso de la dosificación, el promedio y comparación con las demás dosificaciones de fibra concluirá su resultado.

3.7.5. Paneles de concreto con fibra macrosintética alta

La dosificación de fibra macrosintética alta en combinación con el concreto da como resultados de absorción de energía en los paneles, valores similares a dosificaciones anteriores, comparando los promedios de los resultados en los tres casos de fibra macrosintética se concluirá cual dosificación en absorción de energía es el más apto, para la cantidad de fibra a utilizar según sea la necesidad del proyecto.

3.7.6. Paneles de concreto con fibra metálica baja

La energía teórica de la fibra metálica a tensión utilizada en los ensayos es de 72 Joule, el valor obtenido en cada uno de los paneles de concreto con fibra metálica baja son datos de energía de adherencia de fibra – concreto, siendo valores muy similares por el trabajo realizado en el sistema en conjunto por tal razón dan un promedio de 48 Joule.

3.7.7. Paneles de concreto con fibra metálica media

Los datos experimentales en cada panel muestran la absorción de energía muy similar entre ellas y comparativos con los de dosis baja promedian un valor de 54 Joule, sobrepasando en mínimo a la dosis baja y a la electromalla en absorción de energía.

3.7.8. Paneles de concreto con fibra metálica alta

La cantidad alta de fibra en el concreto mostró un resultado con poca diferencia en promedio de absorción de energía, en comparación de la cantidad de fibra media, observando que la compresión es la que dómino el ensayo en los paneles.

Para un cálculo con dosis de fibra óptimo en concreto de acuerdo a la necesidad del producto, se recomienda el cálculo de la cuantía de la fibra metálica no sobrepasando el dato técnico de 0,016 utilizando un $\emptyset = 65\%$ del inciso "b" otros elementos de refuerzo, página 124 número 9,3,2,1 capítulo 9 ACI.

3.7.8.1. Cálculo de cuantía de fibra metálica

$$\text{Volumen de panel } V = 0,60 \text{ m} * 0,60 \text{ m} * 0,10 \text{ m} = 0,036 \text{ m}^3$$

$$\text{Utilizando la ecuación del peso específico } \gamma = W_{\text{concreto}}/V$$

γ = peso específico del concreto

W = peso del concreto

V = volumen del panel

$$W_{\text{concreto}} = \gamma * V$$

$$W_{\text{concreto}} = (2\,260 \text{ Kg/m}^3) * (0,036\text{m}^3) = 81,36 \text{ Kg}$$

Cálculo de cuantía general

$$0,025 * 65 \% = 0,016 \quad \rightarrow \quad \rho_{\text{general}} \leq 0,016$$

Cálculo de cuantía por cantidad de dosificación de fibra metálica utilizada en los paneles de concreto

- Metálica dosis baja 1,11 Kg
 $\rho_{\text{baja}} = 1,11 \text{ Kg} / 81,36 \text{ Kg} = 0,014 \rightarrow 0,014 \leq 0,016$
- Metálica dosis media 1,39 Kg
 $\rho_{\text{media}} = 1,39 \text{ Kg} / 81,36 \text{ Kg} = 0,017 \rightarrow 0,017 \leq 0,016$
- Metálica dosis alta 1,67 Kg
 $\rho_{\text{alta}} = 1,67 \text{ Kg} / 81,36 \text{ Kg} = 0,020 \rightarrow 0,020 \leq 0,016$

De los cálculos, los datos experimentales solo la dosis baja metálica queda en el rango de la cuantía general, los siguientes datos sobrepasan el dato técnico de la cuantía general.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO

4.1. Procedimiento y secuencia de los cálculos obtenidos en laboratorio

Promediando los cinco paneles ensayados, se obtuvo la absorción de energía por cada dosificación de fibra metálica, macrosintética, electromalla y concreto normal.

Se realizó el cálculo promedio de cargas obtenidos en cada punto de los cinco paneles por cada dosificación, utilizando las tablas deflexión–carga y carga–energía se obtiene la gráfica carga–deflexión y energía absorbida se traza la gráfica con el método del comportamiento Newtoniano por criterio del asesor de tesis, procedimiento de línea recta en la cual en cada deformación corresponde una sola carga, obteniendo los datos de factor de trabajo, carga de diseño, zona elástica y resiliencia.

Valor de la resiliencia se considera como un 20 % de la deformación, los datos obtenidos servirán para el cálculo del factor de seguridad en los gráficos de carga–deflexión ($F_s = \text{carga última/carga de diseño}$) y energía–deflexión ($F_s = \text{carga de trabajo/carga de diseño}$).

Calculando la eficiencia de trabajo de cada absorción de energía por cada dosis por metro cúbico, esto para observar que material trabaja adecuadamente en conjunto con la absorción de energía requerida en los proyectos a trabajar.

4.1.1. Factor de seguridad y gráficas promedio de paneles sin refuerzo

En la primera parte, se compara la carga de diseño del comportamiento newtoniano, con el dato experimental calculado, siendo estos aceptados. Luego se calcula una eficiencia de trabajo en el concreto y el factor de seguridad.

Tabla LXIII. Cálculo promedio puntos de deflexión y carga concreto sin refuerzo

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
0,08	2
0,25	6
0,41	10
0,514	14
0,61	18
0,698	22
0,763	26
0,826	30
0,85	32
1,09	39

Carga última 39 KN

Fuente: elaboración propia.

La carga a tensión correspondiente a la deflexión de la longitud es 60 mm partido 180.

$$60 \text{ mm}/180 = 0,33 \text{ mm}$$

De la tabla LXIII la deflexión para el punto 0,33 mm corresponde a una carga de 8,5 KN, con un punto máximo de 32 KN y una deflexión de 0,85 en la gráfica del comportamiento newtoniano la carga de diseño es 25 KN.

$$25 \text{ KN}/32 \text{ KN} = 0,78$$

$$\text{Factor } 0,78/0,85 = \mathbf{0,9}$$

$$C = 0,85 * f'c * \text{Área}_{\text{Comp}}$$

$$C = 0,85 * 350 \text{ kg/cm}^2 * 10 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 2975 \text{ Kg}_f$$

$$2975 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 29,750 \text{ N}$$

$$29 \text{ KN} * 0,9 = 26 \text{ KN}$$

Carga de diseño = **26 KN**

4.1.1.1. Eficiencia de trabajo concreto sin refuerzo

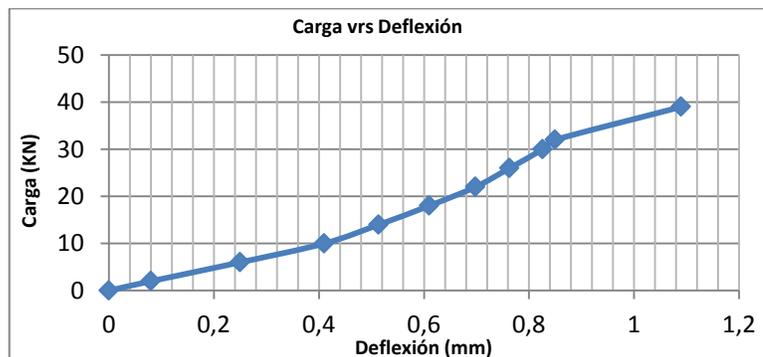
Eficiencia de trabajo ($E_f T_r$) = Energía absorbida

Dosis por metro cúbico

$$\text{Dosis por metro cúbico} = 0,036 \text{ m}^3 * 2400 \text{ Kg/m}^3 = 86,4 \text{ Kg}$$

$$E_f T_r = 16 \text{ J}/86,4 \text{ Kg} = \mathbf{0,18} \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$$

Figura 147. **Gráfica promedio de carga–deflexión, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

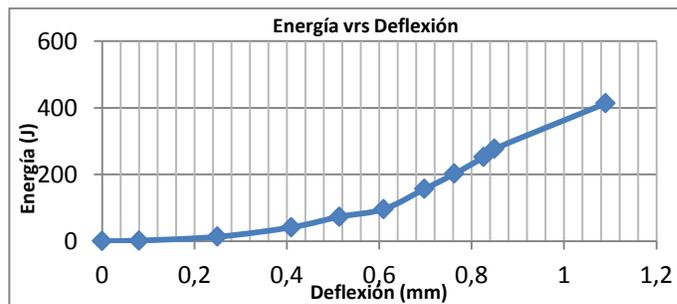
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{39 \text{ KN}}{26 \text{ KN}} = 1,5$$

Tabla LXIV. **Cálculo promedio energía absorbida concreto sin refuerzo**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
0,08	1,5
0,25	13
0,41	41,5
0,514	73
0,61	96
0,698	156,5
0,763	202
0,826	252
0,85	277
1,09	413

Fuente: elaboración propia.

Figura 148. **Gráfica promedio de energía absorbida, concreto sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{413 \text{ Joules}}{85 \text{ Joules}} = 4,86 \quad (4,86)^{-1} = 0,20$$

4.1.2. Factor de seguridad y gráfica promedio paneles con electromalla grado 70

Utilizando el trazo en gráfico con el comportamiento newtoniano, la zona elástica es 460 KN y la carga de diseño 540 KN.

$$460 \text{ KN}/540 \text{ KN} = 0,85$$

$$F_s = \frac{\text{C.T.}}{\text{C.D.}} = \frac{531 \text{ KN}/540 \text{ KN}}{(0,98)^{-1}} = 1$$

$$37 \text{ KN} * 1 = 37\,000 \text{ N} * 0,1 \text{ Kg}_f / 1 \text{ N} = 3\,700 \text{ Kg}_f$$

$$3\,700 \text{ Kg}_f * 0,85 = 3\,145 \text{ Kg}_f$$

$$\left. \begin{array}{l} 3\,145 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 31\,450 \text{ N} \rightarrow 31 \text{ KN} \\ 3\,700 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 37\,000 \text{ N} \rightarrow 37 \text{ KN} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (37 \text{ KN} - 31 \text{ KN})/2 = 3 \text{ KN} \\ 31 \text{ KN} + 3 \text{ KN} = 34 \text{ KN} \end{array}$$

$$F_s = \frac{\text{C.U.}}{\text{C.D.}} = \frac{37 \text{ KN}}{34 \text{ KN}} = 1,10$$

4.1.2.1. Eficiencia de trabajo electromalla grado 70

$$\text{Eficiencia de trabajo } (E_f T_r) = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Dosis por metro cúbico}}$$

$$\text{Dosis por metro cúbico } 5,5 \text{ m} * 0,113 \text{ cm}^2 / (100 \text{ cm})^2 * 7\,800 \text{ Kg/m}^3 = 0,4877 \text{ Kg}$$

$$0,4877 \text{ Kg} / (0,6 \text{ m} * 0,6 \text{ m} * 0,1 \text{ m}) = 13,46 \text{ Kg/m}^3$$

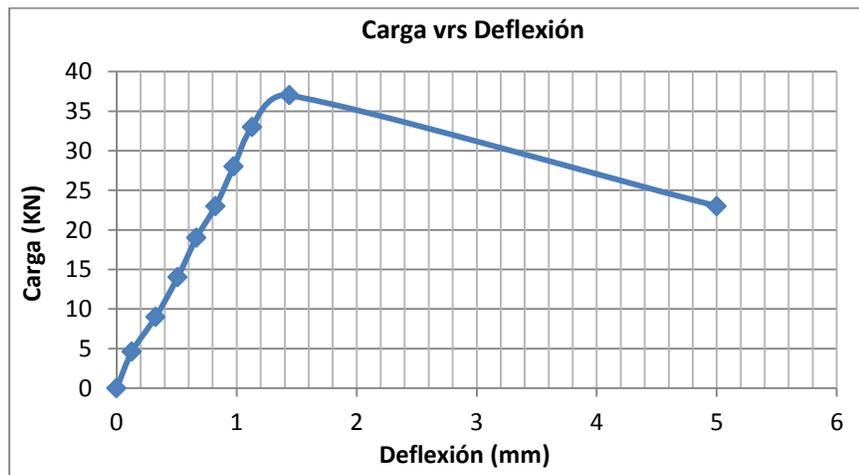
$$E_f T_r = 48 \text{ J} / 13,46 \text{ Kg/m}^3 = 3,7 \frac{\text{J-m}^3}{\text{Kg}}$$

Tabla LXV. **Cálculo promedio puntos de deflexión y carga eletromalla**

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
0,127	4,6
0,325	9
0,508	14
0,665	19
0,824	23
0,975	28
1,13	33
1,44	37
5	23

Fuente: elaboración propia.

Figura 149. **Gráfica promedio de carga–deflexión, electromalla**



Fuente: elaboración propia.

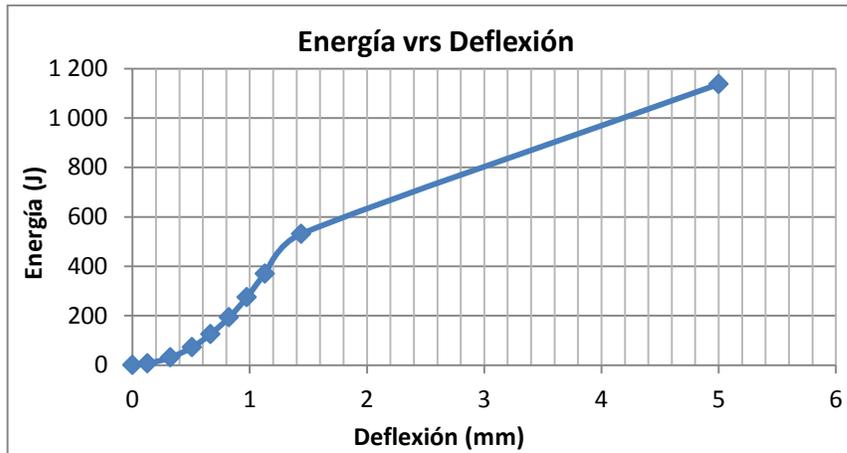
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{37 \text{ KN}}{34 \text{ KN}} = 1,10$$

Tabla LXVI. **Cálculo promedio energía absorbida electromalla**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
0,127	6
0,325	31
0,508	72
0,665	125
0,824	193
0,975	274
1,13	370
1,44	531
5	1 137

Fuente: elaboración propia.

Figura 150. **Gráfica promedio de energía absorbida, electromalla**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{531 \text{ Joules}}{540 \text{ Joules}} = 0,98 \quad (0,98)^{-1} = 1$$

4.1.3. Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra macrosintética dosis baja

Utilizando el trazo en gráfico con el comportamiento newtoniano, la zona elástica es 1 020 KN, carga de diseño 1 180 KN y carga de trabajo de 1 534 KN

$$1\ 020\ \text{KN}/1\ 180\ \text{KN} = 0,86$$

$$F_s = \frac{\text{C.T.}}{\text{C.D.}} = \frac{1\ 534\ \text{KN}}{1\ 180\ \text{KN}} = (1,3)^{-1} = 0,77$$

$$39,2\ \text{KN} * 0,77 = 30\ 184\ \text{N} * 0,1\ \text{Kg}_f/1\ \text{N} = 3\ 018\ \text{Kg}_f$$

$$3\ 018\ \text{Kg}_f * 0,86 = 2\ 596\ \text{Kg}_f$$

$$\left. \begin{array}{l} 2\ 596\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 25\ 960\ \text{N} \rightarrow 26\ \text{KN} \\ 3\ 018\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 30\ 180\ \text{N} \rightarrow 30\ \text{KN} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (30\ \text{KN} - 26\ \text{KN})/2 = 2\ \text{KN} \\ 26\ \text{KN} + 2\ \text{KN} = 28\ \text{KN} \end{array}$$

$$F_s = \frac{\text{C.U.}}{\text{C.D.}} = \frac{39,2\ \text{KN}}{28\ \text{KN}} = 1,40$$

4.1.3.1. Eficiencia de trabajo macrosintética baja

Dosis por metro cúbico 2 Kg/m³

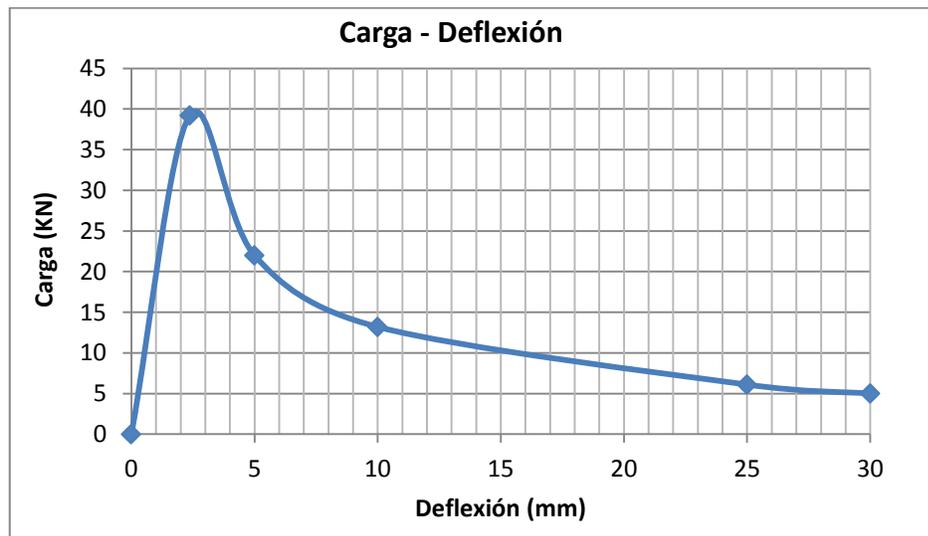
$$E_f T_r = 63,5\ \text{J}/2\ \text{Kg/m}^3 = 31,75\ \frac{\text{J-m}^3}{\text{Kg}}$$

Tabla LXVII. **Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra macrosintética dosis baja**

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
2,37	39,2
5	22
10	13,2
25	6,1
30	5

Fuente: elaboración propia.

Figura 151. **Gráfica promedio de carga–deflexión, macrosintética baja**



Fuente: elaboración propia.

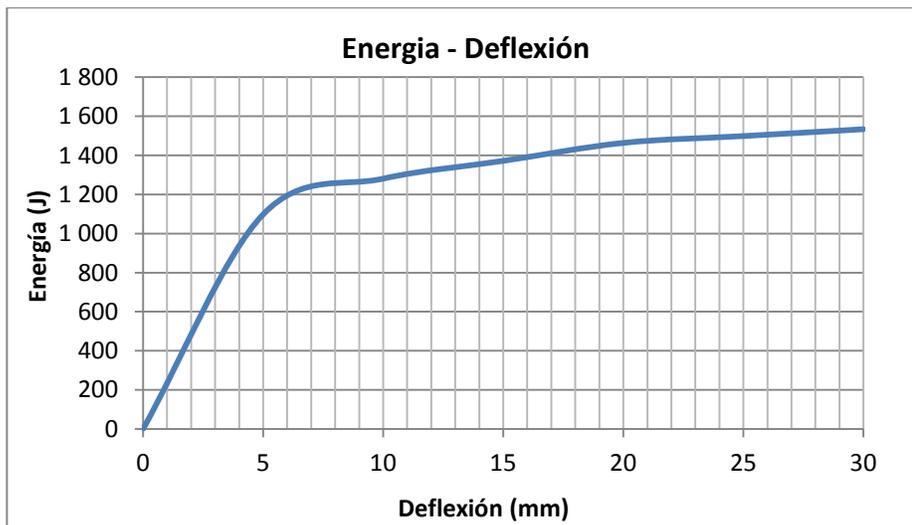
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{39,2 \text{ KN}}{28 \text{ KN}} = 1,40$$

Tabla LXVIII. **Cálculo promedio energía absorbida macrosintética baja**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
5	1 098
10	1 281
15	1 372
20	1 464
25	1 499
30	1 534

Fuente: elaboración propia.

Figura 152. **Gráfica promedio de energía absorbida, macrosintética baja**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{1\,534 \text{ Joules}}{1\,180 \text{ Joules}} = 1,30 \quad (1,30)^{-1} = \mathbf{0,77}$$

4.1.4. Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra macrosintética dosis media

Utilizando el trazo en gráfico con el comportamiento newtoniano, la zona elástica es 1 080 KN, carga de diseño 1 360 KN y carga de trabajo de 1 717 KN

$$1\ 080\ \text{KN}/1\ 360\ \text{KN} = 0,79$$

$$F_s = \frac{\text{C.T.}}{\text{C.D.}} = \frac{1\ 717\ \text{KN}}{1\ 360\ \text{KN}} = (1,26)^{-1} = 0,79$$

$$36,6\ \text{KN} * 0,79 = 29\ 000\ \text{N} * 0,1\ \text{Kg}_f/1\ \text{N} = 2\ 900\ \text{Kg}_f$$

$$2\ 900\ \text{Kg}_f * 0,79 = 2\ 291\ \text{Kg}_f$$

$$\left. \begin{array}{l} 2\ 291\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 22\ 910\ \text{N} \rightarrow 23\ \text{KN} \\ 2\ 900\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 29\ 000\ \text{N} \rightarrow 29\ \text{KN} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (29\ \text{KN} - 23\ \text{KN})/2 = 3\ \text{KN} \\ 23\ \text{KN} + 3\ \text{KN} = 26\ \text{KN} \end{array}$$

$$F_s = \frac{\text{C.U.}}{\text{C.D.}} = \frac{36,6\ \text{KN}}{26\ \text{KN}} = 1,41$$

4.1.4.1. Eficiencia de trabajo macrosintética media

Dosis por metro cúbico 5 Kg/m³

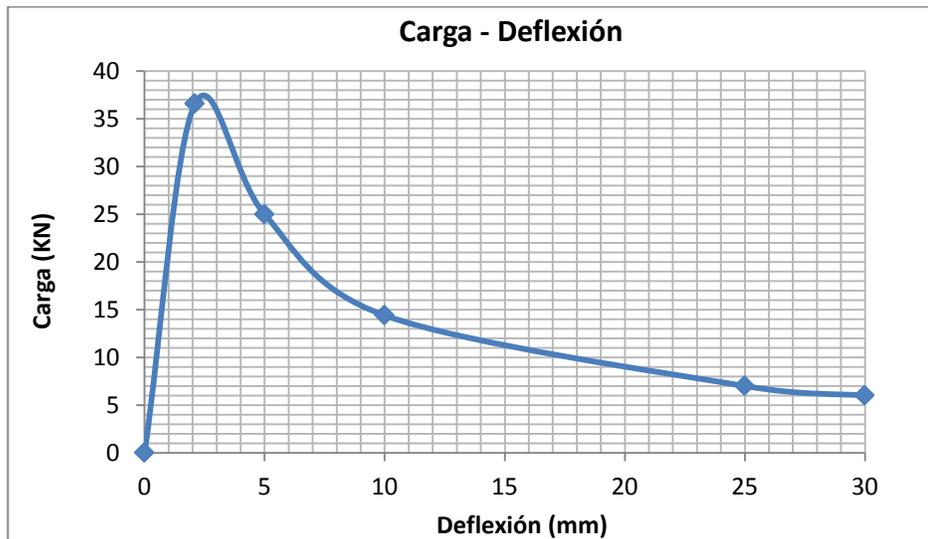
$$E_f T_r = 59\ \text{J}/5\ \text{Kg/m}^3 = 12 \frac{\text{J-m}^3}{\text{Kg}}$$

Tabla LXIX. **Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra macrosintética dosis media**

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
2,1	36,6
5	25
10	14,4
25	7
30	6

Fuente: elaboración propia.

Figura 153. **Gráfica promedio de carga–deflexión, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

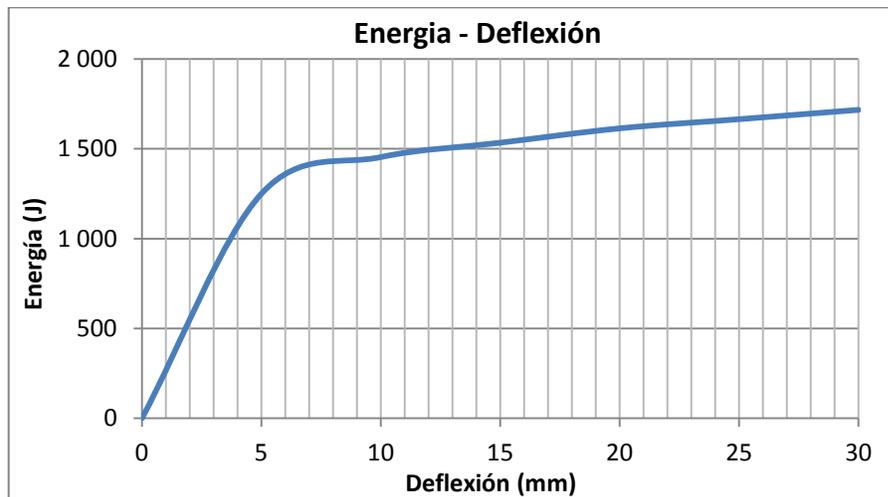
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{36,6 \text{ KN}}{26 \text{ KN}} = 1,41$$

Tabla LXX. **Cálculo promedio energía absorbida macrosintética media**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
5	1 250
10	1 454
15	1 534
20	1 614
25	1 665
30	1 717

Fuente: elaboración propia.

Figura 154. **Gráfica promedio de energía absorbida, macrosintética media**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{1\,717 \text{ Joules}}{1\,360 \text{ Joules}} = 1,26 \quad (1,26)^{-1} = \mathbf{0,79}$$

4.1.5. Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra macrosintética dosis alta

Utilizando el trazo en gráfico con el comportamiento newtoniano, la zona elástica es 1 120 KN, carga de diseño 1 320 KN y carga de trabajo de 1 758 KN.

$$1\ 120\ \text{KN}/1\ 320\ \text{KN} = 0,85$$

$$F_s = \frac{\text{C.T.}}{\text{C.D.}} = \frac{1\ 758\ \text{KN}}{1\ 320\ \text{KN}} = (1,33)^{-1} = 0,75$$

$$38\ \text{KN} * 0,77 = 29\ 260\ \text{N} * 0,1\ \text{Kg}_f/1\ \text{N} = 2\ 926\ \text{Kg}_f$$

$$2\ 926\ \text{Kg}_f * 0,85 = 2\ 487\ \text{Kg}_f$$

$$\left. \begin{array}{l} 2\ 487\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 24\ 870\ \text{N} \rightarrow 25\ \text{KN} \\ 2\ 926\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 29\ 260\ \text{N} \rightarrow 29\ \text{KN} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (29\ \text{KN} - 25\ \text{KN})/2 = 2\ \text{KN} \\ 25\ \text{KN} + 2\ \text{KN} = 27\ \text{KN} \end{array}$$

$$F_s = \frac{\text{C.U.}}{\text{C.D.}} = \frac{38\ \text{KN}}{27\ \text{KN}} = 1,41$$

4.1.5.1. Eficiencia de trabajo macrosintética alta

Dosis por metro cúbico 8 Kg/m³

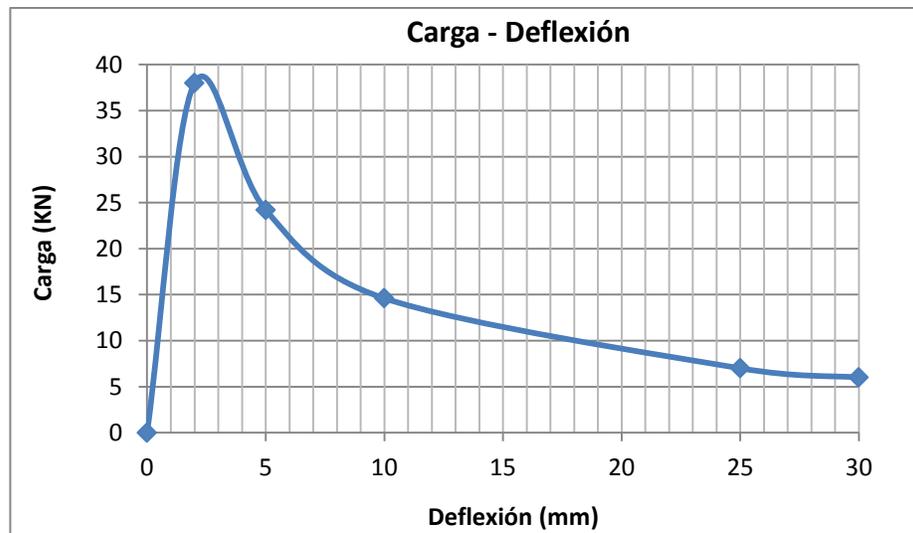
$$E_f T_r = 60,5\ \text{J}/8\ \text{Kg/m}^3 = 7,6\ \frac{\text{J-m}^3}{\text{Kg}}$$

Tabla LXXI. **Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra macrosintética dosis alta**

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
2	38
5	24,2
10	14,6
25	7
30	6

Fuente: elaboración propia.

Figura 155. **Gráfica promedio de carga-deflexión, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

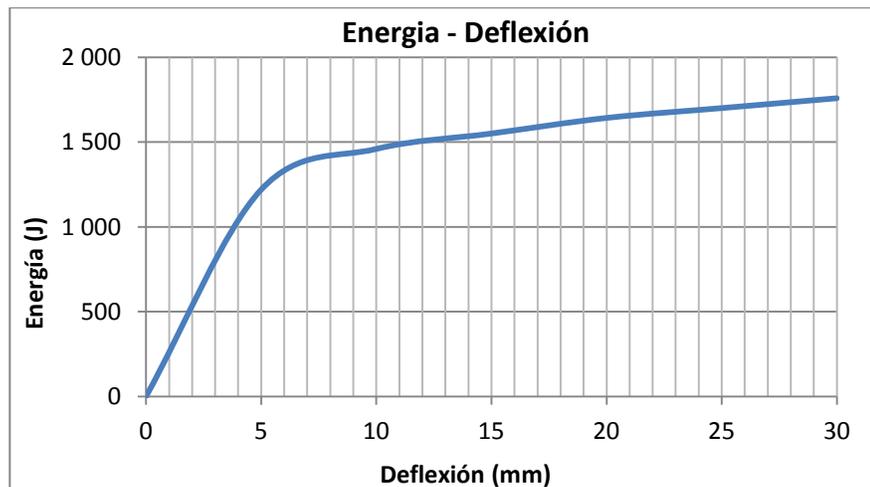
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{38 \text{ KN}}{27 \text{ KN}} = 1,41$$

Tabla LXXII. **Cálculo promedio energía absorbida macrosintética alta**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
5	1 219
10	1 459
15	1 550
20	1 642
25	1 700
30	1 758

Fuente: elaboración propia.

Figura 156. **Gráfica promedio de energía absorbida, macrosintética alta**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{1\,758 \text{ Joules}}{1\,320 \text{ Joules}} = 1,33 \quad (1,33)^{-1} = \mathbf{0,75}$$

4.1.6. Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra metálica dosis baja

Utilizando el trazo en gráfico con el comportamiento newtoniano, la zona elástica es 700 KN, carga de diseño 950 KN y carga de trabajo de 1 280 KN.

$$700 \text{ KN}/950 \text{ KN} = 0,74$$

$$F_s = \frac{\text{C.T.}}{\text{C.D.}} = \frac{1\,280 \text{ KN}}{950 \text{ KN}} = (1,35)^{-1} = 0,74$$

$$47 \text{ KN} * 0,74 = 34\,780 \text{ N} * 0,1 \text{ Kg}_f/1 \text{ N} = 3\,478 \text{ Kg}_f$$

$$3\,478 \text{ Kg}_f * 0,74 = 2\,574 \text{ Kg}_f$$

$$\left. \begin{array}{l} 2\,574 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 25\,740 \text{ N} \rightarrow 26 \text{ KN} \\ 3\,478 \text{ Kg}_f * 10 \text{ m/s}^2 = 34\,780 \text{ N} \rightarrow 35 \text{ KN} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (35 \text{ KN} - 26 \text{ KN})/2 = 4,5 \text{ KN} \\ 26 \text{ KN} + 4,5 \text{ KN} = 30 \text{ KN} \end{array}$$

$$F_s = \frac{\text{C.U.}}{\text{C.D.}} = \frac{47 \text{ KN}}{30 \text{ KN}} = 1,57$$

Valor de resiliencia se considera como un 20 % de la deformación, de acuerdo al ACI-518-11 capítulo 20. La deformación remanente no será mayor al 20 %.

$$30 \text{ mm} * 0,74 = 22,2 * 20 \% = 4,44$$

4.1.6.1. Eficiencia de trabajo metálica baja

Dosis por metro cúbico 30,83 Kg/m³

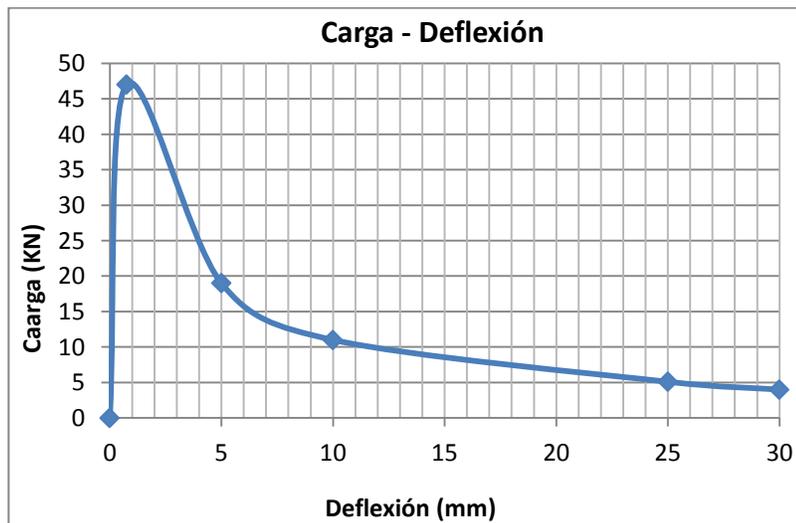
$$E_f T_r = 48 \text{ J}/30,83 \text{ Kg/m}^3 = 1,56 \frac{\text{J-m}^3}{\text{Kg}}$$

Tabla LXXIII. **Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra metálica dosis baja**

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
0,75	47
5	19
10	11
25	5,1
30	4

Fuente: elaboración propia.

Figura 157. **Gráfica promedio de carga–deflexión, metálica baja**



Fuente: elaboración propia.

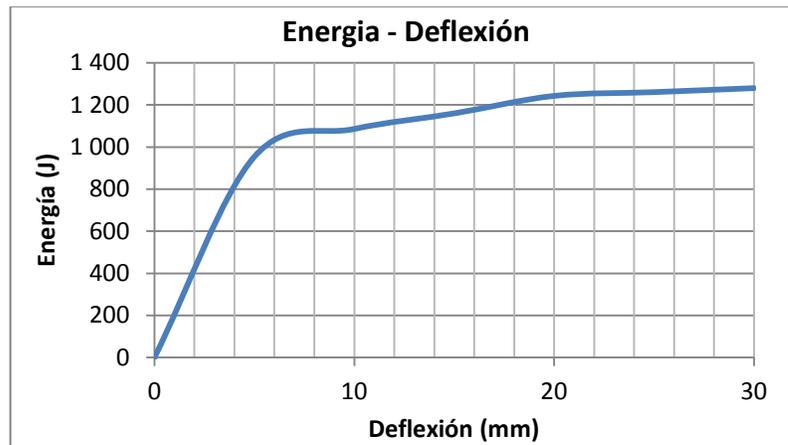
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{47 \text{ KN}}{30 \text{ KN}} = 1,57$$

Tabla LXXIV. **Cálculo promedio energía absorbida metálica baja**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
5	954
10	1 086
15	1 160
20	1 243
25	1 261
30	1 280

Fuente: elaboración propia.

Figura 158. **Gráfica promedio de energía absorbida, metálica baja**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{1\,280 \text{ Joules}}{950 \text{ Joules}} = 1,35 \quad (1,35)^{-1} = \mathbf{0,74}$$

4.1.7. Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra metálica dosis media

Utilizando el trazo en gráfico con el comportamiento newtoniano, la zona elástica es 1 200 KN, carga de diseño 1 395 KN y carga de trabajo de 2 054 KN.

$$1\ 200\ \text{KN}/1\ 395\ \text{KN} = 0,86$$

$$F_s = \frac{\text{C.T.}}{\text{C.D.}} = \frac{2\ 054\ \text{KN}}{1\ 395\ \text{KN}} = (1,472)^{-1} = 0,68$$

$$49\ \text{KN} * 0,68 = 33\ 320\ \text{N} * 0,1\ \text{Kg}_f/1\ \text{N} = 3\ 332\ \text{Kg}_f$$

$$3\ 332\ \text{Kg}_f * 0,86 = 2\ 865,5\ \text{Kg}_f$$

$$\left. \begin{array}{l} 2\ 865,5\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 28\ 655\ \text{N} \rightarrow 29\ \text{KN} \\ 3\ 332\ \text{Kg}_f * 10\ \text{m/s}^2 = 33\ 320\ \text{N} \rightarrow 33\ \text{KN} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (33\ \text{KN} - 29\ \text{KN})/2 = 2\ \text{KN} \\ 29\ \text{KN} + 2\ \text{KN} = 31\ \text{KN} \end{array}$$

$$F_s = \frac{\text{C.U.}}{\text{C.D.}} = \frac{49\ \text{KN}}{31\ \text{KN}} = 1,58$$

4.1.7.1. Eficiencia de trabajo metálica media

Dosis por metro cúbico 38,61 Kg/m³

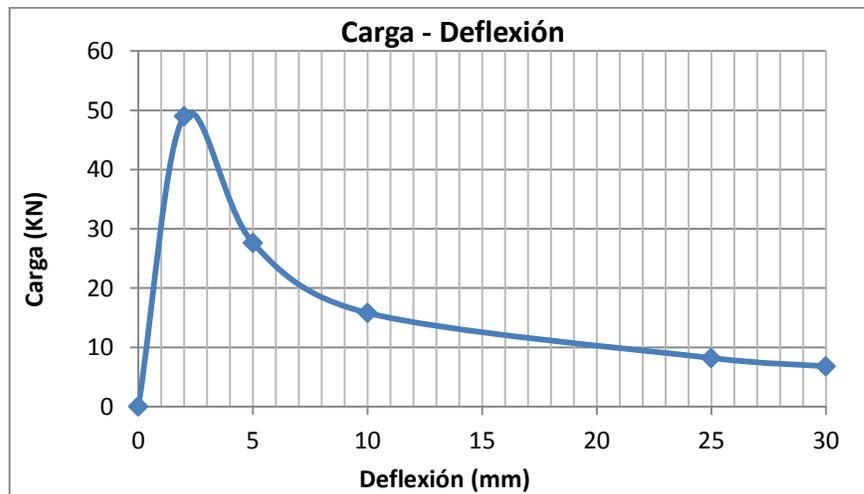
$$E_f T_r = 54\ \text{J}/38,61\ \text{Kg/m}^3 = \mathbf{1,40} \frac{\text{J-m}^3}{\text{Kg}}$$

Tabla LXXV. **Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibrametálica dosis media**

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
2	49
5	27,6
10	15,8
25	8,2
30	6,8

Fuente: elaboración propia.

Figura 159. **Gráfica promedio de carga-deflexión, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

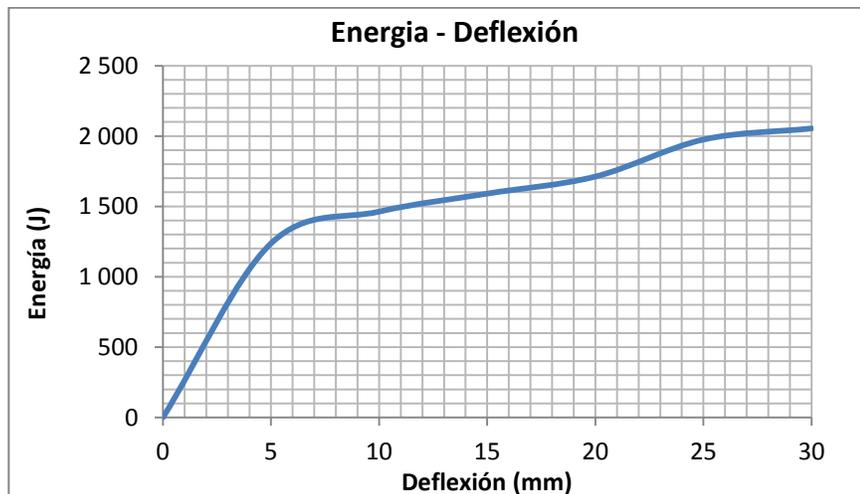
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{49 \text{ KN}}{31 \text{ KN}} = 1,58$$

Tabla LXXVI. **Cálculo promedio energía absorbida metálica media**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
5	1 237
10	1 463
15	1 591
20	1 712
25	1 975
30	2 054

Fuente: elaboración propia.

Figura 160. **Gráfica promedio de energía absorbida, metálica media**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{2\,054 \text{ Joules}}{1\,395 \text{ Joules}} = 1,47 \quad (1,47)^{-1} = \mathbf{0,68}$$

4.1.8. Factor de seguridad y gráfica promedio de fibra metálica dosis alta

Utilizando el trazo en gráfico con el comportamiento newtoniano, la zona elástica es 1 300 KN, carga de diseño 1 450 KN y carga de trabajo de 1 927 KN.

$$1\,300\text{ KN}/1\,450\text{ KN} = 0,90$$

$$F_s = \frac{\text{C.T.}}{\text{C.D.}} = \frac{1\,927\text{ KN}}{1\,450\text{ KN}} = (1,328)^{-1} = 0,75$$

$$45\text{ KN} * 0,75 = 33\,750\text{ N} * 0,1\text{ Kg}_f/1\text{ N} = 3\,375\text{ Kg}_f$$

$$3\,375\text{ Kg}_f * 0,90 = 3\,037,5\text{ Kg}_f$$

$$\left. \begin{array}{l} 3\,037,5\text{ Kg}_f * 10\text{ m/s}^2 = 30\,375\text{ N} \rightarrow 30\text{ KN} \\ 3\,375\text{ Kg}_f * 10\text{ m/s}^2 = 33\,750\text{ N} \rightarrow 34\text{ KN} \end{array} \right\} \begin{array}{l} (34\text{ KN} - 30\text{ KN})/2 = 2\text{ KN} \\ 30\text{ KN} + 2\text{ KN} = 32\text{ KN} \end{array}$$

$$F_s = \frac{\text{C.U.}}{\text{C.D.}} = \frac{45\text{ KN}}{32\text{ KN}} = 1,41$$

4.1.8.1. Eficiencia de trabajo metálica alta

Dosis por metro cúbico 46,4 Kg/m³

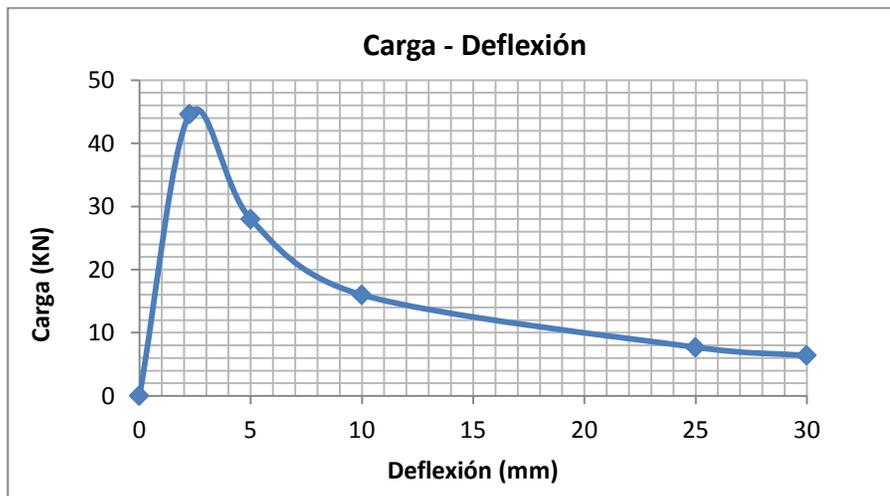
$$E_f T_r = 58\text{ J}/46,4\text{ Kg/m}^3 = 1,25 \frac{\text{J-m}^3}{\text{Kg}}$$

Tabla LXXVII. **Cálculo promedio puntos de deflexión y carga fibra metálica dosis alta**

Deflexión (mm)	Carga (KN)
0	0
2,26	45
5	28
10	16
25	7,7
30	6,4

Fuente: elaboración propia.

Figura 161. **Gráfica promedio de carga–deflexión, metálica alta**



Fuente: elaboración propia.

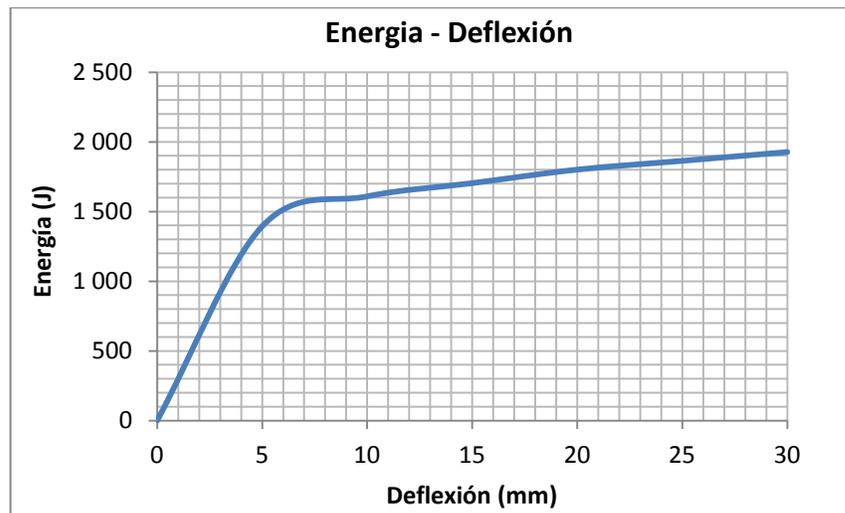
$$F_s = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{45 \text{ KN}}{32 \text{ KN}} = 1,41$$

Tabla LXXVIII. **Cálculo promedio energía absorbida metálica alta**

Deflexión (mm)	Energía (Joule)
0	0
5	1 393
10	1 609
15	1 704
20	1 801
25	1 864
30	1 927

Fuente: elaboración propia.

Figura 162. **Gráfica promedio de energía absorbida, metálica alta**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{1\,927 \text{ Joules}}{1\,450 \text{ Joules}} = 1,33 \quad (1,33)^{-1} = \mathbf{0,75}$$

4.2. Determinación de la absorción de energía en cada panel reforzado

Resultados numéricos finales para cada material y dosificación utilizada.

Tabla LXXIX. Datos finales

MATERIAL: concreto sin refuerzo

PESO Kg	CANTIDAD GENERADA DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA (Joule)	EFICIENCIA DE TRABAJO J/Kg	FACTOR DE SEGURIDAD	
			$F_s = \frac{c.M.}{c.D.}$	$F_s = \frac{c.T.}{c.D.}$
86,4	16	0,18	1,5	0,20
MATERIAL: concreto y electromalla grado 70				
DOSIFICACIÓN Kg/m ³	CANTIDAD GENERADA DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA (Joule)	EFICIENCIA DE TRABAJO (J - m ³)/Kg	FACTOR DE SEGURIDAD	
			$F_s = \frac{c.M.}{c.D.}$	$F_s = \frac{c.T.}{c.D.}$
13,46	48	3,7	1,10	1
MATERIAL: concreto y fibra macrosintética Sika Fiber Force PP/PE-700/55				
2 Kg/m ³	63,5 J	31,75 $\frac{J-m^3}{Kg}$	1,40	0,77
5 Kg/m ³	59 J	12 $\frac{J-m^3}{Kg}$	1,41	0,79
8 Kg/m ³	60,5 J	7,6 $\frac{J-m^3}{Kg}$	1,41	0,75
MATERIAL: concreto y fibra metálica Sika Fiber CHO65/35 NB				
30 Kg/m ³	48 J	1,56 $\frac{J-m^3}{Kg}$	1,57	0,74
38,61 Kg/m ³	54 J	1,40 $\frac{J-m^3}{Kg}$	1,58	0,68
45 Kg/m ³	58 J	1,25 $\frac{J-m^3}{Kg}$	1,41	0,75

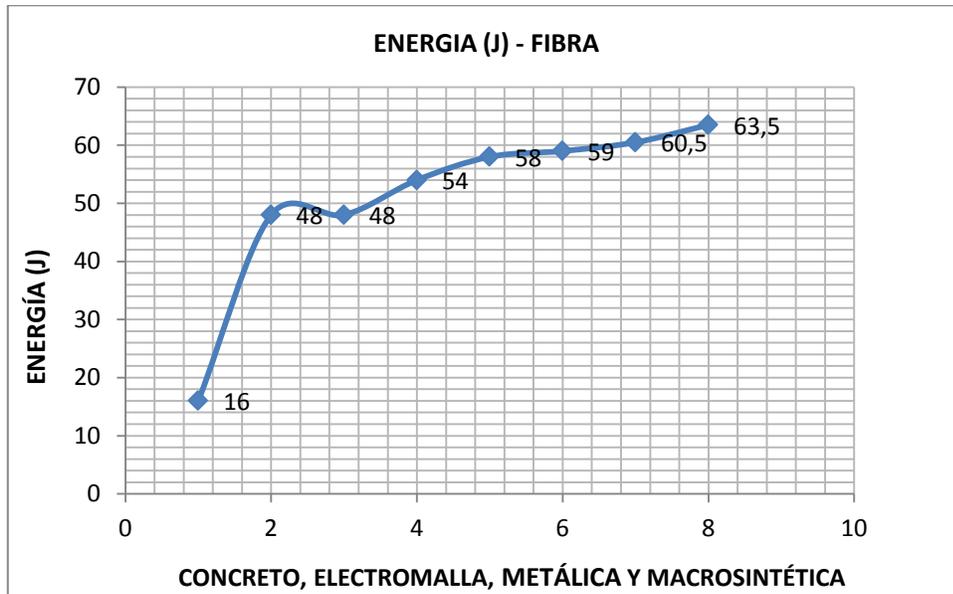
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXX. Datos finales fibra-energía

Fibra	Energía (Joule)	Área mm ²	Energía / Área Joules/mm ²
Concreto	16	10	1,6
Electromalla	48	11,3	4,25
Metálica baja	48	0,2	240
Metálica media	54	0,2	270
Metálica alta	58	0,2	290
Macrosintética media	59	0,503	117,30
Macrosintética alta	60,5	0,503	120,30
Macrosintética baja	63,5	0,503	126,24

Fuente: elaboración propia.

Figura 163. Gráfica energía final-fibras



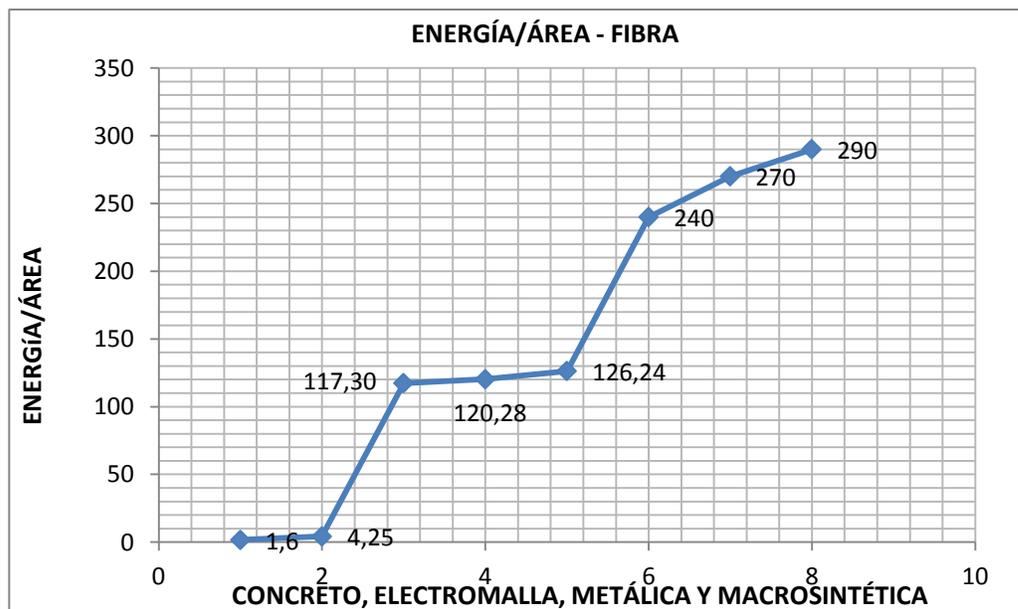
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. Datos finales fibra-energía por unidad de área

Fibra	Energía / Área Joules/mm ²
Concreto	1,6
Electromalla	4,25
Macrosintética media	117,30
Macrosintética alta	120,28
Macrosintética baja	126,24
Metálica baja	240
Metálica media	270
Metálica alta	290

Fuente: elaboración propia.

Figura 164. Gráfica energía por unidad de área-fibras



Fuente: elaboración propia.

5. COSTOS DE LOS MATERIALES PROPUESTOS COMPARADOS CON LOS MATERIALES TRADICIONALES

Se muestran las tablas con los precios actuales y reales en el mercado de la construcción, los cuales son los siguientes.

5.1. Determinación del costo según materiales tradicionales

Los materiales tradicionales serán el concreto sin refuerzo y los propuestos serán los agregados con fibra y electromalla.

Tabla LXXXII. **Precio total para un metro cúbico de concreto sin refuerzo**

Los precios y totales anotados en las tablas tienen un valor en quetzales

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE BOLSA Q	PRECIO m ³	TOTAL
Cemento	311	Kg	2,14	91,00	-	666,00
Agregado grueso ¾"	582	Kg	0,20	-	200,00	116,40
Agregado grueso 3/8"	386	Kg	0,20	-	200,00	77,20
Arena triturada	874	Kg	0,14	-	140,00	122,36
Aditivo reductor de agua	0,933	Lt	60,58	-	-	56,52
Agua	183	Kg	0,02	-	20,00	36,60

TOTAL Σ 1 075,08

Fuente: elaboración propia.

5.2. Determinación del costo de material y fibra macrosintética

El precio de la fibra en kilogramos está para las tres diferentes dosificaciones, luego se suma a la del concreto sin refuerzo.

Tabla LXXXIII. **Precio total para un metro cúbico de concreto con fibra macrosintética**

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE BOLSA Q	TOTAL
Fibra macrosintética dosis baja	2	Kg	50,38	50,38	100,76
					<u>1 075,08</u>
TOTAL					Σ 1 175,84
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE BOLSA Q	TOTAL
Fibra macrosintética dosis media	5	Kg	50,38	50,38	251,90
					<u>1 075,08</u>
TOTAL					Σ 1 326,98
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE BOLSA Q	TOTAL
Fibra macrosintética dosis alta	8	Kg	50,38	50,38	403,04
					<u>1 075,08</u>
TOTAL					Σ 1 478,12

Fuente: elaboración propia.

5.3. Determinación del costo de material y fibra metálica

El precio de la fibra en kilogramos está para las tres diferentes dosificaciones, luego se suma a la del concreto sin refuerzo.

Tabla LXXXIV. **Precio total para un metro cúbico de concreto con fibra metálica**

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE BOLSA Q	TOTAL
Fibra metálica dosis baja	30	Kg	26,58	531,55	797,40
					<u>1 075,08</u>
TOTAL					Σ 1 872,48
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE BOLSA Q	TOTAL
Fibra metálica dosis media	37,5	Kg	26,58	531,55	996,75
					<u>1 075,08</u>
TOTAL					Σ 2 071,83
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE BOLSA Q	TOTAL
Fibra metálica dosis alta	45	Kg	26,58	531,55	1196,10
					<u>1 075,08</u>
TOTAL					Σ 2 271,18

Fuente: elaboración propia.

5.4. Determinación del costo de material y electromalla

El precio de la elctromalla en kilogramos está para las tres diferentes dosificaciones, luego se suma a la del concreto sin refuerzo.

Tabla LXXXV. **Precio total para un metro cúbico de concreto con electromalla**

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Q	PRECIO DE PLIEGO Q	TOTAL
Electromalla	8,89	Kg	2,00	94,00	17,78

1 075,08

TOTAL Σ 1 092,86

Los precios varían respecto al cambio de valor de los materiales al día.

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Por ser concreto sin refuerzo se obtuvo una falla balanceada de resistencia a tensión y a flexión.
2. Con una deformación unitaria exacta de 0,003 en la zona de resiliencia.
3. El lapso de tiempo entre diferentes bachadas, en un mismo molde, provoca que la tenacidad falle en el cálculo de los resultados parciales y finales.
4. La absorción de energía promediada del concreto sin refuerzo es de 16 Joule.

peso Kg	cantidad generada de absorción de energía (Joule)	eficiencia de trabajo J/Kg	factor de seguridad	
			$F_s = \frac{c.u.}{c.D.}$	$F_s = \frac{c.T.}{c.D.}$
86,4	16	0,18	1,5	0,20

5. En la tabla anterior se observa que el trabajo de absorción de energía óptimo propuesto por el concreto es muy bajo en comparación de los resultados anteriores de fibras y electromalla.
6. En secciones controladas por tracción para el concreto el factor f_i es $\emptyset = 0,9$. El factor de seguridad en el gráfico carga-deflexión, es de un 50 % de fragilidad del concreto, comportándose más crítico.

7. El sistema concreto–electromalla tiene un comportamiento adecuado dentro de los límites de porcentaje de resistencia del acero.
8. Llegando a trabajar con una absorción de energía de 48 Joule, similar a la dosis baja de la fibra metálica, utilizando una cuantía muy cercana al límite del factor de seguridad.
9. La electromalla siempre será utilizado como un refuerzo óptimo en estructuras, pero de menor trabajo en absorción de energía en comparación con la fibra metálica y macrosintética en la construcción.

dosificación Kg/m ³	cantidad generada de absorción de energía (Joule)	eficiencia de trabajo (J – m ³)/Kg	factor de seguridad	
			$F_s = \frac{c.u.}{c.D.}$	$F_s = \frac{c.T.}{c.D.}$
13,46	48	3,7	1,10	1

10. En la tabla anterior se observa el trabajo proporcional de absorción de energía óptimo de concreto y el acero, fallando hasta el nivel máximo de ruptura.
11. El factor de seguridad en el gráfico carga–deflexión para electromalla, mantiene su trabajabilidad proporcionada con el acero hasta un 10 % adicional a su valor de diseño, previo al llegar a la falla.
12. Se tiene una resistencia a tensión de un 10 % extra del acero en la zona de tensión y compresión donde el concreto está fallado.

13. La dosis baja de fibra macrosintética es la mejor cantidad para absorber energía en comparación con las otras dosificaciones, con una eficiencia de trabajo óptimo.
14. La dosificación media y alta de la fibra macrosintética son muy similares en la absorción de energía, en su aspecto físico y mecánico, por terminar la fibra en su elongación máxima sin llegar al punto de ruptura.
15. El factor modular de adherencia entre la fibra macrosintética y metálica es $\emptyset = 0,81$ para un factor de seguridad de 0,61.
16. La eficiencia de la macrosintética en función de la adherencia es menor a la comparación de la fibra metálica.

material	dosificación	cantidad generada de absorción de energía (Joules)	eficiencia de trabajo $(\frac{J-m^3}{Kg})$
fibra macrosintética baja	2 Kg/m³	63,5	31,75
fibra macrosintética media	5 Kg/m³	59	12
fibra macrosintética alta	8 Kg/m³	60,5	7,6

17. En la tabla se observa que un trabajo de absorción de energía óptimo, se utiliza la dosis baja por tener una proporcionalidad a la fibra y al concreto óptimo, en la dosis media su absorción de energía se mantiene en buena cantidad pero el concreto se fatiga muy rápidamente, y en la dosificación de fibra alta se observa que trabaja muy similar a la dosificación media.

18. El factor de seguridad en el gráfico carga-deflexión, para la fibra macrosintética, indica que el sistema puede mantener su integridad, proporcionada fundamentalmente por la fibra en 41 %, adicionada a su valor de diseño, previo al llegar a la falla.
19. La capacidad de resistencia a tensión de un 41 % adicional, ya que la fibra aumenta en ambas zonas, (tensión y compresión), induciendo la falla el concreto por compresión.
20. La energía de la fibra metálica utilizada a tensión calculada a partir de las características físicas y mecánicas es de 72 Joule.
21. Por las características físicas de la fibra al tener una forma “[”, la cual está adherida al concreto, se ve sometida a esfuerzos de tensión; por la acción de la fricción entre la fibra y el concreto, resulta un valor máximo de la fibra de 80 % de esta teórica (57,6 Joule).
22. De la dosificación baja, media y alta de fibra se obtuvo que la dosis media y alta son similares y trabajan como la dosis baja, debido a que sobrepasan la cuantía general en fibra ($\rho_{\text{general}} \leq 0,015$).
23. El factor recomendado de la energía de diseño respecto a la energía última es 0,75.

material	dosificación	cantidad generada de absorción de energía (Joules)	eficiencia de trabajo ($\frac{J-m^3}{Kg}$)
fibra metálica baja	30 Kg/m³	48	1,56
fibra metálica media	38,61 Kg/m³	54	1,40
fibra metálica alta	45 Kg/m³	58	1,25

24. En la tabla anterior se observa que un trabajo de absorción de energía óptimo se utiliza la dosificación baja, por tener una proporcionalidad a la fibra y al concreto, en la dosis media y alta es solo proporcional a la fibra.
25. El factor de seguridad en el grafico carga-deflexión, para la fibra metálica, indica que el sistema puede mantener su integridad, proporcionada fundamentalmente por la fibra metálica, hasta un 58 % adicional a su valor de diseño, previo al llegar a la falla.
26. La capacidad de resistencia a tensión de un 58 % adicional, ya que la fibra aumenta en ambas zonas (tensión y compresión), induciendo la falla del concreto por compresión.

RECOMENDACIONES

1. No se debe dejar parte de la mezcla de concreto en los moldes, en un tiempo muy largo y luego complementarlo con otra batchada esto provoca junta fría, no importando que sea de la misma proporción y dosificación.
2. Realizar el trabajo con un control adecuado de mezclado, tiempo y curado.
3. Llevar un control adecuado en tiempo y proporción cuando al concreto se le agregue un aditivo específico.
4. Realizar el curado adecuado a los paneles terminados para que el cemento hidrate a un tiempo deseable.
5. No colocar electromalla mayor a la cuantía de acero sugerida.
6. La cantidad superior a la cuantía de acero recomendada convierte la estructura muy dúctil y de poca resistencia, por lo tanto calcularlo antes de indicar una dosificación de fibra específica.
7. Para un mejor trabajo en absorción de energía se recomienda las fibras metálicas y macrosintéticas en términos de comparación con la electromalla.
8. Tomar en cuenta la cantidad de dosificación de cada fibra para sustitución de la cantidad requerida de electromalla.

9. No exceder la dosis alta y media de fibra macrosintética, en comparación de la dosis baja, para la obtención de absorción de energía y eficiencia de trabajo.
10. Si se requiere una posible mejor absorción de energía con fibra macrosintética, realizar ensayos con dosis menores a 5 Kg/m^3 .
11. No colocar dosis de fibra macrosintética muy altas por falla a tensión de la fibra, llegando a la ruptura.
12. Se puede utilizar la dosis alta de fibra macrosintética cuando se requiera una absorción de energía comparativa a la fibra metálica alta y un factor $\emptyset = 0,75$ que es similar a la fibra metálica dosis alta.
13. La máxima resistencia a tensión de la fibra metálica para absorción de energía es 72 Joule, por lo tanto no sobrepasar la cuantía de acero de 0,75 ya que proporciona más energía al sistema y rompe la fibra.
14. Determinar la relación entre la carga de trabajo y la de diseño para un factor de seguridad de 0,75, que indica el trabajo que la fibra y el concreto trabajan en adherencia.
15. No exceder la cantidad de fibra, ya que provoca falla a flexión muy temprana, por consiguiente, trabajando de manera frágil y la misma puede romper en el desarrollo de la absorción de energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARRASCO, María Fernanda. “Unidad 3. Rocas y agregados para hormigones”. En: *[Apuntes de cátedra de Tecnología del Hormigón]* [en línea]. Santa Fe, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Santa Fe, [ref. marzo de 2013]. p. 25.
<<http://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%203%20-%20ROCAS%20Y%20AGREGADOS%20PARA%20HORMIGONES.pdf>>.
2. D’AMICO, Alessandro. “Concreto reforzado con fibras y concreto lanzado”. En: *Nuevos métodos de ensaye* [en línea]. México: IMCYC, [ref. agosto de 2012]. p. 26-29.
<<http://www.imcyc.com/revistacyt/agosto2012/pdfs/tecnologia.pdf>>.
3. GARCÍA, T. et al. “Evaluación de la tenacidad en el hormigón proyectado reforzado con fibras poliméricas de alto módulo”. [en línea]. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2004, vol. 43, núm. 2, pp. 552-555.
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2473/aguado_boletin_2.pdf?sequence=1>.
4. LÓPEZ RIVERA, Juan Borman Emanuel. *Evaluación del uso de sistemas constructivos, basados en electropanel de poliestireno expandidos, ondulado y reforzado con electromalla de acero*

galvanizado y reticulado. [en línea]. Corzo Ávila, Mario Rodolfo (asesor). Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, 113 p. <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3416_C.pdf>. [Consulta: octubre de 2014].

5. Clasificación Internacional de Patentes. *Losas de concreto reforzado con fibras de acero*. [en línea]. Tesis Ingeniería Civil, 2014. Perú: 116 p. <<http://cip.org.pe/imagenes/temp/tesis/40625031.pdf>>. [Consulta: septiembre de 2014].
6. *Mallas electrosoldadas*. [en línea]. <<http://formin.galeon.com/album1599701.html>>. [Consulta: octubre de 2014].
7. *Manual de laboratorio del curso de materiales de construcción*. Ordoñez, Gabriel (rev.); Mejjicanos, Dilma (rev.); Alvarado, Paulino (rev.). Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 145 p.
8. MÁRMOL SALAZAR, Patricia Cristina. *Hormigones con fibras de acero: características mecánicas*. [en línea]. Lucea Martínez, Ildefonso (tut. proy.). Tesis de Máster en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 81 p. <http://oa.upm.es/4510/1/TESIS_MASTER_PATRICIA_CRISTINA_MARMOL_SALAZAR.pdf>. [Consulta: septiembre de 2014].

9. PURCELL, Edwin J; VARGERG, Dale. *Cálculo con geometría analítica*. 6a ed. México: Prentice Hall, 1993. 924 p. ISBN 968-880-338-3.

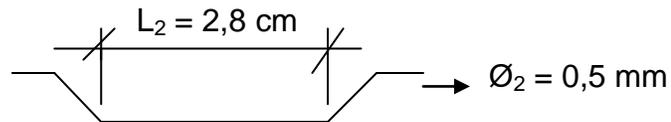
10. RIVAZ, Benoit de. Ensayo de caracterización de hormigón proyectado reforzado con fibras, para la elección de la fibra adecuada para el uso correcto. *Revista AMITOS*. [en línea]. Julio-septiembre 2011, núm. 83 pp. 22-25. <http://issuu.com/amitos/docs/bolet_n__amitos_83_baja/27>.

APÉNDICES

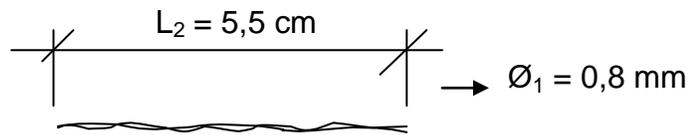
Apéndice 1. Relación de diámetros y longitudes, de fibra metálica y macrosintética para un factor de seguridad y modular

Factor modular de adherencia entre la fibra metálica y la macrosintética.

Datos de fibra metálica



Datos de fibra macrosintética



$$\frac{\text{Ø}_2}{\text{Ø}_1} = \frac{0,5 \text{ mm}}{0,8 \text{ mm}} = 0,62 \quad \frac{L_1}{L_2} = \frac{5,5 \text{ mm}}{2,8 \text{ mm}} = 1,96$$

$$0,62 * 1,96 = 1,23 \rightarrow (1,23)^{-1} = 0,81$$

Factor de seguridad

Fibra macrosintética

Fibra metálica

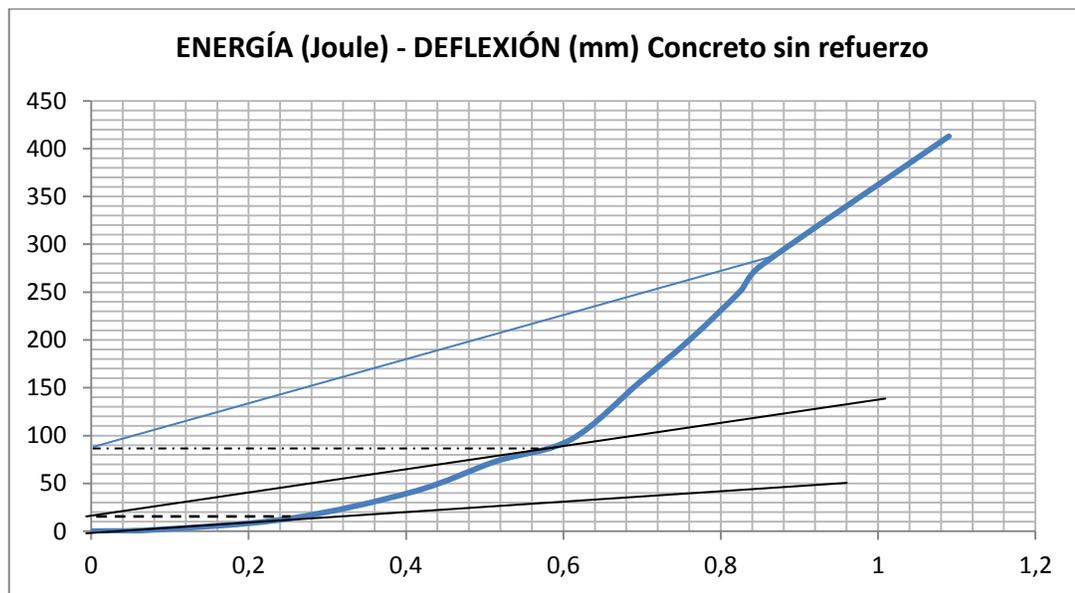
$0,77 * 0,81 = 0,62$	$0,74 * 0,81 = 0,60$	}	$F_s = 0,61$
$0,79 * 0,81 = 0,64$	$0,68 * 0,81 = 0,55$		
$0,75 * 0,81 = 0,61$	$0,75 * 0,81 = 0,61$		

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

- Anexo 1. **Punto de carga de diseño y carga de trabajo en la gráfica de energía-deflexión y carga-deflexión, utilizando el método de comportamiento Newtoniano para concreto sin refuerzo**

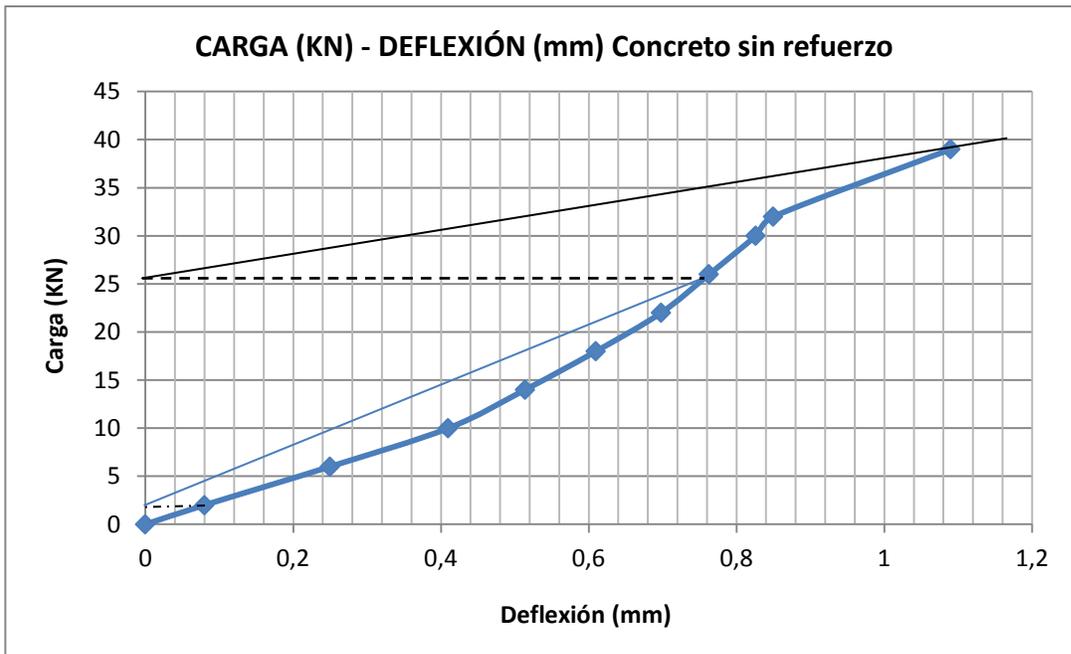
Comportamiento Newtoniano



Carga de diseño en el punto 85 Joule

Continuación del anexo 1.

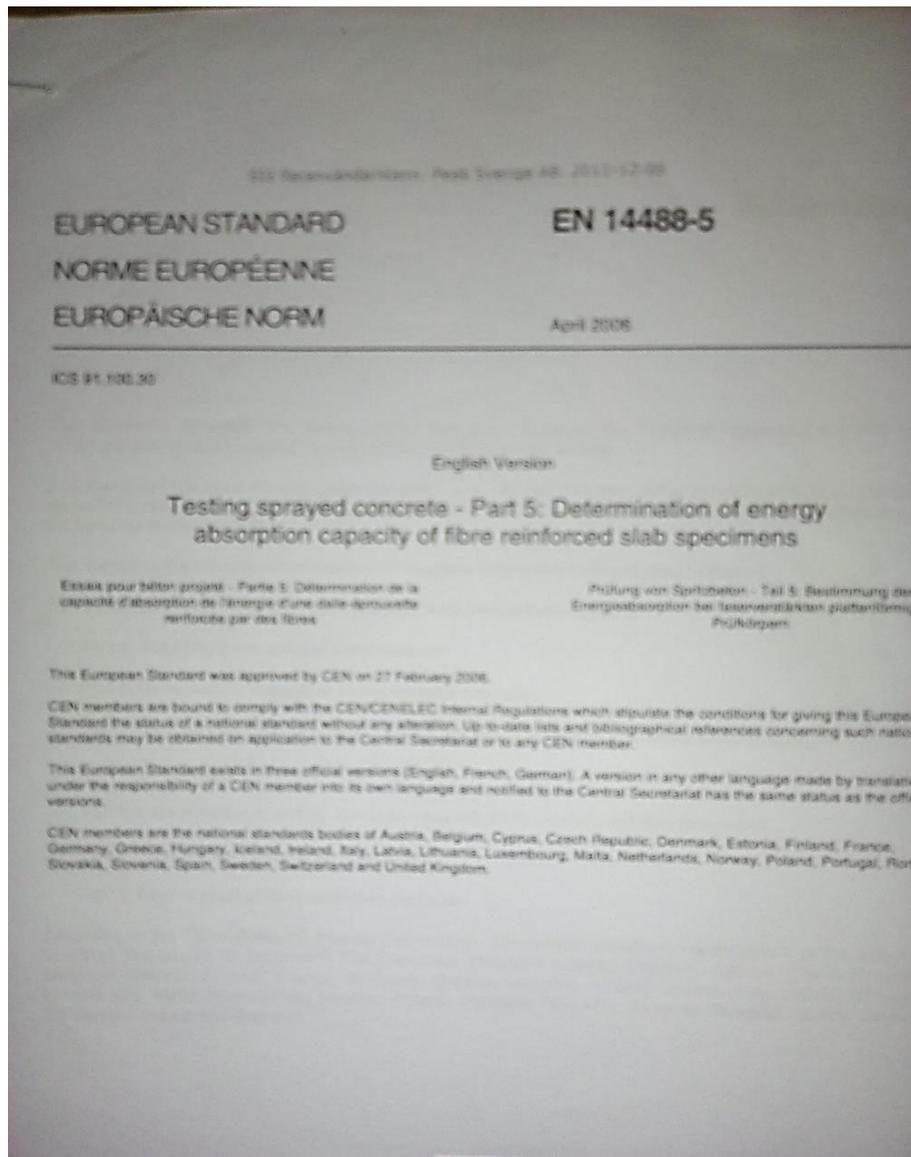
Carga de diseño en el punto 25 KN



Fuente: Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Anexo 2. **Documento de la Norma Europea EN 14488-5, versión en inglés. Determinación de la capacidad de absorción de energía en especímenes reforzados con fibra**

NORMA EUROPEA EN 14488-5



Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Anexo 3. **Documento en español Hoja técnica Sika® Fiber CHO65/35 NB. Fibra de acero para refuerzo de concreto**

HOJA TÉCNICA

<small>Hoja Técnica</small> <small>Edición 2110201101</small> <small>Identificación No. 92735</small> <small>Sika® Fiber CHO65/35 NB</small>	
Sika® Fiber CHO65/35 NB Fibra de acero para refuerzo de concreto	
Descripción	Filamentos de acero cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido, para el refuerzo de concreto y mortero.
Usos	Para refuerzo de concreto y mortero lanzado, obteniendo un elevado número de fibras por kg distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ La fibra tiene dobleces que permite mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto. ■ Alta resistencia a tracción. ■ Alta absorción de energía por medio del alambre trellado de bajo contenido de carbono. ■ Cumple con la Norma ASTM A 820, Tipo 1. ■ Por su presentación de fibras pegadas se logra una mejor distribución de las mismas dentro del concreto. ■ Eliminar el habilitado y colocación de malla y varillas convencionales por la sustitución de estos materiales con fibras de acero. ■ Aumenta resistencia a fatiga, cortante e impacto en estructuras de concreto.
Datos Técnicos	Tipo: Alambre de acero trellado Largo: 35 mm con doblez en terminaciones Relación de Aspecto L/D: 65 +/- 15% Resistencia a tracción: Mínimo 1,200 N/mm ²
Presentación	Saco de 20 kg.
Dosificación	La dosificación será entre 30 y 45 kg/m ³ y se determinará de acuerdo a necesidades específicas de cada proyecto (absorción de energía requerida).
Modo de empleo	Sika® Fiber CHO65/35 NB viene listo para ser usado. Se aplica al concreto durante su mezclado o a pié de obra. Se deberá hacer un mezclado de 3 a 5 minutos para su completa incorporación verificando que las fibras se encuentren separadas y distribuidas en la masa de concreto. Las fibras pueden introducirse junto con los agregados y de preferencia en el concreto mezclado en estado fresco. Es recomendable la utilización de plastificantes, fluidificantes ó bien estos mismos productos súper-plastificantes y/o súper-fluidificantes para control de revenimiento sin modificar relación a/c.

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Anexo 4. Documento en español Hoja técnica Sika ® Fiber Force PP/PE-700/55. Fibra macro sintética de alta densidad

HOJA TÉCNICA

Edition: 0307201301
 Identificación: 448175
 Sika® Fiber Force PP/PE-700/55

Sika® Fiber Force PP/PE-700/55

Fibra macro sintética de alta densidad

Descripción General

Sika® Fiber Force PP/PE-700/55 es una fibra macro sintética de alta densidad diseñada y usada para el refuerzo secundario de concreto, es fabricada a partir de polipropileno virgen y polímeros de alto desempeño y deformadas mecánicamente, de cuerpo circular para maximizar el anclaje en el concreto y evitar la pérdida excesiva cuando se proyecta (Shotcrete), altamente orientada a permitir un área de contacto de mayor superficie dentro del concreto, lo que resulta en una mayor unión interfacial y eficiencia de la resistencia de la flexión. Sika® Fiber Force PP/PE-700/55 específicamente diseñada y fabricada en una instalación certificada bajo la norma ISO 9001:2000 para ser usada como refuerzo secundario de concreto a una tasa de adición mínima de 2 kg por metro cúbico. Cumple con la norma ASTM C 1116/C 1116 M, concreto Tipo III reforzado con fibra y con la norma Europea EN-14889-2 como clase II.

Usos

- Losas sobre el piso.
- Áreas para estacionamiento.
- Elementos Pre fabricado
- Pavimentos exteriores.
- Plataformas compuestas de metal.
- Aceras y entradas de automóviles.
- Capas superpuestas y coberturas.
- Aplicaciones no magnéticas.
- Shotcrete vía húmeda y seca, ya sea definitivo o temporal.

Ventajas

- Por la alta densidad de la fibra, esta no se pierde en exceso cuando es usado en concreto proyectado (Shotcrete) durante el lanzamiento.
- Incrementa la resistencia a la tenacidad, absorción de energía e impacto del concreto, así como la resistencia residual y ductilidad.
- No afecta la fluidez (Slump) de la mezcla como otras fibras multifilamento.
- Disminuye la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido del concreto.
- Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz del concreto.
- Reduce el desgaste en bombas y tuberías.
- Alta resistencia a los ataques químicos y a los álcalis.
- Siempre se coloca uniformemente en el concreto y cumplimiento con los códigos vigentes y normas siguientes:

- ASTM C 94/C 94M Especificación estándar para concreto premezclado.
- ASTM C 1116/C 1116M Especificación estándar para concreto reforzado con fibras.
- ASTM C 1399 Método de prueba estándar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibras.
- ASTM C 1436 Especificación estándar de materiales para Shotcrete.
- ASTM C 1609/C 1609M Método de prueba estándar para obtener el rendimiento de la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando una viga con carga de tres puntos). Reemplaza la norma ASTM C 1018.
- ASTM C 1550 Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando un panel Redondo con carga central.)
- JCI-SF4 para la resistencia a la flexión y para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras.

1 Sika® Fiber Force PP/PE-700/55 1/3

Construcción

Sika®

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Anexo 5. Documento en inglés Hoja técnica Sika® ViscoCrete® 2100.
Aditivo reductor de agua de alto rango

HOJA TÉCNICA

Sika® ViscoCrete® 2100 High Range Water Reducing Admixture	
Description	Sika ViscoCrete 2100 is a high range water reducing and superplasticizing admixture utilizing Sika's ViscoCrete polycarboxylate polymer technology. Sika ViscoCrete 2100 meets the requirements for ASTM C-494 Types A and F.
Applications	Sika ViscoCrete 2100 may be used in both ready mix and precast applications, as a plant added high range water reducer to provide excellent plasticity while maintaining slump for up to 90 minutes. Controlled set times make Sika ViscoCrete 2100 ideal for horizontal and vertical applications. Sika ViscoCrete 2100 is ideal for production of Self Consolidating Concrete (SCC).
Advantages	<p>Water Reduction: Sika ViscoCrete 2100 can be dosed in small amounts to obtain water reduction from 10-15%, and will achieve water reduction up to 45% at high dosage rates.</p> <p>Sika ViscoCrete 2100 is suitable for all levels of water reduction.</p> <p>High Plasticity: The superplasticizing action of Sika ViscoCrete 2100 provides high-slump, flowing concrete that maintains excellent workability and may be placed with minimal vibration even at very low water cement ratios as low as 0.25. Sika ViscoCrete 2100 plasticized concrete is highly fluid while maintaining complete cohesion within the concrete matrix to eliminate excessive bleeding or segregation.</p> <p>Extended Slump Life and Set Control: Sika ViscoCrete 2100 has been formulated to provide controlled and predictable extended slump life for periods of 60 to 90 minutes with normal set times.</p> <p>The combined high range water reduction and superplasticizing action of Sika ViscoCrete 2100 provide the following benefits in hardened concrete:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Higher ultimate strengths allow for greater engineering design flexibility and structural economies. ■ Reduced water cement ratios produce more durable, dense concrete with reduced permeability. ■ Highly effective plasticizer reduces surface defects in concrete elements and improves aesthetic appearance. <p>It has been formulated to provide maximum water reduction and extended slump retention at low dosages.</p>
How to Use	<p>Dosage</p> <p>Dosage rates will vary according to materials used, ambient conditions and the requirements of a specific project. Sika recommends dosage at 1-6 fl. oz. per 100 lbs. (65-390 ml/100 kg) of cementitious materials for conventional concrete applications. If high slump or Self Consolidating Concrete (SCC) is required, typically dosage from 5-12 fl.oz./100 lbs. (325-780 ml/100 kg.) of cementitious materials may be used.</p> <p>Dosage rates outside the recommended range may be used where specialized materials such as microsilica are specified, extreme ambient conditions are encountered or unusual project conditions require special consideration. In this case, Please contact your local regional Sika office or Sika Technical Service Department 1-800- 933-7452 for more information and assistance.</p>

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

Anexo 6. Documento en español túneles y obras subterráneas, inyecciones Impermeabilización, concreto proyectado y concreto de revestimiento Sika

DOCUMENTO SIKA

Ultimas Tecnologías Concreto Proyectado Reforzado con Fibra

El Concreto Proyectado Reforzado con Fibra es definido como un concreto con fibras presentes en forma discontinua, las cuales son proyectadas con el concreto a alta velocidad sobre la superficie.

El propósito de incorporar estas fibras en el concreto lanzado, es mejorar su resistencia a la flexión, ductibilidad y su capacidad para absorber energía, de otra forma, el concreto se comporta como un material frágil.

Los dos aspectos más importantes a tener en cuenta en la elección de fibras de refuerzo son:

- ▲ La relación longitudinal/diámetro: las experiencias más exitosas en el mundo se han logrado con una longitud de 30 a 40 mm y un diámetro de 0,5 mm
- ▲ La concentración en la mezcla: este punto es el más difícil de manejar, ya que lograr una óptima distribución de la fibra en la mezcla es complicado

En este aspecto, las fibras engomadas en paquetes permiten una mejor dispersión una vez el pegante se diluye en el agua de la mezcla. Cuando todas las fibras están separadas, la mezcla de concreto está homogéneamente reforzada. Las fibras engomadas han sido desarrolladas para procesos de lanzado vía húmeda donde se puede disolver el engomado.

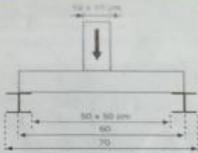
Una ventaja importante al usar fibra metálica es que no se requieren diseños especiales de la mezcla.

También es importante anotar que la fibra no cambia la durabilidad del concreto ya que no son afectadas por procesos corrosivos.

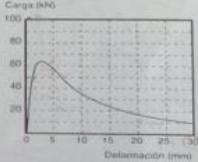
La prueba de ensayo más apropiada para la evaluación del concreto proyectado con fibra es el ensayo de punzonamiento - flexión de placa (desarrollada por la SNCF - Ferrocarriles Franceses -) y el Laboratorio Alpes Estais, el cual tiene las siguientes ventajas:

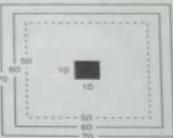
- ▲ El revestimiento de un túnel se comporta como una placa
- ▲ Las condiciones del ensayo permiten la redistribución de las cargas
- ▲ El ensayo puede realizarse de forma comparativa contra concreto repisado con mallas tradicionales.



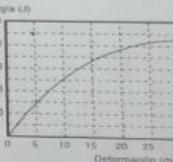


Curva de carga de deformación





Curva de energía



Del gráfico carga-deformación se obtiene una segunda curva llamada de energía absorbida. Las especificaciones deben exigir una absorción de energía dependiendo de las condiciones de carga del proyecto. (Para trabajos de reparación de túneles de los ferrocarriles franceses, se requiere una absorción de energía de 500 joules).

11

Fuente: laboratorio de Sika Guatemala, S. A.

